

**PROCEEDINGS OF
CONFERENCE ON
INFORMATION TECHNOLOGY
AND ELECTRICAL ENGINEERING**

Yogyakarta, 7 – 8 Oktober 2014

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
AND INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITAS GADJAH MADA

ORGANIZER 2014

Advisory Board Committee

Adhi Susanto, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Dadang Gunawan, Universitas Indonesia, Indonesia
Kuncoro Wastuwibowo, IEEE Indonesia Section
Lukito Edi Nugroho, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Son Kuswadi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia
T. Haryono, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Yanuarsyah Haroen, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

General Chair

Hanung Adi Nugroho, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Organizing Committee

Adha Imam Cahyadi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Avrin Nur Widiastuti, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Azkario Rizky Pratama, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Bimo Sunarfri Hantono, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Budi Setiyanto, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Eka Firmansyah, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Eny Sukani Rahayu, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Hanung Adi Nugroho, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
I Wayan Mustika, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Indriana Hidayah, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Iswandi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Lilik Suyanti, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Nawang Siwi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Noor Akhmad Setiawan, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Prapto Nugroho, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Ridi Ferdiana, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Sarjiya, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Sigit Basuki Wibowo, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Teguh Bharata Adji, Universitas Gadjah Mada, Indonesia
Yusuf Susilo Wijoyo, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

FOREWORD

Assalamu'alaykum warohmatullaah wabarokaatuh

On behalf of the organizing committee, it is our pleasure to welcome you to Yogyakarta, Indonesia, for our annual conference. This is the 6th conference that is held by the Department of Electrical Engineering and Information Technology, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada. This year, the conference is differently called as Joint Conference 2014 as there will be 4 parallel conferences, including:

1. ICITEE (International Conference on Information Technology and Electrical Engineering) 2014,
2. CITEE (Conference on Information Technology and Electrical Engineering) 2014,
3. RC-CIE (Regional Conference on Computer and Information Engineering) 2014, and
4. CCIO (Conference on Chief Information Officer) 2014.

The joint conference's theme is "Leveraging Research and Technology through University-Industry-Government Collaboration", emphasizes on the enhancement of research in a wide spectrum, including information technology, communication and electrical engineering, as well as e-services, e-government and information system. The conference is expected to provide excellent opportunity to meet experts, exchange information, and strengthen the collaboration among researchers, engineers, and scholars from academia, government, and industry.

In addition, the conference committee has invited five renowned keynote speakers; Prof. Marco Aiello from University of Groningen (RuG), Netherland, Prof. Einoshin Suzuki from Kyushu University, Prof. Yoshio Yamamoto from Tokai University, Prof. Jun Miura from Toyohashi University of Technology, and Prof. Kazuhiko Hamamoto from Tokai University, Japan. The conference committee also invited Tony Seno Hartono from National Technology Officer of Microsoft Indonesia and Dr. Ing. Hutomo Suryo Wasisto (Associate Team Leader in MEMS/NEMS and Sensor Group) Technische Universität Braunschweig, Germany as invited speaker to present their current research activities.

This conference is technically co-sponsored by IEEE Indonesia Section. Furthermore, it is supported by JICA, AUN/SEED-Net, Ministry of Communication and Information Technology of the Republic of Indonesia, and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand.

As a General Chair, I would like to take this opportunity to express my deep appreciation to the organizing committee members for their hard work and contribution throughout this conference. I would also like to thank authors, reviewers, all speakers, and session chairs for their support to Joint Conference 2014.

In addition to the outstanding scientific program, we hope that you will find time to explore Yogyakarta and the surrounding areas. Yogyakarta is city with numerous cultural heritages, natural beauty, and the taste of traditional Javanese cuisines, coupled with the friendliness of its people.

Lastly, I would like to welcome you to Joint Conference 2014 and wish you all an enjoyable stay in Yogyakarta.

Sincerely,

Hanung Adi Nugroho, Ph.D.
General Chair of Joint Conference 2014

Schedule CITEE 2014 Yogyakarta, 7 – 8 Oktober 2014

7 Oktober 2014

- 07.30 – 08.20 Registration
 08.20 – 09.00 Opening Ceremony
 09.00 – 10.00 User Aware Energy Smart Offices
 Prof. Marco Aiello; Johann Bernoulli Institute, University of Groningen, The Netherlands
10.00 – 10.30 Group Photo & Coffee Break
 10.30 – 16.50 Parallel Session

8 Oktober 2014

- 07.30 – 08.10 Registration
 08.10 – 10.10 Parallel Session
10.10 – 10.30 Coffee Break
 10.30 – 11.10 Human-Robot Collaboration: Two Examples with a Humanoid Robot
 Prof. Jun Miura; Toyohashi University of Technology, Japan
 11.10 – 11.50 Study On Distinction of Gender from Front View of Walking Motion Using Kinect
 Prof. Kazuhiko Hamamoto; Tokai University, Japan
 11.50 – 12.10 Award Ceremony
12.10 – 13.30 Lunch

PARALLEL SESSION

No	Time	7 Oktober 2014		8 Oktober 2014					
		Magnolia	Orchid	Hibiscus	Sunflower	Lotus	Magnolia	Orchid	
Sesi 1	Moderator			<i>Agus Nurcahyo</i> (C-TEIa #3)	<i>Dwi Normawati</i> (I-TEIa #11)	<i>Dedy Suryadi</i> (S-TEIa #11)	<i>Hanifah Rahmi</i> (S-TEIa #13)	<i>Ferzha P.U.</i> (I-TEIa #8)	
	1. 08.10 – 08.30			C-TEIa #1	I-TEIa #12	S-TEIa #9	S-TEIa #14	S-TEIb #1	
	2. 08.30 – 08.50			C-TEIb #1	I-TEIb #13	S-TEIa #8	S-TEIa #15	S-TEIb #2	
	3. 08.50 – 09.10			C-TEIb #2	I-TEIb #1	S-TEIa #10	S-TEIa #6	S-TEIb #3	
Sesi 2	Moderator			<i>Sayidiman</i> (I-TEIa #12)	<i>Ignatia Dhian</i> (I-TEIa #13)	<i>Meirista W.</i> (S-TEIa #9)	<i>Adhadi K.</i> (S-TEIa #14)	<i>Alfiah Rizky</i> (S-TEIb #1)	
	4. 09.10 – 09.30			C-TEIa #2	I-TEIb #2	S-TEIa #12	S-TEIa #7	I-TEIa #10	
	5. 09.30 – 09.50			C-TEIa #3	I-TEIa #11	S-TEIa #11	S-TEIa #13	I-TEIa #8	
	6. 09.50 – 10.10					S-TEIa #5	S-TEIa #17		
	10.10 – 10.30	Coffee Break							
Sesi 3	Moderator	<i>Slamet W.</i> (I-TEIa #9)	<i>Faisal N.</i> (S-TEIa #2)						
	1. 10.30 – 10.50	I-Gto #1	S-Pad #1						
	2. 10.50 – 11.10	I-Jkt #1	S-Plg #1						
Sesi 4	Moderator	<i>Daryus C.</i> (C-TEIa #1)	<i>Anugerah G.P</i>						
	3. 11.10 – 11.30	I-Jkt #2	S-Tng #1						
	4. 11.30 – 11.50	I-Sby #1	S-Bdg #1						
	5. 11.50 – 12.10	I-TEIa #9	S-Jmr #1						
	12.10 – 13.30	Lunch Break							
Sesi 5	Moderator	<i>Guntur D.P.</i> (I-TEIb #2)	<i>L. Kuncoro P.S.</i> (S-TEIa #3).						
	6. 13.30 – 13.50	I-Yog #1	S-Sby #1						
	7. 13.50 – 14.10	I-Yog #2	S-Sby #2						
Sesi 6	Moderator	<i>Ryan Ari S.</i> (I-TEIa #4)	<i>Titin Y.</i> (S-TEIa #1)						
	8. 14.10 – 14.30		S-Sby #3						
	9. 14.30 – 14.50	I-TEIa #2	P-TEIa #1						
	10. 14.50 – 15.10	I-TEIa #1	P-TEIb #1						
	15.10 – 15.30	Coffee Break							
Sesi 7	Moderator	<i>Ghulam A.B.</i> (I-TEIa #1)	<i>Hendra M</i> (P-TEIa #1)						
	11. 15.30 – 15.50	I-TEIa #4	S-TEIa #1						
	12. 15.50 – 16.10	I-TEIa #5	S-TEIa #2						
	13. 16.10 – 16.30	I-TEIa #7	S-TEIa #3						
	14. 16.30 – 16.50	I-TEIa #6	S-TEIa #4						

Table of Contents

Inner Cover		i
Organizer		ii
Foreword		iii
Schedule		iv
Table of Contents		v
Keynote		
1.	Key #1 User Aware Energy Smart Offices <i>Prof. Marco Aiello; University of Groningen, The Netherlands</i>	1
2.	Key #4 Human-Robot Collaboration: Two Examples with a Humanoid Robot <i>Prof. Jun Miura; Toyohashi University of Technology, Japan</i>	2
3.	Key #5 Study On Distinction of Gender from Front View of Walking Motion Using Kinect <i>Prof. Kazuhiko Hamamoto; Tokai University, Japan</i>	3
Technical		
1.	I-Gto #1 Sistem Informasi Repositori Digital Budaya Gorontalo <i>Arip Mulyanto, Mukhlisulfatih Latief, Manda Rohandi dan Muslimin</i>	4
2.	I-Jkt #1 <i>Smartchoice</i> : Sistem Penunjang Keputusan Pemilihan <i>Smartphone</i> Android <i>Elah Suryani, Gusti Aulia, Vani Ahmad Ramadhan, dan Lily Wulandari</i>	10
3.	I-Jkt #2 Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Destinasi Wisata DKI Jakarta Menggunakan Metode AHP Berbasis Web <i>Budi Setiawan Santoso, Millati Izatillah, Mustafa Ibrahim, dan Lily Wulandari</i>	15
4.	I-Sby #1 Permainan Dakon dengan Metode Bayesian Network Berbasis Kemampuan Kognitif Pemain <i>Ika Ratna Indra Astutik, Surya Sumpeno, dan Mauridhi Hery Purnomo</i>	21
5.	I-Yog #1 Sistem Informasi Geografis Pengangkutan Zat Radioaktif <i>Adi Abimanyu, Purwanto, dan Nurhidayat</i>	26
6.	I-Yog #2 Evaluasi Kesuksesan Penerapan Aplikasi SCM (Studi Kasus: PT. Timah (Persero), Tbk.) <i>Harrizki A. Pradana, Suyoto, dan F. Spty Rahayu</i>	33
7.	I-TEIa #1 <i>Sentiment Analysis Twitter</i> dengan Kombinasi <i>Lexicon Based</i> dan <i>Double Propagation</i> <i>Ghulam Asrofi Buntoro, Teguh Bharata Adji, and Adhistya Erna Purnamasari</i>	39
8.	I-TEIa #2 Review Sistem Keamanan Data pada Komunikasi <i>Instant Messenger</i> <i>Putra Wanda, Selo, dan Bimo Sunarfri Hantono</i>	44
9.	Kosong	49
10.	I-TEIa #4 Review : Algoritma Kriptografi Untuk Pengembangan Aplikasi Telepon Anti Sadap di Android <i>Ryan Ari Setyawan, Selo Sulisty, dan Bimo Sunarfri Hantono</i>	53
11.	I-TEIa #5 Evaluasi <i>Stop Word</i> dan <i>Stemming Retrieval</i> Teks Menggunakan <i>Latent Semantic Indexing</i> pada Bahasa Indonesia <i>Sahirul Alim T.B., Teguh Bharata Adji, dan Widyawan</i>	59
12.	I-TEIa #6 Pengaruh Karakteristik dan Pencahayaan Objek terhadap Pelacakan Tanpa Penanda dalam Ruang Tertutup pada Aplikasi <i>Mobile Augmented Reality</i> <i>Aditya Rizki Yudiantika, Selo Sulisty, dan Bimo Sunarfri Hantono</i>	64

13.	I-TEIa #7	Pengembangan Aplikasi Bergerak untuk Mendeteksi Tingkat Kemacetan Lalu Lintas dan Cuaca Memanfaatkan Google Maps API, OpenWeatherMap API, dan GPS <i>Taufiq El Rahman, I Wayan Mustika, dan Selo</i>	70
14.	I-TEIa #8	Sistem Informasi Geografis Pemantau Transportasi Zat Radioaktif dengan <i>Input</i> SMS Terenkripsi Berbasis Web <i>Ferzha Putra Utama, I Wayan Mustika, dan Lita Sari</i>	76
15.	I-TEIa #9	Model Perhitungan Bobot Jalur Optimal pada Kasus Pencarian Jalur Tercepat <i>Slamet Wiyono, Teguh Bharata Adji, dan Hanung Adi Nugroho</i>	82
16.	I-TEIa #10	Teknik Pemberian Rekomendasi Menu Makanan dengan Pendekatan <i>Contextual Model</i> dan <i>Multi-Criteria Decission Making</i> <i>Robertus Adi Nugroho dan Ridi Ferdiana</i>	88
17.	I-TEIa #11	Kajian Teknik-teknik <i>Data Mining</i> untuk Diagnosis Penyakit Jantung Koroner <i>Dwi Normawati, Hanung Adi Nugroho, dan Noor Akhmad Setiawan</i>	95
18.	I-TEIa #12	Identifikasi Marka Garis Pembatas Jalan dan Obyek Penghalang di Jalan Raya Melalui Teknik Deteksi Kandidat dan Pengklasifikasian <i>Sayidiman, Hanung Adi Nugroho, dan Rudy Hartanto</i>	101
19.	I-TEIa #13	Peranan Fitur Kontur dan <i>Slope</i> dalam Pengenalan Tanda Tangan <i>Offline</i> dengan <i>Dynamic Time Warping</i> <i>Ignatia Dhian Estu Karisma Ratri, Hanung Adi Nugroho, dan Teguh Bharata Adji</i>	107
20.	I-TEIb #1	Klasifikasi Jalur Minat Siswa Menggunakan Algoritme <i>Support Vector Machine</i> (SVM) (Kasus: SMA Negeri 1 dan SMA Negeri 2 Sragen) <i>Indriana Hidayah, Adhistya Erna Permanasari, dan Theopilus Bayu Sasongko</i>	112
21.	I-TEIb #2	Rekomendasi Obyek Pariwisata Indonesia berbasis Analisis Sentimen Sosial Media Terkini <i>Bimo Sunarfri Hantono and Guntur Dharma Putra</i>	117
22.	P-TEIa #1	Seleksi Aturan Menggunakan <i>Rough Set Theory</i> untuk Diagnosis Gangguan Transformator Daya Berbasis <i>Dissolved Gas Analysis</i> (DGA) <i>Hendra Marcos, Noor Akhmad Setiawan, dan Suharyanto</i>	123
23.	P-TEIb #1	Pengaruh Penambahan Kapasitor terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Sangkar Tupai <i>Bambang Sugiyantoro, Tiyono, dan M. Rasyid Aziz</i>	128
24.	S-Pad #1	Deteksi Dini Penyakit Paru secara <i>Mobile</i> Berbasis <i>Bayesian Network</i> <i>Rahmadi Kurnia, Fitri Aini, dan Ikhwana Elfitri</i>	133
25.	S-Plg #1	Pengenalan Kata dengan Metode <i>Linear Predictive Coding</i> dan Jaringan Syaraf Tiruan pada <i>Mobile Robot</i> <i>Irmawan, Hera Hikmarika, Desi Windi Sari, dan M. Chaerul Tammimi</i>	139
26.	S-Tng #1	Koreksi Citra pada Sensor <i>Electrical Capacitance Volume Tomography</i> <i>Amir Rudin, Arbai Yusuf, Imamul Muttakin, Rohmadi, Wahyu Widada, dan Warsito P. Taruno</i>	145
27.	S-Bdg #1	Analisis Sistem Stabilisasi Citra Angiogram dengan Algoritma SURF untuk Peningkatan Akurasi Perhitungan QuBE <i>Hilman Fauzi</i>	151
28.	S-Jmr #1	Perancangan Sistem Pengaturan Suhu pada Mesin Sangrai Kopi Berbasis Logika Fuzzy <i>Satryo Budi Utomo, Moh Agung P.N, dan Sumardi</i>	157
29.	S-Sby #1	Model AR.Drone dengan Indoor dan Outdoor Hull <i>Agung Prayitno and Veronica Indrawati</i>	162

30.	S-Sby #2	Desain Smart Meter untuk Memantau dan Identifikasi Pemakaian Energi Listrik pada Sektor Rumah Tangga Menggunakan <i>Backpropagation Neural Network</i> <i>Koko Hutoro, Adi Soeprijanto, Ontoseno Penangsang, dan Matt Syai'in</i>	168
31.	S-Sby #3	Aplikasi Jaringan Sensor Nirkabel untuk <i>Monitoring</i> Korban Bencana Alam <i>M. Zen Samsono Hadi, Jodi Ryan Setyawan, Rahardita W.S, dan H. Uehara</i>	174
32.	S-TEIa #1	Studi Perbandingan Metode Penilaian Kualitas Citra pada Citra Retina <i>Titin Yulianti, Hanung Adi Nugroho, dan Noor Akhmad Setiawan</i>	180
33.	S-TEIa #2	Peningkatan Kontras pada Citra Digital Mammogram <i>Faisal N., Hanung Adi Nugroho, Indah Soesanti, and Lina Choridah</i>	186
34.	S-TEIa #3	Perbaikan Citra untuk Peningkatan Kinerja Deteksi Wajah Fitur HAAR-like dengan Variasi Pencahayaan <i>Laurentius Kuncoro Probo Saputra, Hanung Adi Nugroho, dan Teguh Bharata Adji</i>	192
35.	S-TEIa #4	Ekstraksi Ciri Suara Jantung Berbasis Metode Statistis <i>Domy Kristomo, Indah Soesanti, dan Oyas Wahyunggoro</i>	198
36.	S-TEIa #5	<i>Low Cost Remote Terminal Unit (RTU)</i> Sistem SCADA Berbasis Android <i>Hendy Rudiansyah, Suharyanto, dan Adha Imam Cahyadi</i>	203
37.	S-TEIa #6	Kajian Deteksi <i>Exudates</i> untuk Diagnosis <i>Diabetic Retinopathy</i> <i>Widhia Oktoeberza KZ, Hanung Adi Nugroho, dan Teguh Bharata Adji</i>	211
38.	S-TEIa #7	Unjuk Kerja Biometrika Iris Mata Menggunakan Metode <i>Edge Histogram Descriptor</i> untuk Aplikasi Keamanan <i>Danny Kurnianto, Indah Soesanti, dan Hanung Adi Nugroho</i>	217
39.	S-TEIa #8	Metode Digitalisasi Citra pada Sinyal EKG <i>Jaenal Arifin, Jans Hendry, dan Sri Kusrohmaniah</i>	224
40.	S-TEIa #9	Analisis Tekstur Citra Interpolasi terhadap Steganografi <i>Meirista Wulandari dan Indah Soesanti</i>	231
41.	S-TEIa #10	Implementasi GA untuk Optimasi Generator Uap Berbasis Model BPNN di PT. Chevron Pacific Indonesia <i>Liris Maduningtyas, Risanuri Hidayat, Litasari, Teguh Handjoyo, dan Hasballah</i>	237
42.	S-TEIa #11	Pengenalan Wajah dengan Menggunakan Dimensi Fraktal dan <i>Neural Network</i> <i>Dedy Suryadi, Risanuri Hidayat, dan Hanung Adi Nugroho</i>	243
43.	S-TEIa #12	<i>Quadrotor PD Auto-tuning</i> Berbasis <i>LS-Loop Shaping</i> <i>Atikah Surriani, Meilia Safitri, Almira Budiyo, dan Adha Cahyadi</i>	249
44.	S-TEIa #13	Ekstraksi Ciri Berbasis Wavelet dan Klasifikasi Berbasis Logika Fuzzy untuk Deteksi Dini Kanker Payudara pada Citra Mammogram <i>Hanifah Rahmi Fajrin dan Hanung Adi Nugroho</i>	255
45.	S-TEIa #14	Pengujian <i>Tracking Color</i> Menggunakan <i>IP Webcam</i> untuk Deteksi Ketinggian Air <i>Adhadi Kurniawan, I Wayan Mustika, dan Sri Suning Kusumawardani</i>	261
46.	S-TEIa #15	Pemetaan Alamat dan Fungsi Basis untuk Meningkatkan Unjuk-Kerja CMAC <i>Muhamad Iradat Achmad, Adhi Susanto, dan Hanung Adinugroho</i>	267
47.	S-TEIa #17	Estimasi Model Sederhana Kendali Posisi Ketinggian <i>Quadrotor AR.Drone 2</i> <i>Ardhimas Wimbo Wasisto, Atikah Surriani, Nia Maharani, Adha Imam Cahyadi, dan Teguh Bharata Adji</i>	274
48.	S-TEIb #1	Perbandingan Karakteristik Morfologi Inti nRBC (<i>Nucleated Red Blood Cell</i>) dengan 5 Jenis Sel Darah Putih <i>Hanung Adi Nugroho dan Alfiah Rizky Diana Putri</i>	279

49.	S-TEIb #2	Optimasi Waktu Gerak Lurus Robot Lengan 6 DOF Dengan Algoritma Genetik <i>Oyas Wahyunggoro, R. Suryoto Edy Raharjo, dan Priyatmadi</i>	284
50.	S-TEIb #3	Pengaruh Jumlah Titik Sudut Elemen Poligon terhadap Peningkatan Akurasi Metode Elemen Hingga Poligonal dengan Fungsi Bentuk Wachspress <i>Eny Sukani Rahayu</i>	289
51.	C-TEIa #1	Evaluasi Unjuk Kerja <i>Good Convolutional Codes</i> pada Skema Penyandian Bertingkat RS-CC <i>Daryus Chandra, Adhi Susanto, dan Sri Suning Kusumawardani</i>	293
52.	C-TEIa #2	Analisis Unjuk Kerja <i>Repeat-Accumulate Codes (RAC)</i> untuk Kanal AWGN dengan BER Chart dan EXIT Chart <i>Daryus Chandra, Adhi Susanto, dan Sri Suning Kusumawardani</i>	299
53.	C-TEIa #3	Kerangka Teori Permainan dengan Perbaikan Utilitas untuk Pengorganisasian Diri di dalam Jaringan Heterogen LTE <i>Agus Nurcahyo, I Wayan Mustika, dan Sigit Basuki Wibowo</i>	305
54.	C-TEIb #1	Pakai-Ulang Frekuensi Fraksional dengan Penjenjangan Berbeda untuk Layanan Upaya Terbaik pada Teknologi Selular LTE <i>Mulyana and Budi Setiyanto</i>	311
55.	C-TEIb #2	Unjuk Kerja Protokol AODV+ pada Komunikasi V2V dalam VANET <i>I Wayan Mustika, Jan Wantoro, dan Bimo Sunarfri Hantono</i>	316

Keynote #1

User Aware Energy Smart Offices

Prof. Marco Aiello
Johann Bernoulli Institute, University of Groningen
Room 568 Bernouilliborg, Nijenborgh 9, 9747 AG Groningen
The Netherlands

Abstract

Buildings use a large amount of energy. In the EU, for instance, 40% of total energy consumption and about 36% of emitted greenhouse gases can be ascribed to buildings. As rates for demolition, refurbishment, and highly energy efficient new-buildings are about 1-2% per year, there is an urgent need to make existing buildings more energy efficient with personalized solutions. Ideally one wants systems that require minimum effort to deploy, are portable, and adapt to the user's by leaving their comfort and productivity intact while saving energy. I will explore the current landscape of saving energy in commercial buildings based on user activity and I will report on current research at the University of Groningen performed with industrial collaborators. The focus is on sensing and ICT-based control solutions for electricity saving. The case of the Bernouilliborg, a 2008 12.000 sqm building hosted in the main campus of the university, will act as main example.

Keynote #4

Human-Robot Collaboration: Two Examples with a Humanoid Robot

Prof. Jun Miura

Associate Director Center for Human-Robot Symbiosis Research
Active Intelligent Systems Laboratory (Miura Laboratory)
Department of Computer Science and Engineering
Toyohashi University of Technology, Japan

Abstract

There is an increasing demand for service robots that can support people in their daily life, as many countries are facing the aged society. Robotic technologies are improving rapidly and have recently been applied to many real world tasks, such as cleaning and drug delivery. It is, however, still a long way to realize a robot with a human-level intelligence and ability and, therefore, human's support to robots is still necessary. There are also tasks which cannot be performed only by a single robot. Human-robot collaboration is a key to address these issues.

There are various forms of collaboration between humans and robots. In this talk, I will describe two examples of human-robot collaboration using a humanoid robot. One is robot assistant for a table assembly task. The robot recognizes the current state of the task execution and chooses and performs appropriate assistive actions in a timely fashion based on a ride-on-shoulder analogy. The other example is a collaborative remote object search. Human searches for a target object at a remote site through a vision interface, independently with the robot, and gives an advice on the target location to the robot.

Human-robot collaboration is not a step-by-step ordering of robot behaviors by humans but a collaboration of two agents. Robots, therefore, have to possess a certain level of autonomy so that a human can interact or collaborate with a robot easily and efficiently. I will also describe details of recognition, planning, and interaction functions for realizing autonomous behaviors of the collaborative robot.

Keynote #5

Study On Distinction of Gender from Front View of Walking Motion Using Kinect

Prof. Kazuhiko Hamamoto
Department of Information Media Technology,
School of Information and Telecommunication Engineering,
Tokai University
2-3-23 Takanawa, Minato-ku, Tokyo 108-8619 Japan

Abstract

Currently, a digital signage has come into wide use. The digital signage has a possibility in which an appropriate advertisement can be shown to each person. A technique to distinguish the person, for example, by gender or age, is required to realize such a digital signage. In this research, it is attempted to obtain the characters to distinguish gender from a walking motion analysis. The distinction from a walking motion analysis has been accomplished using side-view of the motion. However, in the case of the digital signage application, a technique using front-view of the motion is strongly required because a person approached toward the digital signage. To analyze an approaching person's motion, 3D measurement of the motion is needed. Therefore, Kinect is applied to this analysis. Kinect is a motion capture device with a depth sensor. Since no need of any sensors on a person, Kinect is an appropriate device for the digital signage. In this research, a height, a step length and a walking speed are measured by Kinect and an evaluation function to distinguish gender is constructed using these three parameters from 44 subjects. The function is applied to other 40 subjects. It can distinguish gender in 74[%] accuracy rate for male and 85[%] accuracy rate for female. This result suggests the proposed method is useful to the digital signage.

Sistem Informasi Repositori Digital Budaya Gorontalo

Arip Mulyanto
Prodi Sistem Informasi
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Gorontalo
arip.mulyanto@ung.ac.id

Manda Rohandi
Prodi Sistem Informasi
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Gorontalo
mandarohandi@gmail.com

Mukhlisulfatih Latief
Prodi Sistem Informasi
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Gorontalo
mukhlis@ung.ac.id

Muslimin
Prodi Pendidikan Bahasa Inggris
Fakultas Sastra dan Budaya
Universitas Negeri Gorontalo
muslimin@ung.ac.id

Abstract— This research aims to develop a digital repository application for Gorontalo culture, where the system provides information about Gorontalo culture in forms videos, images and texts. All Gorontalo culture data in the digital form obtained from the government agencies (county and city cultural departments), indigenous stakeholders, studio manager of culture or Gorontalo culture observer. This system consist of multiple entities (actors), such as admin, reviewer, contributor and regular visitor. Admin charge of managing cultural data, determine reviewers and manage user data. Reviewers charge of examine every article submitted by contributors and provide status that article is feasible or not to publish. Contributor charge of provide article into the system, either in form of texts, videos and images. The system is develop almost the same as the reviewed journal system with three main activities which is providing articles, determine the reviewers and reviewing the articles. However the system was a prototype where there is a shortage due to the system requirements that have not been well defined.

Keywords— Information System, data digitizing, Gorontalo culture

Abstract— Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi repositori digital budaya Gorontalo, dimana sistem menyediakan informasi tentang budaya Gorontalo dalam bentuk video, gambar dan teks. Semua data budaya Gorontalo dalam bentuk digital didapatkan dari instansi pemerintah(dinas pariwisata kabupaten dan kota), pemangku adat, pengelola sanggar budaya, budayawan atau pemerhati budaya Gorontalo. Sistem ini terdiri atas beberapa entitas (*actor*), yaitu *admin*, *reviewer*, *contributor* dan *pengunjung biasa*. Admin bertugas mengelola data budaya, menentukan *reviewer* dan mengelola data user. *Reviewer* bertugas untuk memeriksa setiap artikel yang dikirim oleh *contributor* dan memberikan status layak atau tidak sebuah artikel untuk di *publish*. *Contributor* bertugas untuk memasukan artikel kedalam sistem, baik dalam bentuk teks, video maupun gambar. Sistem yang dibangun hampir sama dengan sistem *review* jurnal dengan tiga aktivitas utama, yaitu memasukan artikel, menentukan *reviewer* dan *mereview* artikel. Meskipun demikian sistem yang dibangun masih berupa *prototype* dimana terdapat

kekurangan yang disebabkan *requirement* sistem yang belum terdefinisi dengan baik.

Keywords— *Sistem informasi, digitalisasi data, budaya Gorontalo*

I. PENDAHULUAN

Daerah Gorontalo merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki banyak warisan budaya, baik berupa adat istiadat, tari-tarian sampai dengan tempat bersejarah. Nilai-nilai luhur budaya Gorontalo tergambarkan dalam falsafah yang dianutnya “*adat bersedikan syara, syara bersedikan kitabullah*” yang meliputi semua sendi kehidupan masyarakat Gorontalo. Penerapan nilai-nilai luhur budaya Gorontalo beberapa dekade terakhir mulai terkikis oleh perkembangan zaman yang mengagungkan keberhasilan material tanpa memperhatikan nilai-nilai luhur budaya Gorontalo. Disamping itu budaya “*tutur*” yang dianut oleh masyarakat Gorontalo yang mana nilai-nilai budaya yang diwariskan secara turun-temurun hanya melalui perkataan bukan melalui tulisan, hal ini menyebabkan kurangnya referensi tentang budaya Gorontalo yang bisa didapatkan, baik itu dalam bentuk *website* maupun buku-buku budaya. Pelestarian budaya Gorontalo telah dilakukan oleh pemerintah dan tokoh adat melalui berbagai kegiatan kebudayaan, baik yang digelar di daerah Gorontalo maupun di luar daerah Gorontalo. Namun hal ini tidaklah cukup, karena hanya bersifat sementara, perlu dilakukan pelestarian budaya Gorontalo dalam bentuk tulisan, gambar, dan video yang dapat diakses oleh siapa saja, kapan saja dan dimana saja.

Teknologi informasi dan komunikasi seperti *website* merupakan solusi yang dapat diterapkan dalam pelestarian warisan budaya Gorontalo, dimana dengan teknologi ini, nilai-nilai budaya Gorontalo dapat diakses dan dilihat oleh siapa saja dari generasi ke generasi. Pelestarian budaya menggunakan *website* dapat dilakukan dengan mendigitalisasi budaya kedalam bentuk video, gambar, dan teks. Menurut *European Council of*

Minister[1] dalam *Europeanna Strategic Plan*[2] “Digitalisasi dan aksesibilitas *online* merupakan cara yang paling penting dalam melestarikan warisan ilmiah dan budaya, serta untuk menginspirasi penciptaan *konten* baru dan untuk mendorong munculnya layanan *online* yang baru”. Pernyataan ini dapat diinterpretasikan sebagai kemudahan yang diberikan oleh teknologi dalam melestarikan dan mengkreasikan budaya.

Melihat pentingnya pelestarian budaya Gorontalo dan mengacu pada permasalahan yang ada, maka diperlukan suatu aplikasi repository yang dapat menyimpan hasil digitalisasi budaya Gorontalo, baik berupa adat-istiadat, tari-tarian sampai dengan tempat bersejarah dalam bentuk video, gambar dan teks yang dapat diakses secara *online* melalui *website* sehingga pelestarian budaya Gorontalo dapat di akses oleh siapa saja dari generasi ke generasi.

II. TAHAP ANALISIS SISTEM INFORMASI REPOSITORY DIGITAL BUDAYA GORONTALO

Pada tahap analisis ini, digunakan *Zachman Framework* untuk mengintegrasikan semua entitas yang terlibat dalam system informasi repository digital budaya Gorontalo. *Zachman Framework* merupakan matriks klasifikasi dua dimensi yang direpresentasikan kedalam 6x6 matriks. Kolom pada matriks *Zachman* merepresentasikan komponen “Data” (*what*), “Fungsi” (*how*), “Jaringan” (*where*), “Orang” (*who*), “Waktu” (*when*) dan “Motivasi” (*why*). Adapun baris pada matriks *Zachman* merepresentasikan perspektif yang berbeda dan unik [3].

Berikut merupakan analisis penerapan *Zachman Framework* pada sistem informasi repository budaya Gorontalo:

Tabel 1. Penerapan framework *Zachman* dalam perspektif sistem informasi repository budaya Gorontalo.

	"Data" What	"Function" How	"Place" Where	"People" Who	"Time" When	"Motivation" Why
Scope/Planner Perspective	Daftar dari entitas umum seperti, Kepala Dinas pariwisata, pengelola adat, akademisi/budayawan, pengelola sanggar budaya, adat istiadat, tari-tarian, tempat bersejarah	Daftar dari proses utama, transfer data, format data	Daftar lokasi tempat bersejarah, Kantor Dinas Pariwisata dan Nama sumber yang utama	Daftar dari instansi yang terkait, tokoh adat, akademisi budaya, pengelola sanggar budaya	Daftar dari event kebudayaan, upacara adat	Pernyataan yang lingkup data
Enterprise Model Owner Perspective	Identifikasi relasi antar entitas umum	Mendefinisikan proses utama pada data misalnya digitalisasi data, konversi data, transfer data			Defensi kebutuhan utama	
System Model Designer Architecture perspective	Identifikasi atribut-atribut antar entitas umum	Menentukan sumber proses detail	Mendefinisikan struktur umum	Identifikasi user dan peranan masing-masing	Defensi kendala terhadap waktu	
Technology Model	Mengembangkan atribut-atribut entitas	Mengaplikasikan spesifikasi proses yang detail	Nama dan definisi karakteristik sistem		definisi relasi mekanisme kontrol perjalanannya	
Detail Representation	Pengembangan spesifikasi lokasi	implementasi proses	Setting hardware yang ditetapkan		definisi relasi waktu dan spesifikasi terjadinya interaksi dengan sumber data	

III. TAHAP PERANCANGAN SISTEM INFORMASI REPOSITORY DIGITAL BUDAYA GORONTALO

Sistem yang akan dirancang berupa aplikasi *e-repository* dengan menggunakan fasilitas *world wide web*. Melalui aplikasi web ini, semua informasi tentang adat istiadat, tari-tarian, serta profil tempat bersejarah yang ada di Gorontalo dapat diakses melalui internet. Adapun format informasi yang nantinya akan disediakan oleh aplikasi berupa video, gambar/foto, dan teks.

Tahapan dalam perancangan sistem informasi repository digital budaya Gorontalo sebagai berikut:

A. Pengembangan Koleksi Digital

Tahap awal dalam perancangan “*digital repository*” adalah dengan membangun koleksi digital. Koleksi digital didapatkan dari *contributor* artikel (lihat gambar 1) yang berasal dari instansi pemerintah, pemangku adat, budayawan/pemerhati budaya, pengelola sanggar budaya atau siapa saja yang menekuni budaya Gorontalo. Digitalisasi kegiatan budaya (lihat gambar 2) seperti upacara adat, tari-tarian dan profil tempat bersejarah dilakukan dengan menggunakan *camcorder* untuk menghasilkan format video. Adapun untuk gambar/foto dilakukan dengan menggunakan *camera digital* yang kemudian disimpan dengan format JPEG.



Gambar 1. Sumber data digital budaya Gorontalo



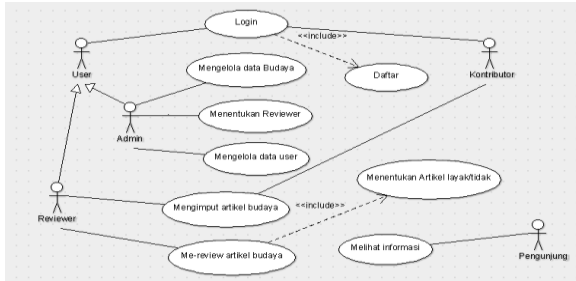
Gambar 2. Proses digitalisasi dokumen[4]

B. Use Case Modeling

Use case modeling merupakan kumpulan diagram dan teks yang menggambarkan bagaimana user berinteraksi dengan sistem[5]. *Use case* juga digunakan untuk menganalisa kebutuhan fungsional dari sistem[6]. *Use case diagram* terdiri dari *actor*, *use case*, asosiasi dan dependensi dari sistem. Dalam sistem yang akan dikembangkan, *actor* dari sistem terdiri dari *Administrator/Admin* (orang yang ditunjuk untuk mengelola data budaya, *data user* dan menunjuk *reviewer*), *Reviewer* (Orang-orang yang ditunjuk oleh Pemerintah yang memiliki kompetensi dan pengetahuan yang dalam tentang budaya Gorontalo untuk memeriksa artikel yang masukan oleh *contributor*, *Reviewer* juga dapat memasukan artikel kedalam aplikasi), *Contributor* (orang yang memberikan masukan berupa artikel tentang budaya Gorontalo ke dalam sistem) dan *Pengunjung* (orang yang hanya melihat/membaca artikel yang ada dalam aplikasi).

Pada *Use case diagram system* (lihat gambar 3), menggambarkan semua interaksi yang dapat dilakukan oleh *actor* kedalam sistem. *admin* dan *reviewer* dapat digeneralisasi menjadi user, dimana keduanya merupakan

internal actor yang sama-sama *login* kedalam sistem. Admin dapat mengelola data budaya, menentukan *reviewer* dan mengelola *data user*. *Reviewer* dan *contributor* keduanya dapat menginput/memasukan artikel kedalam aplikasi dengan terlebih dahulu melakukan *login* kedalam sistem. *Contributor* dapat memasukan artikel jika terlebih dahulu melakukan pendaftaran kedalam aplikasi dan kemudian login kedalam sistem. *Reviewer* juga dapat mereview artikel yang dimasukan oleh *contributor* apakah layak di *publish* atau tidak. Adapun pengunjung biasa hanya dapat melihat semua artikel yang telah di *publish* dalam sistem.



Gambar 3. Use Case diagram Sistem Informasi Repositori Digital Budaya Gorontalo

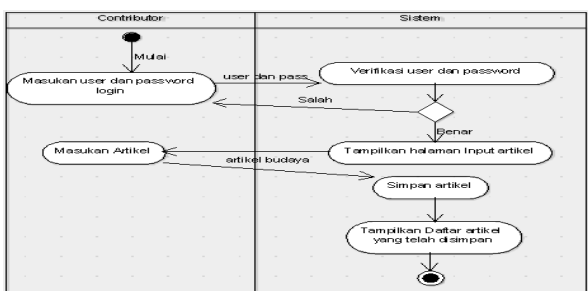
C. Activity Diagram

Activity diagram menggambarkan *logical processes*, dimana pada setiap proses menggambarkan urutan tugas/kerja dan keputusan yang menentukan kapan dan bagaimana tugas/kerja itu selesai[6].

Dalam penggambaran *activity diagram* sistem, akan dijabarkan 3 aktivitas utama yang merupakan proses penting dalam perancangan sistem. Ketiga aktivitas tersebut adalah Memasukan artikel budaya, menentukan *reviewer* untuk artikel dan Me-review artikel yang telah di masukan.

1. Activity Diagram Memasukan Artikel

Pada aktivitas memasukan artikel budaya (lihat gambar 4), terlebih dahulu user harus mendaftar dan login sebagai *contributor*. Jika login berhasil maka sistem akan menampilkan halaman *input* artikel. Artikel yang dimasukan berupa deskripsi budaya Gorontalo dalam bentuk teks, disamping itu dapat juga ditambahkan video atau gambar sebagai pelengkap artikel yang terlebih dahulu telah digitalisasi oleh *contributor*. *Contributor* juga sewaktu-waktu dapat mengedit kembali artikel yang telah dimasukan sebelumnya.



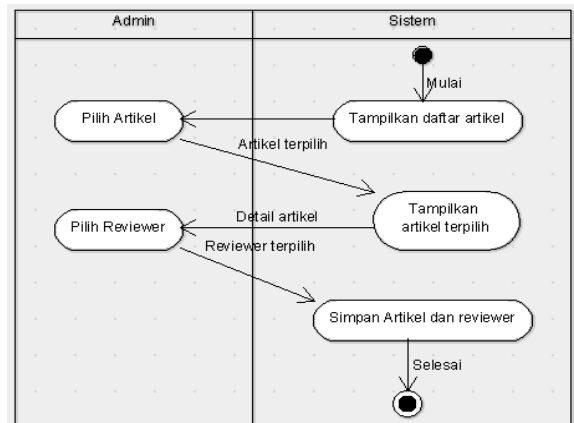
Gambar 4. Activity diagram memasukan artikel kedalam sistem.

2. Activity Diagram Menentukan Reviewer

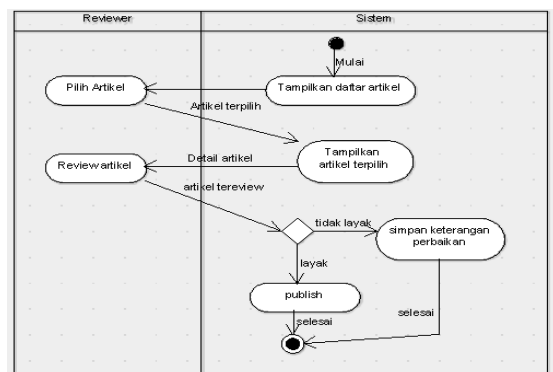
Activity diagram ke dua, yaitu menentukan *reviewer* (lihat gambar 5), dilakukan jika telah ada artikel yang telah tersimpan kedalam sistem dan menunggu di-*review* untuk selanjutnya ditentukan oleh *reviewer* apakah artikel tersebut layak atau tidak untuk di *publish*. Pada *activity diagram* ini, semua artikel yang masuk kemudian ditentukan *reviewer*-nya oleh admin sesuai dengan kompetensi dan pengetahuannya tentang budaya Gorontalo. *Reviewer* yang ditunjuk, diambil dari pemangku adat, budayawan atau siapa saja yang ditunjuk oleh pemerintah, yang sebelumnya telah dimasukan oleh admin kedalam sistem.

3. Activity Diagram Review Artikel

Activity diagram ketiga, yaitu *review* artikel (lihat gambar 6), semua artikel yang telah dimasukan oleh *contributor* dan telah ditentukan *reviewer*-nya oleh admin, diperiksa dan ditentukan oleh *reviewer* apakah layak atau tidak untuk di *publish*. Pada *activity diagram* ini, *reviewer* dapat melihat semua daftar artikel yang telah ditentukan oleh admin. Untuk membaca isi dari artikel, *reviewer* dapat melihat detail artikel (baik teks, gambar dan video) yang kemudian jika dirasa layak oleh *reviewer* maka artikel tersebut dapat di *publish*, atau jika masih butuh perbaikan maka *reviewer* akan memberikan keterangan perbaikan bagi artikel yang telah dimasukan oleh *contributor* untuk diperbaiki kembali.



Gambar 5. Activity diagram penentuan reviewer



Gambar 6. Activity diagram review artikel

IV. TAHAP IMPLEMENTASI SISTEM

Pada tahap ini, sistem yang akan dikembangkan kemudian di implementasikan kedalam kode program untuk dibuat menjadi aplikasi. Adapun tampilan *output* sistem dapat dilihat pada gambar berikut:

A. Tampilan Halaman Awal dari Sistem

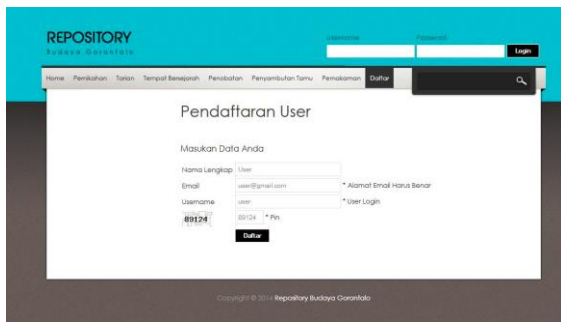
Terdapat beberapa menu yang disediakan pada halaman awal (lihat gambar 7), yaitu menu adat pernikahan, tarian, tempat bersejarah, adat penobatan, adat penyambutan tamu dan menu pendaftaran bagi *user* yang akan menjadi *contributor*.



Gambar 7. Tampilan halaman awal dari aplikasi

B. Tampilan Halaman Pendaftaran User

Halaman ini (lihat gambar 8), merupakan halaman untuk mendaftarkan diri sebagai *contributor*, dimana akses *contributor* adalah dapat memasukan artikel kedalam aplikasi. calon *contributor* harus mendaftarkan diri dengan memasukan nama lengkap, email, username dan angka seperti yang ada pada *captcha*.



Gambar 9. Halaman pendaftaran calon contributor

Setelah calon *contributor* melakukan pendaftaran, sistem secara otomatis langsung memberikan konfirmasi pendaftaran kepada *user* dengan memberikan *username* dan *password* (lihat gambar 10).

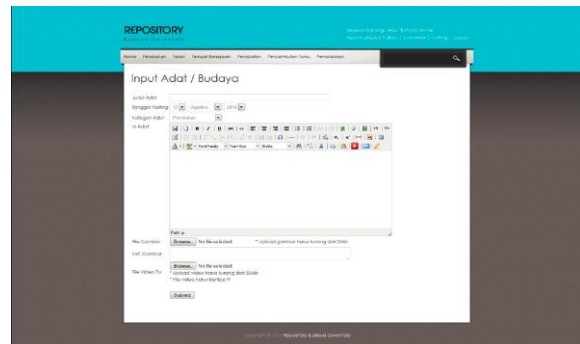


Gambar 10. Halaman konfirmasi pendaftaran calon contributor

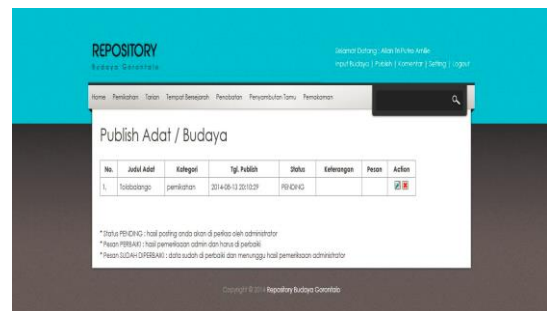
C. Tampilan Halaman Input Artikel Budaya

Untuk memasukan artikel kedalam sistem, *contributor* terlebih dahulu login. Setelah login *contributor* dapat memilih menu *input* budaya. Pada halaman *input* budaya (lihat gambar 11), *contributor* dapat memasukan artikel budaya dalam bentuk teks dan juga dapat melengkapinya dengan memasukan data video atau gambar (atau keduanya), kemudian menyimpan artikel tersebut dengan menekan tombol *submit*.

Setelah artikel tersimpan, kemudian akan tampil daftar artikel yang telah di *input* oleh *contributor* beserta status dan keterangannya (lihat gambar 12). Artikel yang telah disimpan masih dalam status *pending* untuk kemudian menunggu penentuan *reviewer* oleh admin. Untuk mengedit artikel, cukup dengan menekan tombol *edit* pada kolom *action*.



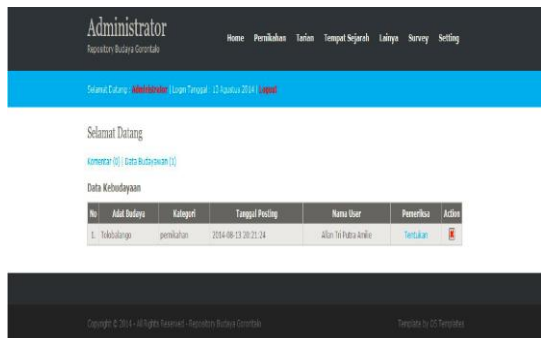
Gambar 11. Halaman input artikel budaya



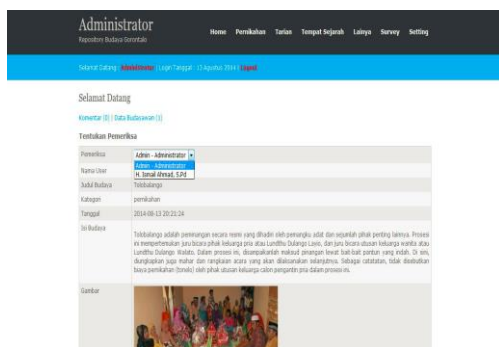
Gambar 12. Halaman daftar artikel contributor

D. Tampilan Halaman Penentuan Reviewer Oleh Admin

Halaman ini merupakan halaman yang digunakan oleh admin dalam menentukan *reviewer* bagi semua artikel yang telah dimasukan oleh *contributor* sebelumnya. Pada halaman ini admin memilih salah satu artikel yang ada pada daftar artikel yang telah dimasukan oleh *contributor*, yaitu dengan menekan teks “tentukan” pada kolom pemeriksa (lihat gambar 13), maka akan tampil halaman penentuan *reviewer* (lihat gambar 14), dimana admin dapat memilih *reviewer*/pemeriksa dari artikel yang terpilih.



Gambar 13. Halaman daftar artikel dari contributor



Gambar 14. Halaman penentuan reviewer

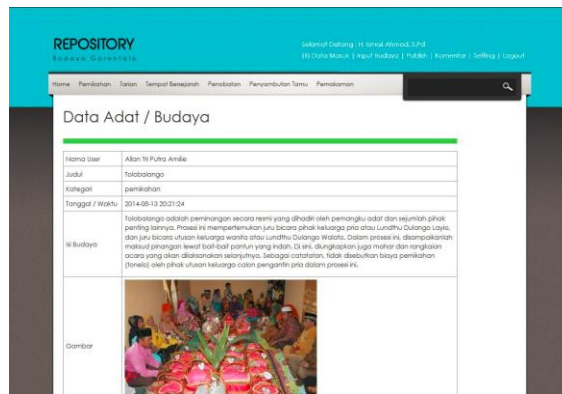
E. Tampilan Halaman Review Artikel

Halaman review artikel merupakan halaman yang disediakan bagi reviewer untuk memeriksa/me-review artikel budaya yang telah ditentukan oleh admin sebelumnya. Setelah login sebagai reviewer, maka akan tampil daftar artikel yang akan di review (lihat gambar 15). Untuk mulai me-review, maka cukup dengan menekan teks “lihat” pada kolom action.



Gambar 15. Halaman daftar artikel yang akan di-review

Jika teks “lihat” telah ditekan maka akan tampil halaman review artikel (lihat gambar 16). Apabila artikel layak untuk di publish, maka reviewer cukup menekan tombol publish untuk menampilkan artikel pada aplikasi. adapun apabila artikel tidak layak untuk di publish, maka reviewer akan menekan tombol “kirim untuk diperbaiki” kepada contributor. Artikel yang belum layak di publish kemudian akan diberikan keterangan.



Gambar 16. Halaman review artikel

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dipaparkan pada tahap analisis, perancangan dan implementasi sistem, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, antara lain:

- Pengembangan sistem menggunakan metode prototyping karena requirement system yang belum terdefenisi dengan baik. Hal ini disebabkan informasi yang di inginkan dari stakeholders (pemerintah daerah, pemangku adat, dan masyarakat) yang akan menggunakan sistem belum jelas, sehingga perlu pendalaman kembali requirement system dengan melalui wawancara yang lebih intensif dengan stakeholders.
- Sistem repositori yang dikembangkan memiliki kesamaan dengan sistem informasi review jurnal dengan maksud agar informasi yang dihasilkan oleh sistem bisa lebih valid.

Guna pengembangan sistem lebih lanjut, maka diperlukan beberapa perbaikan seperti :

- Perlunya pendalaman requirement system yang lebih lanjut, sehingga analisis pada zachman framework menjadi lebih baik lagi.
- Sistem informasi repositori digital budaya Gorontalo dapat di integrasikan kedalam portal eCHNH[7], sehingga menjadi lebih kaya informasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] European Commission. *Europeana – Background to the Digitisation Initiatives*. Digital Agenda for Europe 2020. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/europeanabackground-digitisation-initiative> [Accessed: August, 8, 2014].

[2] European Think Culture. *Strategic Plan 2011 – 2015*. [Online]. Available: http://www.pro.europeana.eu/c/document_library/get_file?uuid=c4f19464-7504-44db-ac1e-3ddb78c922d7&groupId=10602 [Access: August, 8, 2014].

[3] Graves, Tom., *Integrating Zachman and TOGAF-ADM*. Tetradian Consulting. 2007.

[4] Rini, F. Ikhsan, M., *E-Library Pada Badan Perpustakaan Dan Arsip Daerah Provinsi Jambi, Prosiding KNSI, Makassar*, 2014.

[5] Pender, Thomas A., *UML Weekend Crash Course*, Wiley Publishing Inc., New York, 2002.

- [6] Hoffer, Jefferey A., George, Joey F., and Valacich, Joseph S., *Modern System Analysis and Design-Third Edition, Chapter 20*. Prentice-Hall Inc., 2002.
- [7] Zainal A. Hasibuan, *An Overview of Integrated Approach to Digital Preservation: Case Study of Indonesian E- Cultural Heritage and Natural History Information Retrieval System*, *Proceeding of ICACISIS*. 2011. Indonesia. ISBN: 978-979-1421-11-9.

Smartchoice: Sistem Penunjang Keputusan Pemilihan Smartphone Android

Elah Suryani¹, Gusti Aulia², Vani Ahmad Ramadhan³, Lily Wulandari⁴

Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Gunadarma¹²³⁴

Jl. Margonda Raya No.100 Pondok Cina, Depok 16424, Telp(021)78881112 ext 403

elahsuryani@student.gunadarma.ac.id¹, gustiauliarizki@student.gunadarma.ac.id²,

vani.ahmad@student.gunadarma.ac.id³, lily@staff.gunadarma.ac.id⁴

Abstract— Nowadays a variety of information needs can be obtained easily and quickly through the current android smartphones have dominated the market share and become a trend in Indonesia. Therefore, many vendors offering Android smartphones with a variety of competing specifications, such as processor speed, the amount of pixels a camera, screen size, battery life up. The more variety of advanced features offered by each vendor there are many people who want to buy android smartphone is still confused in deciding which one is more appropriate and in accordance with the needs. Therefore Smartchoice applications: Sistem Penunjang Keputusan Pemilihan Smartphone Android was made to help provide ease in determining the right choice for the people. In its development, the application of this Smartchoice provide some alternative options for users who are divided from 2 categories of user needs, the price category and category features. This web-based application that can be used by all people who will buy android smartphone and use AHP approach (Hierarchy Analytical Process) in the calculation process.

Keywords: Decision Support System, AHP method.

Abstrak— Dewasa ini berbagai kebutuhan informasi dapat diperoleh dengan mudah dan cepat melalui *smartphone* android yang saat ini telah mendominasi pangsa pasar dan menjadi tren di Indonesia. Oleh karena itu banyak vendor yang menawarkan *smartphone* android dengan berbagai macam spesifikasi yang bersaing, seperti pada kecepatan prosesor, besaran pixel kamera, ukuran layar, hingga ketahanan baterai. Semakin beragamnya fitur canggih yang ditawarkan masing-masing vendor banyak pula masyarakat yang ingin membeli *smartphone* android masih bingung dalam menentukan mana yang lebih tepat dan sesuai dengan kebutuhan. Oleh karena itu aplikasi Smartchoice: Sistem Penunjang Keputusan Pemilihan Smartphone Android dibuat untuk membantu memberikan kemudahan dalam menentukan pilihan yang tepat bagi masyarakat. Pada pengembangannya, aplikasi Smartchoice ini memberikan beberapa pilihan alternatif bagi pengguna yang terbagi dari 2 kategori kebutuhan pengguna, yaitu kategori harga dan kategori fitur. Aplikasi ini berbasis web agar dapat digunakan oleh seluruh masyarakat yang akan membeli *smartphone* android dan menggunakan pendekatan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) dalam proses perhitungannya.

Kata kunci: Sistem Penunjang Keputusan, metode AHP.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan informasi dan teknologi dewasa ini menjadi hal yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Saat ini berbagai kebutuhan informasi dapat diperoleh dengan mudah dan cepat melalui *smartphone*. *Smartphone* atau yang disebut juga piranti pintar ini adalah perangkat teknologi serbaguna dan menjadi tren yang digemari oleh banyak orang. *Smartphone* juga berfungsi layaknya sebuah komputer, seperti dapat melakukan *browsing* melalui browser yang tersedia, *chatting* dengan fitur sosial media yang ada, hingga bermain *game online* dengan spesifikasi tinggi.

Seperti halnya pengguna yang semakin cerdas memilih *smartphone*, vendor pun bersaing menawarkan harga, fitur, hingga tampilan yang dapat menarik sebanyak-banyaknya minat pengguna. Oleh karena itu banyak vendor yang menawarkan *smartphone* android dengan berbagai macam spesifikasi yang bersaing, seperti pada kecepatan prosesor, besaran pixel kamera, ukuran layar, kecepatan internet, hingga ketahanan baterai. Berdasarkan kombinasi fitur canggih yang ditawarkan masing-masing vendor tersebut, menyebabkan pengguna yang ingin membeli *smartphone* android akan bingung dalam menentukan pilihan yang tepat.

Untuk memberikan kemudahan bagi pengguna dalam menentukan pilihan, maka penulis merancang aplikasi Smartchoice: Sistem Penunjang Keputusan (SPK) Menentukan Smartphone Android. Smartchoice dibuat dengan berlandaskan teori Sistem Penunjang Keputusan dan dengan pendekatan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) untuk proses perhitungan dan penentuan bobot dari masing-masing kategori yang telah ditentukan. Sistem penunjang keputusan (*Inggris: decision support systems disingkat DSS*) adalah bagian dari sistem informasi berbasis komputer yang dipakai untuk mendukung pengambilan keputusan dalam suatu organisasi atau perusahaan. SPK dapat juga dikatakan sebagai sistem komputer yang mengolah data menjadi informasi untuk mengambil keputusan dari masalah

semi-terstruktur yang spesifik. Aplikasi Smartchoice ini dikembangkan dengan memberikan beberapa pilihan alternatif bagi pengguna yang terbagi dari 2 kategori kebutuhan pengguna, yaitu kategori harga dan fitur. Pada kategori harga, terbagi dalam beberapa rentang kriteria harga, sedangkan dari kategori fitur, terdapat kriteria yaitu *Gaming, Camera and Video, Social Media, dan Office and Bussiness*. Smartchoice berjalan pada *web* agar lebih mudah digunakan oleh seluruh kalangan masyarakat.

II. DASAR TEORI

A. Sistem Penunjang Keputusan (SPK)

Decision Support System atau Sistem Penunjang Keputusan secara umum didefinisikan sebagai sebuah sistem yang mampu memberikan kemampuan baik kemampuan pemecahan masalah maupun kemampuan berkomunikasi untuk masalah semi-terstruktur. Menurut Man dan Watson SPK merupakan suatu sistem yang interaktif, yang membantu pengambil keputusan melalui penggunaan data dan model-model keputusan untuk memecahkan masalah yang sifatnya semi terstruktur maupun yang tidak terstruktur.

B. Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

Metode AHP yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty dapat memecahkan masalah kompleks, dimana kriteria yang diambil cukup banyak, struktur masalah yang belum jelas, Ketidakpastian persepsi pembuat keputusan serta ketidakpastian tersedianya data statistik yang akurat. Mulyono (1996), menjelaskan bahwa pada dasarnya metode AHP merupakan suatu teori umum tentang suatu konsep pengukuran. Konsep dari metode AHP adalah merubah nilai-nilai kualitatif menjadi nilai kuantitatif. Sehingga keputusan-keputusan yang diambil bisa lebih obyektif. Metode ini digunakan untuk menemukan suatu skala rasio baik dari perbandingan pasangan yang bersifat diskrit maupun kontinu. Permasalahan pada AHP didekomposisikan ke dalam hirarki kriteria dan alternative^[1].

Terdapat 3 tahap identifikasi dalam AHP, sebagai berikut:

- 1) Menentukan tujuan: Membeli *smartphone* android dengan kriteria tertentu.
- 2) Menentukan kriteria: *Gaming, Camera and Video, Social Media, dan Office and Bussiness*.
- 3) Menentukan alternatif: Sony Xperia, LG, Samsung, Lenovo, Oppo, dan Smartfren.

Berdasarkan beberapa kriteria yang telah ditentukan, maka dilakukan perhitungan dalam bentuk matriks berpasangan sesuai dengan konsep metode AHP dan memberikan penilaian bobot sesuai dengan tingkat

kepentingan. Penulis memberikan penilaian bobot dari masing-masing kriteria dengan menggabungkan beberapa sub kriteria. Seperti pada penilaian bobot kriteria untuk *gaming*, maka sub kriteria yang diutamakan adalah RAM, GPU dan Prosesor.

C. Smartphone Andoroid

Smartphone adalah sebuah perangkat komunikasi yang berfungsi layaknya ponsel atau *handphone* namun dengan kemampuan yang lebih luas juga memiliki layanan fitur yang menyerupai komputer. Android merupakan salah satu sistem operasi *open source* yang banyak digunakan pada *smartphone*.

Beberapa versi sistem operasi android yang telah hadir adalah sebagai berikut:

- 1) Android Cupcake
- 2) Android Donut
- 3) Android Éclair
- 4) Android Froyo
- 5) Android Gingerbread
- 6) Android Honeycomb
- 7) Android Ice Cream Sandwich
- 8) Android Jelly Bean
- 9) Android KitKat

penulis memberikan batasan dari berbagai jenis versi Android tersebut pada pembuatan Smartchoice ini untuk pengambilan kategori versi sistem operasi. Batasan kategori dipilih berdasarkan perkembangan pasar *smartphone* saat ini, maka penulis memilih versi Android Ice Cream Sandwich, Jelly Bean, dan KitKat.

III. DESAIN SISTEM DAN IMPLEMENTASI

A. Metodologi

Metode yang dilakukan dalam pembuatan aplikasi Smartchoice ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengambil elemen-elemen informasi: Penulis melakukan pencarian data dan informasi dari dua situs web yaitu www.teknoup.com dan www.lazada.co.id. Data diambil dari beberapa kategori yang dibutuhkan oleh aplikasi, yaitu: gambar, kamera (besaran pixel), harga, RAM, GPU, prosesor, sistem operasi dan jaringan seluler.
- 2) Menganalisis seluruh informasi: informasi yang diperoleh kemudian diperiksa sesuai dengan batasan dari aplikasi sistem yang dibuat.
- 3) Input database: informasi yang sudah diperiksa kemudian dimasukkan ke database. Perangkat lunak yang digunakan adalah Xampp.
- 4) Menentukan metode SPK: Metode yang digunakan oleh penulis adalah metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*)

5) Melakukan perancangan/desain program dengan PHP (berbasis web).

B. Pemetaan sub kriteria

Menyusun sub kriteria yang diperlukan untuk memberikan bobot sesuai tingkat kepentingan yang dibutuhkan dari setiap kriteria yang telah ditentukan. Kriteria dipilih berdasarkan kebutuhan pengguna *smartphone*, seperti berikut ini:

- 1) Camera and Video: diperuntukan untuk pengguna yang gemar dunia photography. Sub kriteria yang dipilih adalah menghitung besaran pixel kamera.
- 2) Gaming: diperuntukan untuk pengguna yang gemar bermain game. Kategori yang dipilih adalah menghitung ukuran RAM, GPU, dan Prosesor.
- 3) Social Media: diperuntukan untuk pengguna yang gemar chatting, berselancar di dunia maya, hingga update status. Kategori yang dipilih adalah menghitung kecepatan download dan upload.
- 4) Office and Bussiness: diperuntukan untuk pengguna yang menggunakan smartphone sebagai sarana bisnis. Kategori yang dipilih adalah menghitung ukuran ketahanan baterai.

C. Pemeringkatan tingkat kepentingan sub kriteria

Pada proses pemeringkatan ini, sub kriteria yang berlaku bersifat dinamis karena dari masing-masing kriteri yang diambil memiliki prioritas sub kriteria masing-masing yang diperlukan. Misalnya pada penentuan alternatif untuk kriteria Game, maka sub kriteria yang menjadi prioritas perhitungan adalah Prosesor, RAM, dan GPU, sementara sub kriteria lainnya seperti besar pixel kamera dan baterai tidak menjadi prioritas utama. Sesuai dengan metode AHP menurut Saaty (1994), pemberian bobot untuk masing-masing tingkat kepentingan adalah sebagai berikut:

- 1) Bobot 1: sama penting (equal)
- 2) Bobot 2: cukup penting (moderate)
- 3) Bobot 5: lebih penting (strong)
- 4) Bobot 7: sangat lebih penting (very)
- 5) Bobot 9: mutlak lebih penting (extreme)

Berikut ini merupakan tabel pemberian bobot pada masing-masing kriteria:

TABLE I. TABEL PEMBERIAN BOBOT

Kriteria	Sub kriteria	bobot
Gaming	RAM	5
	Prosesor	5
	GPU	5
	Kamera	1
	Baterai	3
	Download	1
Camera and Video	Upload	1
	RAM	1
	Prosesor	3
	GPU	3
	Kamera	5
	Baterai	3
Social Media	Download	1
	Upload	1
	RAM	3
	Prosesor	3
	GPU	1
	Kamera	3
Office and Bussiness	Baterai	1
	Download	5
	Upload	5
	RAM	3
	Prosesor	3
	GPU	1
	Kamera	1
	Baterai	5
	Download	3
	Upload	3

Setelah pemberian bobot dari masing-masing kriteria terhadap sub kriteria berikut ini adalah proses perhitungan Eigenvector dan Uji konsistensi. Konsep Eigenvector digunakan untuk melakukan proses pemeringkatan prioritas setiap kriteria berdasarkan matriks perbandingan berpasangan.

	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>g</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>d</i>		
<i>p</i>	1,000	5,000	5,000	5,000	3,000	5,000	0,789	3,204
<i>r</i>	0,200	1,000	1,000	5,000	1,666	5,000	0,178	1,309
<i>g</i>	0,200	1,000	1,000	5,000	1,666	5,000	0,178	1,309
<i>c</i>	0,200	0,200	0,200	1,000	0,333	1,000	0,045	0,324
<i>b</i>	0,333	0,600	0,600	3,000	1,000	3,000	0,120	0,868
<i>d</i>	0,200	0,200	0,200	1,000	0,333	1,000	0,045	0,324
<i>u</i>	0,200	0,200	0,200	1,000	0,333	1,000	0,045	0,324

Uji konsistensi:

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{elemen ke -i pada (A)}(w^T)}{\text{elemen ke -i pada } w^T} \right)$$

Indeks konsistensi:

$$CI = \frac{t - n}{n - 1}$$

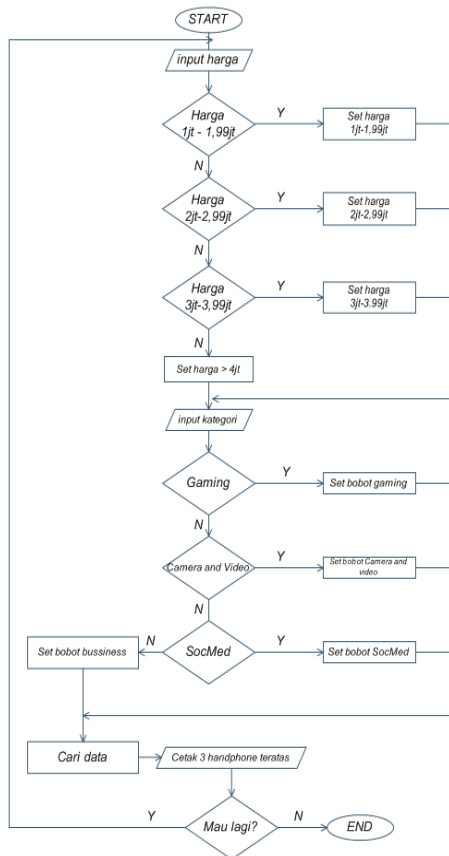
Perhitungan:

$$t = \frac{1}{7} \left(\frac{3,204}{0,389} + \frac{1,309}{0,178} + \frac{1,309}{0,178} + \frac{0,324}{0,045} + \frac{0,868}{0,120} + \frac{0,324}{0,045} + \frac{0,324}{0,045} \right)$$

$$= \frac{7,39 - 7}{6} = \frac{0,39}{6} = 0,065 \rightarrow \text{Cukup konsisten}$$

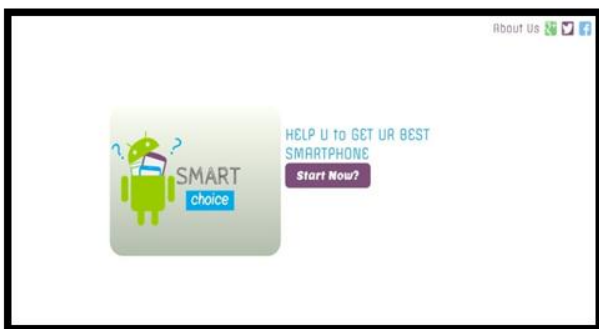
D. Gambaran alur program

Berikut ini gambaran alur program Smartchoice yang diimplementasikan pada bentuk flowchart. Flowchart tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



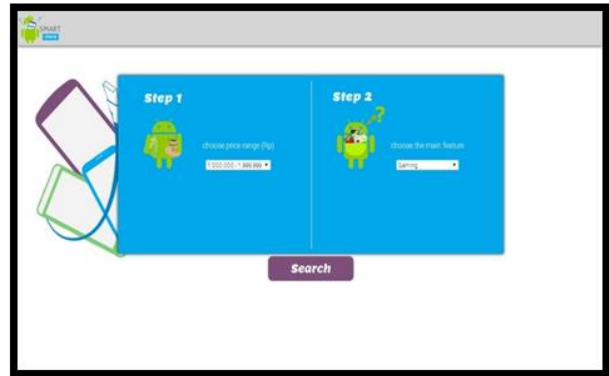
Gambar 1. Flowchart

E. Implementasi aplikasi



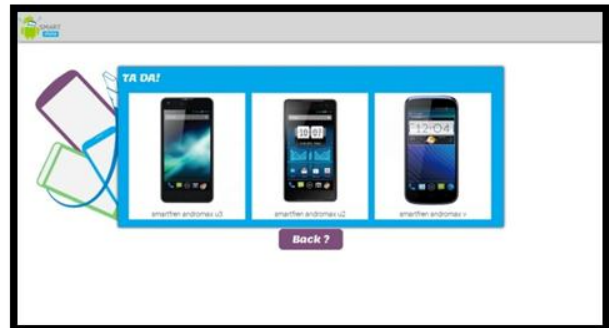
Gambar 2. Halaman awal Smartchoice

Pada tampilan halaman awal terlihat seperti pada gambar 2. User dapat mengklik tombol start now untuk mulai menggunakan aplikasi smartchoice.



Gambar 3. Halaman pemilihan

Pada gambar 3 menunjukkan halaman pemilihan. Pada step 1 user dapat menentukan rentang harga berapa yang diinginkan dan pada step 2 fitur apa yang dibutuhkan untuk melakukan pencarian dan mendapatkan hasil atau rekomendasi yang diinginkan.



Gambar 4. Halaman hasil

Pada gambar 4 user dapat melihat hasil rekomendasi dari aplikasi smartchoice dan terdapat tiga pilihan smartphone terbaik yang diharapkan dapat membantu keputusan yang dipilih oleh user.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan implementasi program, maka dapat diambil kesimpulan bahwa metode AHP pada Smartchoice membantu memberikan tiga pilihan terbaik kepada pengguna berdasarkan kriteria yang dicari yakni *Gaming*, *Camera and Video*, *Office and Business* dan *Social Media*. Hal penting yang mempengaruhi keputusan adalah dalam menentukan kriteria pengambilan kesimpulan serta penentuan bobot dari masing-masing kriteria.

REFERENSI

[1] Mulyono, s.1996 "Teori Pengambilan Keputusan". Penerbit fakultas ekonomi Universitas Indonesia. Jakarta.
[2] Honggowibowo, Anton Setiawan, *Implementasi Metode Analytical Hierarchy Process Untuk Pengambilan Keputusan*

- Pemilihan Foto Berdasarkan Tujuan Perolehan Foto.* <http://isjd.pdii.lipi.go.id/> diakses pada tahun 2010.
- [3] Andreas Handoyo, Djoni H. Setiabudi, Rachma Yunita, *Pembuatan Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan Untuk Proses Kenaikan Jabatan Dan Perencanaan Karir Pada PT.* <http://puslit2.petra.ac.id/> diakses pada tahun 2003.
- [4] Supriyono, *Sistem Penunjang Keputusan (SPK) Pemilihan Sepeda Motor Menggunakan Metode AHP.* <http://jurnal.umk.ac.id/> diakses pada tahun 2012.
- [5] Azwany, Faraby, *Sistem Pendukung Keputusan Pemberian Kredit Usaha Rakyat Pada Bank Syariah Mandiri Cabang Medan Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP).* <http://repository.usu.ac.id/> diakses pada 4 Januari 2011.

APLIKASI SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN PENENTUAN DESTINASI WISATA DKI JAKARTA MENGGUNAKAN METODE AHP BERBASIS WEB

Budi Setiawan Santoso¹, Millati Izatillah², Mustafa Ibrahim³, Lily Wulandari⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Gunadarma
Jalan Margonda Raya No. 100 Pondok Cina, Depok 16424 Indonesia

¹budisetiawansantoso@student.gunadarma.ac.id, ²milla14@student.gunadarma.ac.id

³mustafadroid@student.gunadarma.ac.id, ⁴lily@staff.gunadarma.ac.id

Abstract—Nowadays rapid development of world tourism has not been followed by the development of technology. This then affects the tourists that confused for the lack of information in determining the target of the tourist destinations corresponding to the cost, location and type of the destination. As the center of Indonesian capital, Jakarta has various tourist destinations and become a magnet for the tourist. Therefore, there need right decision for the tourist who traveled in Jakarta in determining the proper tourist destination based on their wishes. The process to select the destinations that want to target has many criteria that chosen by the tourists are then entered in Multiple Attribute Decision Making (MADM) which then requires the presence of the Decision Support System. The method that used on decision making in this system is using the Analytical Hierarchy Process (AHP). This application is made in order to obtain tourist destination that located in Jakarta based on the type of the desired category. The category is obtained by selecting the distance priority or price.

Keywords—Decision Support System; Tourist Destination; DKI Jakarta; AHP

Abstrak—Pesatnya perkembangan dunia pariwisata saat ini sebaiknya diikuti dengan fasilitas layanan yang bersifat personal sebagai contoh layanan informasi dalam menentukan destinasi wisata yang sesuai dengan biaya, lokasi dan jenis tempat wisata yang ingin dituju. Sebagai pusat ibukota Indonesia, DKI Jakarta memiliki berbagai macam destinasi wisata dan turut menjadi magnet bagi para wisatawan. Oleh karena itu, perlu adanya keputusan yang tepat bagi para wisatawan yang berwisata di Jakarta dalam menentukan destinasi wisata yang tepat sesuai dengan keinginan mereka. Proses untuk memilih destinasi yang ingin dituju terdapat banyak kriteria yang dipilih oleh wisatawan yang kemudian termasuk dalam *Multiple Attribute Decision Making* (MADM) yang kemudian membutuhkan adanya sebuah Sistem Penunjang Keputusan. Metode yang digunakan dalam pengambilan keputusan dalam sistem ini adalah dengan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Aplikasi ini dibuat agar wisatawan memperoleh destinasi wisata yang terdapat di Jakarta berdasarkan jenis kategori yang diinginkan. Kategori tersebut diperoleh berdasarkan pemilihan prioritas jarak atau harga.

Kata kunci—Sistem Penunjang Keputusan; destinasi wisata; DKI Jakarta; AHP

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi yang semakin meningkat membuat dampak yang cukup besar dalam

seluruh aspek kehidupan dan membawa manusia saat ini masuk ke dalam era globalisasi, dimana pada era ini manusia memerlukan informasi yang terbaru dengan cepat, praktis, efisien dan akurat serta dapat diandalkan.

Internet telah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam kehidupan manusia pada abad ke-21 ini. Kemajuan teknologi internet telah menjadi simbol cara berkomunikasi secara bebas, tanpa terbatas oleh ruang, jarak dan waktu. Dengan ditunjang oleh berbagai kelebihan dan keunggulan dari internet, antara lain adalah biaya koneksi internet yang relatif terjangkau dan ketersediaan informasi yang tidak terbatas, internet saat ini menjadi salah satu kebutuhan utama masyarakat dalam memenuhi segala kebutuhan yang terkait dengan informasi.

Seiring dengan berkembangnya dunia pariwisata, internet juga turut mengambil bagian menjadi media dan sarana informasi bagi para wisatawan dalam hal mencari dan menentukan destinasi wisata yang akan mereka tuju. Sangat melimpahnya informasi mengenai destinasi membuat wisatawan kebingungan dalam menentukan tempat wisata yang ingin dituju sesuai dengan kriteria yang mereka inginkan. Berbagai kriteria seperti jenis tempat wisata, biaya, serta jarak yang menjadi pertimbangan para wisatawan dalam menentukan destinasi wisata yang mereka ingin tuju yang terkadang tidak dapat mereka dapati di internet. Internet dalam hal ini kebanyakan hanya menampilkan tempat wisata secara acak dan tidak tersusun dengan baik yang menjadi kendala para wisatawan dalam menentukan destinasi yang tepat bagi mereka.

Jakarta sebagai pusat Ibukota dari Indonesia pun memiliki berbagai destinasi wisata yang sangat banyak dan beragam. Jumlah kunjungan wisatawan mancanegara (wisman) ke Jakarta melalui 3 pintu masuk (Soekarno-Hatta, Tanjung Priok, dan Halim Perdanakusumah) pada bulan Januari 2014 mencapai 193.017 kunjungan, mengalami penurunan sebesar 0,76 persen dibandingkan kunjungan wisman bulan Desember 2013 yang berjumlah 194.499 kunjungan. Namun jika dibandingkan dengan kunjungan wisman bulan yang sama tahun sebelumnya, jumlah kunjungan wisman bulan Januari 2014 lebih tinggi 15,31 persen. Sepuluh kebangsaan yang menjadi pengunjung terbanyak ke Kota Jakarta untuk bulan Januari 2014 adalah Malaysia (27.219 kunjungan); China (22.365 kunjungan); Jepang

(15.292 kunjungan); Singapura (14.888 kunjungan); Saudi Arabia (14.601 kunjungan); Korea Selatan (10.541 kunjungan); Australia (7.182 kunjungan); Taiwan (6.525 kunjungan); Amerika Serikat (6.446 kunjungan); dan India (5.739 kunjungan). Untuk tingkat penghunian kamar (TPK) hotel berbintang pada bulan Januari 2014 mencapai 53,55 persen, mengalami penurunan TPK sebesar 6,27 poin dari TPK bulan Desember 2013 yang mencapai 59,82 persen. Namun jika dibandingkan dengan TPK bulan Januari 2013 yang mencapai 51,98 persen, TPK bulan Januari 2014 lebih tinggi 1,57 poin [1].

Berdasarkan data di atas, digambarkan bahwa Jakarta sangatlah potensial dalam pertumbuhan wisatawan dan menjadi magnet destinasi dikarenakan Jakarta sebagai pusat Ibukota dan pusat pemerintahan di Indonesia. Oleh karena itu, dibutuhkan adanya sebuah portal informasi yang dapat membantu para wisatawan dalam menentukan destinasi. Oleh karena itu, diperlukan sebuah aplikasi berbasis *web* untuk menentukan kategori destinasi wisata di Jakarta yang disesuaikan dengan jenis berdasarkan kategori destinasi wisata yang dipilih atas pemilihan prioritas terhadap jarak atau harga. Dimampukannya pula seorang admin untuk melakukan penambahan data destinasi wisata dan melakukan pengeditan destinasi wisata yang ada, yang kemudian membuat aplikasi ini selalu dapat diperbaharui sesuai dengan keadaan dan relevan dengan pembaharuan yang ada. Dengan adanya aplikasi ini diharapkan dapat membantu para wisatawan menemukan destinasi wisata di Jakarta dengan tepat sesuai dengan kebutuhan.

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Penunjang Keputusan

Menurut Trisnawarman dan Wijaya, mendefinisikan bahwa Sistem Penunjang Keputusan adalah sistem yang mengintegrasikan basis data dan basis model dalam suatu tampilan dialog dan digunakan secara interaktif oleh pengguna untuk membantu pengambilan keputusan [2]. Sedangkan menurut Efraim Turban, Jay E. Aronson, dan Ting-Peng Liang menyatakan bahwa Sistem Penunjang Keputusan merupakan sekumpulan prosedur berbasis model untuk data pemrosesan dan penilaian guna membantu para manajer mengambil keputusan [3]. Sistem ini bertujuan untuk menyediakan informasi yang berfungsi membantu manajer dalam pengambilan keputusan semiterstruktur yang terkadang keputusan dapat diketahui terkadang keputusan yang akan dibuat tidak jelas dan keputusan tidak terstruktur dimana tidak seorang pun tahu keputusan apa yang harus dibuat.

Ciri-ciri SPK adalah sebagai berikut [4] :

- SPK digunakan oleh para manajer tingkat puncak untuk membantu pengambilan keputusan-keputusan yang kurang terstruktur.
- SPK merupakan gabungan antara kumpulan model kualitatif dan kumpulan data

- SPK memiliki fasilitas interaktif yang dapat mempermudah hubungan antara manusia dengan computer

B. Analytical Hierarchy Process (AHP)

Analytical Hierarchy Process (AHP) adalah salah satu bentuk metode pengambilan keputusan yang pada dasarnya berusaha menutupi semua kekurangan dari metode sebelumnya.

AHP menggabungkan pertimbangan dan penilaian pribadi dengan cara yang logis dan dipengaruhi imajinasi, pengalaman, dan pengetahuan untuk menyusun hierarki dari suatu masalah yang berdasarkan logika, intuisi dan juga pengalaman untuk memberikan pertimbangan. AHP merupakan suatu proses mengidentifikasi, mengerti dan memberikan perkiraan interaksi sistem secara keseluruhan [5].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Strategi Penelitian

Strategi dalam penelitian dilakukan menurut aturan sebagai berikut :

- Mengumpulkan data berbagai destinasi wisata yang terdapat di Jakarta.
- Melakukan analisa terhadap data yang terkumpul.
- Merancang dan mendesain *database* untuk menyimpan data berbagai destinasi wisata yang terdapat di Jakarta.
- Merancang metode yang akan digunakan yaitu dengan menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process*.
- Merancang desain *interface*, sebagai media interaksi antara user dengan aplikasi.
- Melakukan pengkodean, untuk membangun mesin inferensi
- Test dan implementasi terhadap aplikasi sistem yang dibuat.

B. Metologi Pengumpulan Data

Metode pengumpulan bahan dan data merupakan sebuah kegiatan mencari, mengumpulkan data penunjang untuk aplikasi ini. Data yang dibutuhkan adalah data mengenai destinasi-destinasi wisata yang ada di Jakarta yang diperoleh dari berbagai sumber buku dan melihat daftar destinasi wisata yang ada di situs milik dinas pariwisata DKI Jakarta. Dari keseluruhan data yang dikumpulkan, diputuskan untuk mengambil 13 jenis kategori destinasi wisata yaitu dengan kategori edukasi, kebudayaan, kesenian, tempat bersejarah, rekreasi, pantai, bahari, alam, pusat perbelanjaan, *community market*, pasar grosiran, kuliner dan pulau. Dari ketiga belas kategori tersebut, telah disortir dan didapatkan sebanyak 106 data keseluruhan destinasi wisata.

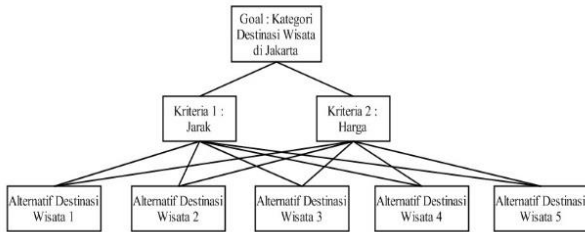
C. Analisis dan Perancangan Sistem

1) Penyusunan Hierarki

Keputusan dari dihasilkan nya saran destinasi wisata di Jakarta ditentukan berdasarkan goal atau tujuan awal yaitu berupa pemilihan kategori tempat wisata yang ingin

dituju yang dibagi atas 13 kategori untuk dijadikan tujuan. Untuk kriteria yang ada dalam aplikasi ini dibagi atas dua kriteria, yaitu berdasarkan jarak dan atau harga yang kemudian dipilih oleh wisatawan. Struktur hierarki dari permasalahan ini digambarkan sebagai berikut :

Keterangan :

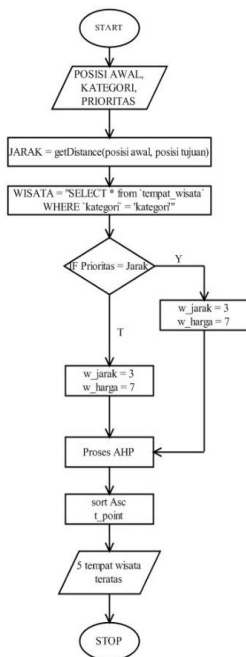


Gambar 1. Hierarki sistem secara umum

Kategori yang menjadi goal atau tujuan dibagi atas 13 kategori jenis destinasi wisata berupa destinasi edukasi, kebudayaan, kesenian, tempat bersejarah, rekreasi, pantai, bahari, alam, pusat perbelanjaan, *community market*, pasar grosiran, kuliner, pulau.

2) Flowchart Diagram

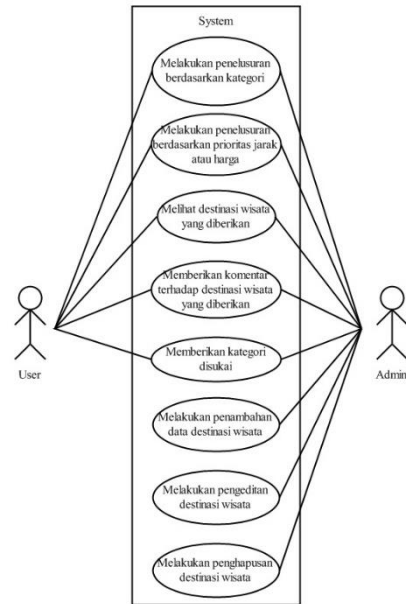
Langkah-langkah penentuan hasil dari Sistem Penunjang Keputusan ini dapat digambarkan pada *flowchart* dibawah ini :



Gambar 2.

Flowchart sistem secara umum

3) Use Case Diagram



Gambar 3.

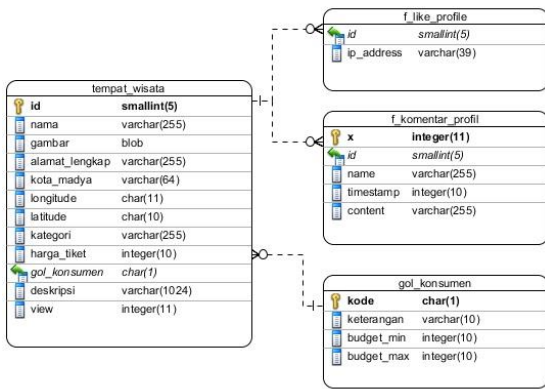
Use Case Diagram sistem

Analisis Use Case Diagram diatas adalah sebagai berikut:

- User dapat melakukan proses penelusuran destinasi wisata pada awalnya berdasarkan kategori destinasi wisata. Setelah itu melakukan penentuan prioritas berdasarkan jarak atau harga terhadap kategori destinasi wisata tersebut. Kemudian, user dapat memberikan komentar terhadap destinasi wisata tersebut. User pun dapat memberikan "like" pada destinasi wisata tersebut.
- Admin secara keseluruhan dapat melakukan akses terhadap seluruh fasilitas aplikasi ini. Admin dapat melakukan penelusuran destinasi wisata, melakukan penentuan prioritas berdasarkan jarak atau harga, memberikan komentar terhadap destinasi wisata, memberikan "like", melakukan penambahan destinasi wisata, melakukan pengeditan destinasi wisata dan melakukan penghapusan destinasi wisata yang telah ada

4) Entity Relational Diagram (ERD)

Kebutuhan data aplikasi sistem pendukung keputusan ini dituangkan kedalam Entity Relational Diagram (ERD) yang menampilkan tabel beserta nama kolom dan atribut serta relasinya dengan tabel lain seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.
Entity Relational Diagram sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari aplikasi ini adalah destinasi wisata berdasarkan kategori yang dipilih oleh para wisatawan. Kategori yang ditampilkan sebagai hasil destinasi wisata adalah perolehan hasil dari penentuan prioritas wisatawan apakah prioritas didasarkan pada jarak atau harga.

A. Perhitungan Nilai Konsistensi

Dilakukannya perhitungan dalam memutuskan nilai konsistensi awal dalam penilaian yang dilakukan terhadap alternatif-alternatif keputusan yang ada untuk berbagai kriteria perlu dilakukan, sehingga didapatkan nilai konsistensi yang sesuai.

1) Prioritas Jarak

Dalam perhitungan konsistensi sesuai dengan **prioritas jarak**, didapati bahwa pemberian nilai awal masing-masing adalah :

Jarak (J) = 7

Harga (H) = 3

sehingga didapati matriks awal berupa :

Tabel 1.
Matriks nilai awal sesuai prioritas jarak

	J	H
J	7/7 = 1	7/1 = 7
H	1/7 = 0.1429	3/3 = 1
TOTAL	1.1429	8

Setelah itu dilakukan normalisasi terhadap matriks tersebut, dengan melakukan perkalian matriks awal dengan jumlah matriks per baris :

Nilai rata-rata : (0.8750 + 0.8750)/2 = **0.8750**

: (0.1250 + 0.1250)/2 = **0.1250**

W = 0.8750; 0.1250

	J	H			
--	---	---	--	--	--

$$\begin{vmatrix} J & 1 & 7 \\ H & 0.1429 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.8750 & 1.75 \\ 0.1250 & 0.25 \end{vmatrix}$$

$$t = \frac{1}{2} \left(\frac{1.75}{0.8750} \right) + \left(\frac{0.25}{0.1250} \right) = 2$$

$$CI = \left(\frac{2-2}{2-1} \right) = 0$$

n (banyak kategori) = 2

R1n (Index Random) = 0

$$\frac{CI}{R1n} = 0$$

Dikarenakan nilai $\frac{CI}{R1n} \leq 0$, maka hasil untuk konsistensi terhadap prioritas **jarak** adalah **konsisten**.

2) Prioritas Biaya

Dalam perhitungan konsistensi sesuai dengan **prioritas harga**, didapati bahwa pemberian nilai awal masing-masing adalah :

Jarak (J) = 3

Harga (H) = 7

sehingga didapati matriks awal berupa :

Tabel 2.
Matriks nilai awal sesuai prioritas harga

	J	H
J	3/3 = 1	1/7 = 0.1429
H	7/1 = 7	7/7 = 1
TOTAL	8	1.1429

Setelah itu dilakukan normalisasi terhadap matriks tersebut, dengan melakukan perkalian matriks awal dengan jumlah matriks per baris :

Tabel 3.
Normalisasi matriks

	J	H
J	(3/3)/8 = 0.1250	(1/7)/1.1429 = 0.1250
H	(7/1)/8 = 0.8750	(7/7)/1.1429 = 0.8750

Nilai rata-rata : (0.1250 + 0.1250)/2 = **0.1250**

: (0.8750 + 0.8750)/2 = **0.8750**

W = 0.1250; 0.8750

	J	H			
--	---	---	--	--	--

$$\begin{vmatrix} J & 1 & 0.1429 \\ H & 7 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0.1250 \\ 0.8750 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.25 \\ 1.75 \end{vmatrix}$$

$$t = \frac{1}{2} \left(\frac{0.25}{0.1250} \right) + \left(\frac{1.75}{0.8750} \right) = 2$$

$$CI = \left(\frac{2-2}{2-1} \right) = 0$$

n (banyak kategori) = 2

R1n (Index Random) = 0

$$\frac{CI}{R1n} = 0$$

Dikarenakan nilai $\frac{CI}{R1n} \leq 0$, maka hasil untuk konsistensi terhadap prioritas **biaya** adalah **konsisten**.

Proses perhitungan perbandingan matriks berpasangan untuk masing-masing kategori yang terdapat pada aplikasi ini yang kemudian akan dilakukan oleh komputer secara keseluruhan dengan cakupan banyaknya data per masing-masing kategori. Begitupun dengan perhitungan untuk pemeringkatan dalam menentukan alternatif destinasi wisata yang akan dikeluarkan dari kategori masing-masing sesuai dengan penentuan prioritas. Proses ini juga dilakukan oleh komputer, sehingga didapatkan lima alternatif akhir destinasi wisata.

Selain itu, dalam aplikasi ini setiap destinasi wisata yang ada disemua kategori diklasifikasikan dalam golongan-golongan konsumen. Penggolongan ini dimaksudkan jika terdapat destinasi wisata yang tidak memiliki harga tiket, maka dapat diperkirakan besarnya biaya yang akan dikeluarkan di destinasi wisata tersebut dan membantu para wisatan untuk memperkirakan biaya pada destinasi wisata tersebut. Hal ini dilakukan pula untuk melakukan penyortiran terhadap alternatif hasil yang dikeluarkan pada aplikasi ini. Rumusan perhitungan biaya ini dapat dirumuskan seperti dibawah ini :

$$\text{Biaya} = \text{harga tiket masuk} + \text{harga golongan} \\ (\text{maximum budget per golongan})$$

Berikut ini adalah penggolongan konsumen yang ada pada aplikasi ini :

Tabel 4.
Penggolongan konsumen

Kode	Keterangan	Min Budget – Max Budget
A	Ekonomi 1	Rp. 0 – Rp. 25.000
B	Ekonomi 2	Rp. 25.001 – Rp. 50.000
C	Ekonomi 3	Rp. 50.001 – Rp. 100.000
D	Bisnis 1	Rp. 100.001 – Rp. 250.000

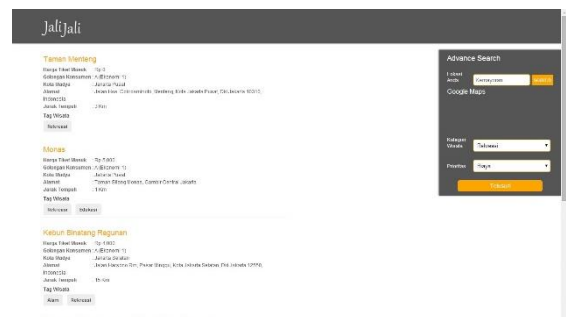
E	Bisnis 2	Rp. 250.001 – Rp. 500.000
F	Eksekutif	Rp. 500.001 – Rp. 1.000.000.000

B. Contoh Tampilan Aplikasi



Gambar 5. Tampilan halaman awal Tampilan halaman awal aplikasi dimana user diminta terlebih dahulu untuk memasukkan lokasi awal user.

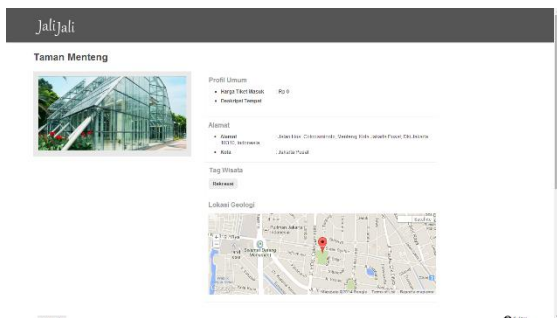
Pada tampilan halaman awal aplikasi user dapat memasukkan lokasi awal. Lokasi awal ini untuk menentukan lokasi keberadaan user.



Gambar 6.

Tampilan contoh halaman ketika user memasukkan lokasi awal “kemayoran” dengan kategori wisata “rekreasi” dan prioritas biaya.

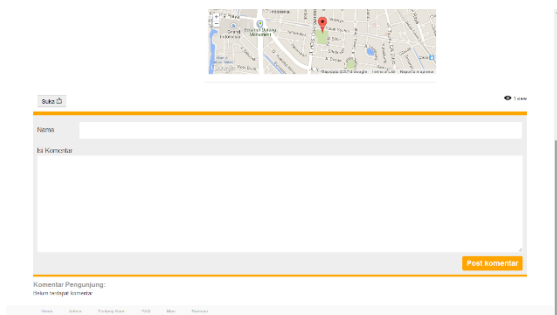
Pada halaman utama, user dapat memasukkan lokasi awal keberadaan user, katagori wisata, dan prioritas. Misalnya user mengetikkan lokasi awal “Kemayoran” dan memilih kategori wisata “Rekreasi” dan memilih Prioritas “Biaya”. User akan melihat beberapa pilihan destinasi wisata setelah mengklik tombol telusuri.



Gambar 7.

Tampilan halaman tentang informasi detail destinasi wisata yang telah dipilih oleh *user*.

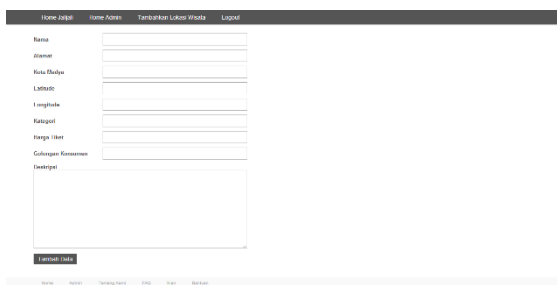
Misal, *user* telah memilih destinasi wisata Taman Menteng, maka akan tampil informasi detail dari Taman Menteng berupa profil umum, alamat, tag wisata dan letak geologis.



Gambar 8.

Tampilan contoh halaman untuk fitur memberikan komentar dan memberikan kategori disukai melalui mengklik ikon “Suka”.

Aplikasi Sistem Penunjang Keputusan Penentuan Destinasi Wisata Daerah Khusus Ibukota Jakarta ini memiliki fitur untuk memberikan komentar dan menyukai destinasi wisata. Komentar dan jumlah “suka” dari suatu destinasi wisata dapat memberikan *review* untuk *user* lain dalam menentukan destinasi yang akan dipilih.



Gambar 9.

Tampilan halaman ketika *Admin* mengklik pilihan “Tambah Tempat Wisata”.

Halaman admin terdapat fungsi tambah destinasi wisata dan edit destinasi wisata. Admin dapat menambahkan destinasi wisata atau memperbaharui data destinasi wisata.

V. KESIMPULAN

Penggunaan Sistem Penunjang Keputusan (SPK) dapat mempercepat penentuan hasil untuk memperoleh alternatif destinasi wisata. Berdasarkan hasil implementasi sistem, maka dapat diambil kesimpulan bahwa Aplikasi Sistem Penunjang Keputusan Penentuan Destinasi Wisata Daerah Khusus Ibukota Jakarta dapat membantu pengguna dalam menentukan destinasi wisata yang sesuai dengan tujuan awal yaitu jenis kategori destinasi wisata dan penentuan prioritas berdasarkan biaya atau jarak dari lokasi awal yang dimasukkan.

Menurut hasil uji coba yang dilakukan, didapatkan hasil yang konsisten untuk pembobotan yang dihasilkan. Proses pemeringkatan yang didapat pada aplikasi sistem penunjang keputusan ini telah berhasil, dimana nilai tertinggi yang dihasilkan setelah *user* memasukkan kategori destinasi wisata dan menentukan prioritas berdasarkan biaya atau jarak, diperoleh lima alternatif destinasi wisata. Namun keputusan yang diambil tetap berada ditangan user tanpa harus terpaksa dengan hasil yang ada.

DAFTAR PUSAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Provinsi DKI Jakarta. 2014. Jumlah Wisman yang Mengunjungi DKI Jakarta Bulan Januari 2014 Mencapai 193.017 Kunjungan. (Online). (<http://jakarta.bps.go.id/index.php?bWVudT0yMTAyJnBhZ2U9YnJzJnN1Yj0wMiZpZD01MTk=>, diakses 24 Maret 2014)
- [2] Trisnawarman, D dan Nico S W. 2007. Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Menu Makanan Bagi Penderita Diabetes dalam Berbagai Makalah Sistem Informasi. Konferensi Nasional Sistem Informasi (KNSI 2007). Penerbit Informatika. Bandung.
- [3] Efraim Turban, Jay E. Aronson, dan Ting-Peng Liang, penterjemah Dwii Prabantini. 2005. *Decision Support Systems and Intelligent Systems-7th Ed Jilid 1*. CV. ANDI Offset. Yogyakarta.
- [4] Sudirman, I dan Widjajani. 1996. Sistem Informasi Manajemen. Lemlit UNPAD Press. Bandung.
- [5] Saaty, T.L., 1994. Fundamental Of Decision Making and Priority Theory With The Analytic Hierarchy Process, University of Pittsburgh, RWS publication. England.

PERMAINAN DAKON DENGAN METODE BAYESIAN NETWORK BERBASIS KEMAMPUAN KOGNITIF PEMAIN

Ika Ratna Indra Astutik¹⁾, Surya Sumpeno²⁾, Mauridhi Hery Purnomo³⁾

- 1) Jaringan Cerdas Multimedia Teknik Elektro, Teknologi Industri ITS Surabaya 60111 Indonesia, aku_ratna04@yahoo.com
- 2) Jaringan Cerdas Multimedia Teknik Elektro, Teknologi Industri ITS Surabaya 60111 Indonesia, surya@ee.its.ac.id
- 3) Jaringan Cerdas Multimedia Teknik Elektro, Teknologi Industri ITS Surabaya 60111 Indonesia, hery@ee.its.ac.id

Abstract - Dakon is a traditional game that is already familiar with Indonesian children. The game is generally played by two people by utilizing a Dakon board that has 14 small holes and two large holes to be filled by dakon seeds, the player can enter dakon highest seed in her big hole is the winner. With the development of information technology and dakon game is not just a regular board game but can be used as a tool to train students in thinking skills to the concept of numbers and arithmetic operations (educational games). The introduction of the concept of numbers and arithmetic operations are both in elementary school students is very important, children will be able to understand the real and tangible in distinguishing the concept of more and less, equal and not equal and the addition and subtraction of numbers. The introduction of the concept and operation count is based on the development of the cognitive potential of children using language so that the children will have the capability of knowledge and skills. Game-based cognitive Dakon using Bayesian Network not only practicing the skills of the students but also can help teachers determine students level of understanding of the concept of numbers and arithmetic operations (smart, medium or less).

Keyword : Number concept, cognitive, games, Dakon, Bayesian Network

Abstrak - Dakon merupakan permainan tradisional yang sudah familiar dengan anak-anak Indonesia. Permainan ini umumnya dimainkan oleh dua orang dengan memanfaatkan sebuah papan Dakon yang memiliki 14 buah lubang kecil dan 2 buah lubang besar untuk dapat diisi oleh biji dakon, Pemain yang dapat memasukkan biji dakon terbanyak di lubang besar miliknya adalah pemenangnya. Dengan perkembangan teknologi dan Informasi game dakon bukan hanya sebuah board game biasa tetapi bisa digunakan sebagai alat bantu anak didik dalam melatih keterampilan berpikir terhadap konsep bilangan dan

operasi hitung (edukasi game). Pengenalan konsep bilangan dan operasi hitung yang baik pada anak didik terutama disekolah dasar sangatlah penting, anak akan dapat memahami secara riil dan nyata dalam membedakan konsep banyak dan sedikit, lebih dan kurang, sama dan tidak sama serta penambahan dan pengurangan bilangan. Pengenalan konsep dan operasi hitung didasarkan pada pengembangan potensi anak menggunakan bahasa kognitif sehingga nantinya anak-anak mempunyai kemampuan mengenai pengetahuan (knowledge) dan ketrampilan (skill). Game Dakon berbasis aspek kognitif menggunakan Bayesian Networks tidak hanya melatih keterampilan anak didik tetapi juga dapat membantu guru mengetahui tingkatan pemahaman anak didik terhadap konsep bilangan dan operasi perhitungannya (pintar, menengah atau kurang).

Kata kunci : Konsep bilangan, kognitif, game, Dakon, Bayesian Networks

1. PENDAHULUAN

Permainan (*Game*) merupakan salah satu faktor yang penting dalam pertumbuhan dan perkembangan anak. Pemanfaatan dan penggunaan game dapat menunjang proses pembelajaran terhadap anak. Dengan adanya game berbasis edukasi, diharapkan semangat anak untuk belajar akan lebih terpacu.

Pemahaman konsep bilangan dan operasi hitung khususnya penjumlahan dan pengurangan pada anak terutama disekolah dasar sangatlah penting karena bilangan merupakan dasar dari pembelajaran Matematika. Dengan konsep yang benar anak didik akan dapat memahami secara riil dan nyata membedakan konsep bilangan banyak dan sedikit, bilangan lebih dan kurang, bilangan sama atau tidak sama serta penambahan dan pengurangan bilangan. Sebaliknya jika anak tidak dikenalkan dengan konsep bilangan dan operasi hitung dasar maka anak akan kesulitan didalam memahami angka-angka sebab

anak tidak bisa menyebutkan benda atau angka dengan cara abstrak[1].

Game berbasis edukasi juga dapat diterapkan dalam Pemahaman konsep bilangan dan operasi hitung terutama pada aspek *kognitif*. Pembelajaran dengan bermain mempermudah anak untuk berpikir serta dapat melahirkan suasana yang menyenangkan dalam proses belajar anak, sehingga aspek *kognitif* yang membutuhkan pemikiran yang lebih besar dapat diasah. Permainan (*game*) yang membuat anak senang dengan alat peraga dapat meningkatkan kreatifitas anak dalam mengenal bilangan serta perhitungan sehingga membuat anak tidak merasa bosan karena sifat anak suka cepat jenuh apabila mata pelajaran dikemas dalam bentuk tulisan. [1][2].

Kelincahan intelektual, pada tingkat tertentu, merupakan ukuran sejauh mana game itu menarik untuk dimainkan secara maksimal. Pada awalnya, game identik dengan permainan anak-anak, seiring dengan kemajuan teknologi game juga dikembangkan untuk mendukung peningkatan kemampuan intelektual anak-anak. Game merupakan suatu kegiatan yang dilakukan oleh anak-anak yang dapat menyenangkan hati mereka. Dengan kata lain, segala bentuk kegiatan yang memerlukan pemikiran, kelincahan intelektual dan pencapaian terhadap target tertentu dapat dikatakan sebagai game.

Salah satu permainan yang tradisional yang dapat membantu mengasah kemampuan berpikir anak adalah permainan dakon, melalui permainan ini diharapkan anak mampu mengembangkan potensi yang dimilikinya terutama dalam perhitungan. Dengan permainan (*game*) dakon memberi banyak peluang kepada anak untuk belajar berhitung dengan mudah dan menyenangkan, dalam permainan dakon anak akan memikirkan tidak hanya cara bagaimana memperoleh biji dakon sebanyak mungkin sehingga menang dari lawan mainnya tetapi juga akan memahami operasi perhitungan dan konsep bilangan. Oleh karena itu penelitian ini memfokuskan pada dakon sebagai alat bantu dalam penguasaan kognitif pemain terhadap konsep bilangan dan operasi hitung melalui permainan game dengan lawan main yang berbeda yaitu melawan teman atau melawan komputer.

kemudian untuk menentukan tingkat pencapaian aspek kognitif anak didik terhadap pemahaman bilangan dan operasi hitung digunakan pendekatan Bayesian Network sehingga guru dengan mudah mengetahui tingkat penguasaan konsep bilangan dan operasi hitung setiap anak didiknya.

2. GAME DAKON

A. Pembelajaran Kognitif

Ciri khusus pembelajaran kognitif adalah belajar memperoleh dan mempergunakan bentuk-bentuk representatif yang mewakili obyek-obyek, kemudian di representasikan atau dihadirkan dalam diri seseorang melalui tanggapan, gagasan atau lambang.

sehingga dalam pembelajaran harus menekankan perhatian anak didik, strategi mengingat, pengulangan, dan mengutamakan makna bukan memorasi. [8]

B. Pemodelan Game Dakon

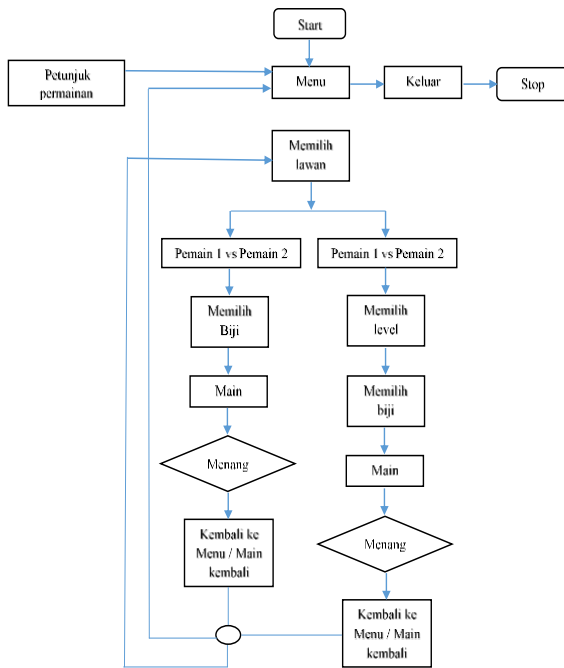
Dari masa ke masa game mengalami perkembangan yang pesat game sendiri merupakan sesuatu hal yang dimainkan dengan memakai aturan tertentu yang digunakan tidak hanya untuk tujuan kesenangan tetapi juga digunakan sebagai alat bantu proses pendidikan. Game dapat dikelompokkan berdasarkan jenis platform yang digunakan, berdasarkan genre permainan dan berdasarkan media permainan. Berdasarkan media permainnya, game dapat dikelompokkan menjadi beberapa yaitu :

1. Board Games
Merupakan permainan yang menggunakan sebuah media papan sebagai alat atau tempat melakukan sebuah permainan.
2. Card Games
Merupakan permainan yang menggunakan satu set kartu sebagai alat utama permainan.
3. Dice Games
Merupakan permainan dadu sebagai elemen utama permainan.
4. Domino and Tile Games
Merupakan permainan yang menggunakan kartu berbentuk ubin sebagai alat permainannya. Permainan ini mirip dengan permainan kartu.
5. Pencil and Paper Games
Merupakan suatu permainan yang memerlukan media kertas untuk menggambar arena permainan dan pensil untuk menulis langkah permainan tersebut.[7]

Dakon adalah suatu permainan tradisional yang dikenal dengan berbagai macam nama di seluruh Indonesia. Permainan *dakon* dilakukan oleh 2 orang, *dakon* terdiri dari sebuah papan yang dinamakan papan *dakon* dan 98 (14 x 7) buah biji yang dinamakan biji *dakon* atau buah *dakon*. Umumnya papan *dakon* terbuat dari kayu dan plastik, sedangkan bijinya terbuat dari cangkang kerang, biji-bijian, batu-batuan, kelereng atau plastik. Pada papan *dakon* terdapat 16 buah lubang yang terdiri atas 14 lubang kecil yang saling berhadapan dan 2 lubang besar di kedua sisinya. Setiap 7 lubang kecil di sisi pemain dan lubang besar di sisi kanannya dianggap sebagai milik sang pemain [3].

Dalam game ini permainan dimulai dengan memilih jenis permainan yaitu pemain melawan pemain lain dan pemain melawan komputer. Untuk permainan pertama pemain utama atau pemain 1 harus memilih jumlah biji *dakon* yang akan dipakai dalam permainan, jumlah biji dimulai dari 3 sampai dengan 7. Untuk permainan kedua (pemain vs komputer), game dibagi menjadi 3 tingkatan yaitu tingkatan mudah (*Easy*), tingkatan menengah (*Medium*) dan tingkatan sulit (*hard*). Hasil yang

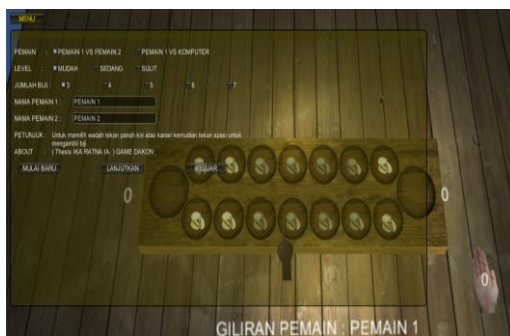
dicapai untuk pemilihan biji dan setiap tingkatan adalah untuk mengetahui tingkat pemahaman anak didik terhadap konsep bilangan dan operasi hitung berdasarkan kognitif anak yaitu kurang, menengah dan pintar. Secara garis besar arsitektur game dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur game dakon

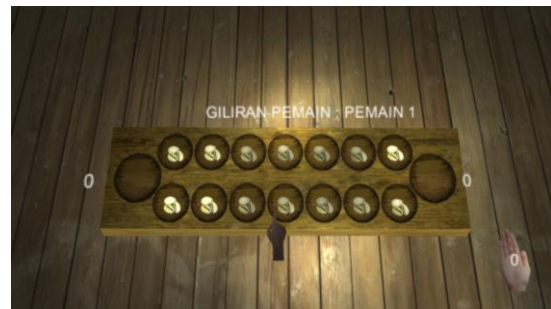
Game dimulai dengan tampilan menu yang terdiri dari :

1. Petunjuk permainan
2. Pemilihan lawan
3. Kemudian pemilihan biji awal
4. Pemilihan level kesulitan jika pemain memilih bermain dengan komputer.



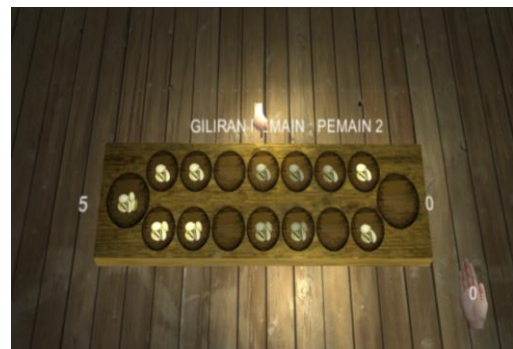
Gambar 2. Tampilan awal game dakon

Sebelum permainan dimulai Pemain harus memasukkan nama kemudian permainan akan dimulai dengan menekan tombol mulai baru, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 3. Tampilan giliran pemain 1

Pemain 1 akan melangkah terlebih dahulu. Jika pemain 1 dalam membagikan biji dakon berakhir di sawah atau lubang kecil kosong maka permainan akan berganti ke pemain ke 2. Seperti ditunjukkan dalam gambar 4.



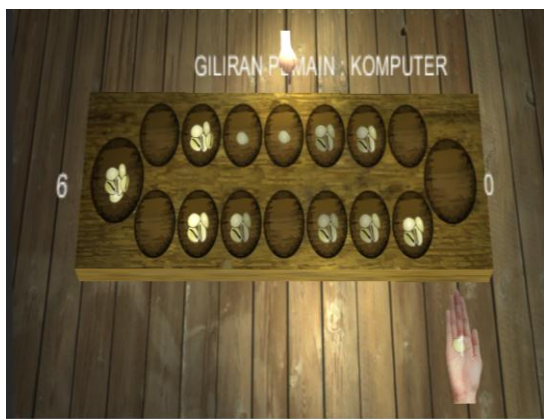
Gambar 4. Tampilan giliran pemain 2

Pemain 1 dan pemain 2 akan bergantian melakukan permainan sampai biji di sawah atau ditubang kecil habis. Jika permainan selesai pemain bisa kembali kemenu untuk pemilihan biji awal atau bermain kembali. Seperti gambar 5.



Gambar 5. Tampilan pemain menang

Sedangkan permainan untuk pemain 1 dengan komputer sebelum melakukan permainan pemain harus memilih level permainan. Kemudian memilih biji awal serta memasukkan nama. Untuk aturan permainan sama dengan permainan sebelumnya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. dakon permainan dengan Komputer

5. METODE BAYESIAN NETWORKS

Bayesian Network merupakan suatu metode pemodelan data berbasis probabilitas yang merepresentasikan suatu himpunan variabel dan conditional interdependenciesnya melalui suatu DAG (Directed Acyclic Graph)[8]. Di mana setiap node mewakili satu variabel dan arc(edge) melambangkan kondisi ketergantungan antar variabel. Ketergantungan tersebut diukur oleh conditional probability untuk setiap node dengan parent node-nya.[9].

Metode Bayesian Network pada game ini digunakan untuk mengetahui kemampuan anak didik dalam memahami konsep bilangan dan operasi hitung dengan menganalisa hasil permainan yang dilakukan oleh pemain, setiap hasil permainan di simpan di basis data.

Untuk menentukan tingkat penguasaan kemampuan anak didik struktur bayesian network, dibangun dengan pendekatan statistik yaitu conditional probability (peluang bersyarat), kemudian menentukan diperoleh joint probability distribution dari semua variabel yang dimodelkan Bayesian Network setelah itu melakukan pengambilan keputusan (inferensi) probabilistik [9]. Rumus teorema bayes :

$$P(H|X) = \frac{P(X|H)P(H)}{P(X)}$$

- X adalah data sampel dengan klas (label) yang tidak diketahui
- H merupakan hipotesa bahwa X adalah data dengan klas (label) C. P(H) adalah peluang dari hipotesa H
- P(X) adalah peluang data sampel yang diamati
- P(X|H) adalah peluang data sampel X, bila diasumsikan bahwa hipotesa benar (valid)
- Untuk masalah klasifikasi, yang dihitung adalah P(H|X), yaitu peluang bahwa hipotesa benar (valid) untuk data sample X yang diamati.[11]

6. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Tampilan game Dakon

Game dakon dibuat menggunakan software game Unity 3D sedangkan untuk desain game menggunakan corel draw. Gambar 2, 3, 4,5 dan 6 merupakan contoh tampilan dari game dakon. Sedangkan untuk penyimpanan data permainan menggunakan basis data SQLite. Yang dapat dilihat pada gambar 7.

rowid	ID	NAMA	BILANGAN	JUM_MBEDIL	JUM_PUTAR	JUM_BELM	JAM	MENET	DETIK	MENANG
1	1	PEMAIN1	10	5	14	16	0	1	55.00173	0
2	1	PEMAIN2	12	3	11	11	0	3	55.05441	1
3	2	PEMAIN1	12	3	8	13	0	4	56.49326	0
4	2	PEMAIN2	10	5	14	16	0	1	56.55966	1
5	1	PEMAIN1	12	4	11	12	0	2	57.44909	1
6	1	PEMAIN2	10	4	5	14	0	1	62.39312	0

Gambar 7. Basis data game dakon

B. Aturan Bayesian Network

Bayesian network merupakan metode yang digunakan untuk menarik kesimpulan dalam penentuan tingkat pemahaman anak didik terdapat konsep bilangan dan beberapa langkah untuk menerapkan bayesian network. Langkah-langkah tersebut diantaranya:

- Membangun struktur bayesian network tingkat penguasaan anak didik.
- Menentukan parameter, Parameter yang digunakan adalah :
 - Biji awal yang digunakan dalam permainan
 - Waktu
 - Hasil permainan (menang atau kalah)
 - Jumlah banyaknya mbedil
 - Jumlah biji hasil mmedil
 - Jumlah putaran dalam permainan
- Membuat conditional probability table (CPT)
- Membuat joint probability distribution (JPD)
- Menghitung posterior probability
- Inferensi probabilistik.

C. Pengujian Game dakon

Pengujian dilakukan untuk mengetahui keefektifan game dalam membantu anak didik memahami konsep bilangan dan operasi hitung. Eksperimen pengujian dilakukan dengan metode observasi, wawancara dan pengumpulan data pada anak didik sekolah dasar khususnya kelas 2 dan 3.

Prosedur pengujian pemahaman adalah sebagai berikut.

- Pemain bisa memilih lawan main, karena dalam game ini terdapat 2 permainan yang bisa dipilih yaitu melawan pemain 2 dan melawan komputer.

- Jika pemain memilih pemain 2 maka permainan dilakukan oleh 2 pemain.
2. Kemudian pemain memilih biji awal permainan dakon.
 3. Memasukkan nama pemain kedalam game.
 4. Apabila pemain memilih bermain dengan komputer maka pemain akan menentukan dilevel mana akan bermain.
 5. Jika permainan telah selesai maka pemain memilih biji awal selanjutnya.
 6. Pengujian untuk 1 permainan dilakukan 5 kali dengan pergantian pengambilan biji awal.

Tabel 1. Sample hasil permainan

Id	Nama	Biji		jumlah		Detik	Menang
		Lambung	Mbedil	putaran	biji mbedil		
1	Pemain 1	20	5	4	16	55.09373	0
1	Pemain 2	22	3	11	11	15.05443	1
2	Pemain 1	21	3	8	13	46.88331	0
2	Pemain 2	35	5	15	20	56.2584	2

Dari hasil tabel diatas nantinya diolah dengan aturan bayesian network yang sudah ditetapkan di atas. Hasil yang diperoleh nantinya guru dapat mengetahui tingkat kemampuan anak didik yaitu termasuk kategori pintar, sedang atau kurang.

7. KESIMPULAN

Dengan hasil pengujian nantinya diharapkan media pembelajaran berbasis game dalam kegiatan belajar mengajar dapat membantu meningkatkan kemampuan anak didik dalam memahami pelajaran khususnya pelajaran yang berhubungan dengan konsep bilangan dan operasi menghitung serta membantu guru mengetahui tingkat kemampuan anak didik dalam penguasaan konsep bilangan dan operasi hitung.

REFERENSI

- [1] Dewantoro, I.H., "Penggunaan Dakon Elektron Dalam Meningkatkan Keefektifan proses Pembelajaran IPA Kelas 1 Kecantikan Kulit Pada Semester Genap Tahun Pelajaran 2004-2005 SMK Negeri 1 Kota Tegal". *Widya Tama* Vol 3 (1), 2006, pp. 17-30.
- [2] Alifia, Frilla A., dan Tania K. 2009. "Pencarian Solusi Optimal Pemilihan Lubang Pada Permainan Dakon Dengan Algoritma Greedy dan Program Dinamis". Makalah IF2251 Prog. Study Teknik Informatika. Institut Teknologi Bandung. 2009.
- [3] Adha R. "Implementasi Algoritma Greedy Pada Permainan Dakon", *Makalah IF2251. Prog.Study Teknik Informatika. Institut Teknologi Bandung*, 2009.
- [4] Janne V. Kujala, Ulla Richardson, Heikki Lyytinen, "A Bayesian-optimal Principle for Learner-friendly adaptation in learning games", *Journal of Mathematical Psychology*, 54, 2010, pp. 247-255.
- [5] Wijaya A. 2008, "Indonesian Traditional Games as

- Means to Support Second Graders' Learning of Linear Measurement", *Master Thesis. Utrecht: Utrecht University*, 2008.
- [6] Nugroho, Sigit Aji, "Algoritma Exhaustive Search Dalam Permainan Dakon", Makalah IF3051 Strategi Algoritma, Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung. 2012.
 - [7] Bakri, A.H. 2010. "Analisis dan Implementasi Algoritma Backtracking pada Permainan Congklak", Medan: Universitas Sumatra Utara.
 - [8] Yudi Agusta, Bayesian Networks, 2010. [online] <http://alfallahu.blogspot.com/2013/04/teori-pembelajaran-kognitif.html> diakses tanggal 6 September 2014.
 - [9] Indyana Meigarani, Wawan Setiawan, Lala Septem Riza, "Penggunaan Metode Bayesian Network dalam Sistem Pakar untuk Diagnosis Penyakit Leukimia", Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
 - [10] <http://yudiagusta.wordpress.com/2010/02/11/bayesian-networks/> [online] diakses tanggal 6 September 2014.
 - [11] Taufik Fuadi Abidin, Naïve Bayesian Classifier, Teknik Informatika, Universitas Syiah Kuala. [online] diakses tanggal 7 September 2014.

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF

Adi Abimanyu¹, Purwanto², Nurhidayat¹

¹BATAN

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator
Jl. Babarsari PO.BOX 6101 YKBB, Yogyakarta 55281

abimanyu.adi@batan.go.id

²STTN-BATAN

Jurusan Teknofisika Nuklir-STTN BATAN Jl. Babarsari PO. BOX 6101 YKBB, Yogyakarta 55281

Abstrak— Aspek keselamatan dan keamanan zat radioaktif dari pengirim sampai dengan penerima merupakan hal yang harus dijamin supaya tidak membahayakan manusia. Untuk memantau proses pengangkutan zat radioaktif, kendaraan pengangkut harus diberi pelacak, terjadi proses pemutakhiran informasi tentang kondisi zat radioaktif baik tingkat paparan radiasi maupun posisi kendaraan pengangkut secara kontinyu. Proses pemantauan pada pengangkutan zat radioaktif melibatkan dua buah sub sistem yaitu sub sistem In Vehicle Module (IVM) dan sub sistem Control Room Module (CRM). IVM berfungsi untuk memonitor laju paparan zat radioaktif, posisi kendaraan pengangkut sekaligus mengirimkan informasi tersebut ke CRM menggunakan SMS secara kontinyu. CRM berfungsi sebagai penerima dan pengolah informasi SMS yang berbasis web untuk menampilkan koordinat posisi kendaraan pengangkut zat radioaktif serta paparan radiasinya pada peta online berbasis Google Maps. Pengujian sistem ini meliputi pengujian pengiriman SMS oleh IVM, Pengujian kepresisian GPS dan pengujian CRM. Berdasarkan hasil pengujian disimpulkan bahwa sistem ini telah berfungsi dengan baik sebagai sistem informasi geografis pengangkutan zat radioaktif yang mampu menampilkan posisi kendaraan pengangkut dan laju paparan radiasi setiap 2 menit pada peta digital (Google Maps).

Kata kunci—sistem informasi geografis, IVM, CRM, SMS

Abstract— Aspects of safety and security of radioactive substances from the sender to the receiver is to be secured in order not to endanger humans. To monitor the process of transporting radioactive materials, the transport vehicle must be a tracker, a process of updating information about the condition radioactive substances, both of the level of exposure radiation rate and transport vehicle position continuously. The process of monitoring the transport of radioactive materials involves two sub-systems: Sub-systems-in Vehicle Module (IVM) and sub-systems Control Room Module (CRM). IVM is used to monitor the rate of exposure to radioactive substances, the position of the transport vehicle at the same time transmit the information to the CRM using SMS continuously. CRM serves as the receiving and processing SMS information based web to show the coordinates of the position of vehicles transporting radioactive material and radiation exposure on an online map based on Google Maps. Testing system includes testing of SMS sending by IVM, testing of precision GPS and testing of CRM. Based on the test results concluded that this system has functioned well as geographic information systems transporting radioactive materials is capable

of displaying the position of the transport vehicle and the rate of exposure radiation every 2 minutes on the digital map (Google Maps).

Keywords—sistem informasi geografis, IVM, CRM, SMS

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan zat radioaktif meliputi berbagai macam bidang seperti bidang kedokteran (radiologi), pertanian (mutasi genetik pengembangan bibit unggul), industri (pengujian kualitas las) dan lain sebagainya. Hal ini mengakibatkan permintaan akan zat radioaktif semakin bertambah sehingga produksi zat tersebut juga semakin meningkat. Zat radioaktif didefinisikan sebagai zat yang mengandung inti atom tidak stabil, atau setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan aktivitas jenis lebih besar dari 70kBq/kg [1].

Untuk membawa zat radioaktif dari tempat produksi ke lokasi pemanfaatannya diperlukan pengangkutan zat radioaktif. Pengangkutan zat radioaktif adalah pemindahan zat radioaktif dari suatu tempat ke tempat lain melalui jaringan lalu lintas umum, dengan menggunakan sarana angkutan darat, air atau udara [2].

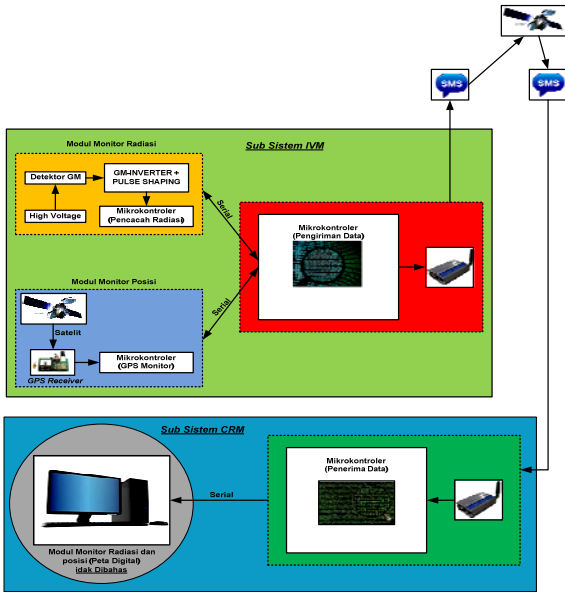
Aspek keselamatan dan keamanan zat radioaktif dari pengirim sampai dengan penerima merupakan hal yang harus dijamin supaya tidak membahayakan manusia. Untuk memantau proses pengangkutan zat radioaktif, kendaraan pengangkut harus diberi pelacak, terjadi proses pemutakhiran informasi tentang kondisi zat radioaktif baik tingkat paparan radiasi maupun posisi kendaraan pengangkut secara kontinyu [3]. Sedangkan batasan maksimal laju paparan radiasi zat radioaktif dipermukaan bungkusan adalah 0,5 mR/jam [4].

II. DASAR TEORI

A. sistem informasi geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem informasi khusus untuk mengelola data yang memiliki informasi geografis yaitu informasi mengenai lokasi-lokasi, pengetahuan mengenai posisi objek dipermukaan bumi dan informasi mengenai keterangan yang terdapat dipermukaan bumi yang posisinya diberikan atau diketahui [5]. Proses pemantauan pada pengangkutan zat radioaktif melibatkan dua buah sub sistem yaitu sub sistem *In Vehicle Module* (IVM) dan

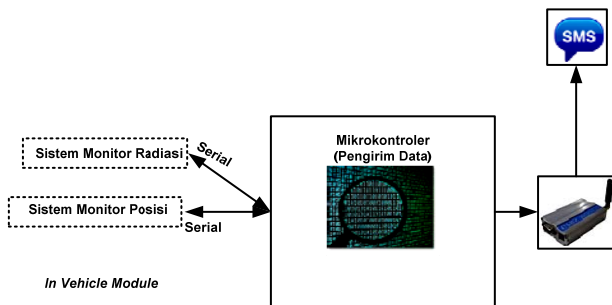
sub sistem *Control Room Module* (CRM) [6]. Blok diagram sub sistem IVM dan CRM ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema sistem informasi geografis pengangkutan zat radioaktif

B. In Vehicle module (IVM)

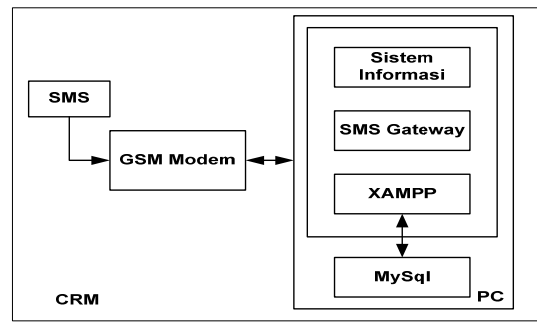
Sub sistem IVM merupakan suatu modul yang ditempatkan pada kendaraan pengangkut zat radioaktif, berupa sistem berbasis mikrokontroler dengan modul GPS dan GSM modem dan dilengkapi dengan modul monitor radiasi, seperti terlihat pada Gambar 2. Sub sistem IVM berfungsi untuk memonitor laju paparan zat radioaktif, posisi kendaraan pengangkut sekaligus mengirimkan informasi tersebut ke sub sistem CRM menggunakan SMS secara kontinyu.



Gambar 2 Blok diagram sub sistem IVM

C. Control room module

Control Room Module (CRM) terdiri PC, telepon genggam GSM yang memiliki fasilitas modem atau modem GSM yang mendukung perintah ATCOMMAND, pengolah database dan pengolah data SMS. CRM dapat ditempatkan dimana saja selama ada sinyal GSM. CRM berfungsi sebagai penerima dan pengolah informasi SMS dari IVM berbasis web untuk menampilkan koordinat posisi kendaraan pengangkut zat radioaktif serta paparan radiasinya pada peta *online* berbasis *Google Maps* [7]. Blok diagram CRM ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Blok diagram sub sistem CRM

IVM akan mengirimkan informasi melalui jaringan nirkabel SMS setiap 2 menit, dan oleh CRM akan diproses menjadi informasi posisi pada peta berbasis *Google Maps*. Format data SMS yang dikirimkan oleh IVM, ditunjukkan pada Tabel I. Sebagai contoh SMS yang diterima adalah *090527170613074667931102485648369081#.

TABEL I DESKRIPSI ISI SMS

Field	Isi	Deskripsi
Waktu	090527	hhmmss
Tanggal	170613	ddmmyy
Koordinat Lintang	07466793	ddmm.mmmm
Koordinat Bujur	110248564	dddmm.mmmm
Posisi Lintang	83	ASCII Code (83 = S, 78 = N)
Posisi Bujur	69	ASCII Code (63 = 3, 87 = W)
Paparan Radiasi	081	Paparan radiasi, ketelitian 2 angka dibelakang koma

Pada Tabel I didapatkan koordinat lintang adalah 07-46.6793 S dan koordinat bujur 11024.8564 E. Format dari data koordinat tersebut adalah 07 deg 46 6793 S dan 110 deg 24 8564 E. Data lintang dan bujur menggunakan format ddmm.mmmm untuk lintang dan dddmm.mmmm untuk bujur. Sedangkan format yang dimengerti oleh *Google Maps* adalah format desimal. Format koordinat lintang dan bujur dalam desimal adalah dd.ddddd dan ddd.ddddd. Sedangkan untuk membedakan posisi lintang dan bujur maka ditambahkan tanda min (-) untuk posisi lintang selatan (S) dan posisi bujur barat (W). Untuk mengkonversi koordinat menjadi format desimal yang dimengerti oleh *Google Maps* dan dapat menunjukkan lokasinya digunakan persamaan 1 dan 2.

$$0.ddddd = mm.mmmm/60 \tag{1}$$

$$dd.ddddd = dd + 0.ddddd \tag{2}$$

TABEL II KONVERSI KORDINAT LINTANG BUJUR

Format SMS	
Lintang	Bujur
Keterangan	
07 deg 46 menit 6793 menit S	110 deg 24 menit 8564 menit E
Rumus	
$46,6793/60 = 0,77798$	$24,8564/60 = 0,41427$
$07 + 0,77798 = 07,77798$	$110 + 0,41427 = 110,41427$
Data setelah perhitungan	
Lintang	Bujur
-07,77798	110,41427

Tabel II merupakan proses pengkonversian kordinat lintang bujur dari data yang dikirimkan melalui SMS menjadi kordinat yang siap ditampilkan pada peta *Google Maps*. Proses pengkonversian menggunakan persamaan 1 dan 2 yaitu:

$$0. dddd = \frac{46,6793}{60}$$

$$= 0,77798$$

$$dd. dddd = 07 + 0,778348$$

$$= 07,778348$$

Posisi kordinat berada di lintang selatan maka nilainya menjadi -07,778348

$$0. dddd = \frac{24,8564}{60}$$

$$= 0,41427$$

$$dd. dddd = 110 + 0,414757$$

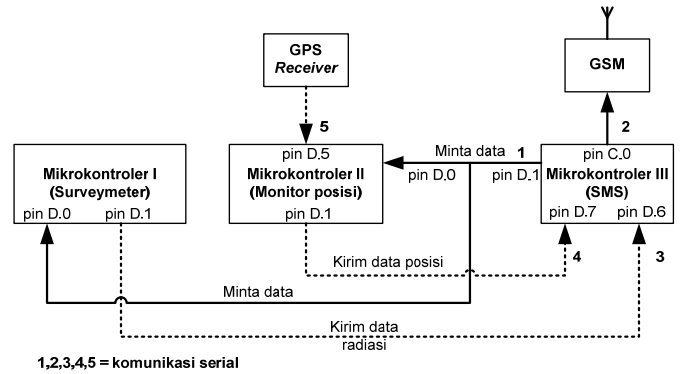
$$= 110,41427$$

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Sistem informasi geografis pengangkutan zat radioaktif yang akan dibangun terdiri atas IVM dan CRM. Skema sistem ditunjukkan pada Fig.1. CRM berupa seperangkat komputer yang sudah diinstal aplikasi SIG dan terintegrasi dengan modem dan database sedangkan IVM berupa sebuah perangkat keras yang terdiri dari 4 bagian penting yaitu surveymeter, GPS, modem dan mikrokontroler. Proses perancangan dan implementasi sistem dibagi menjadi dua yaitu perancangan perangkat keras (hardware) dan perancangan perangkat lunak (software).

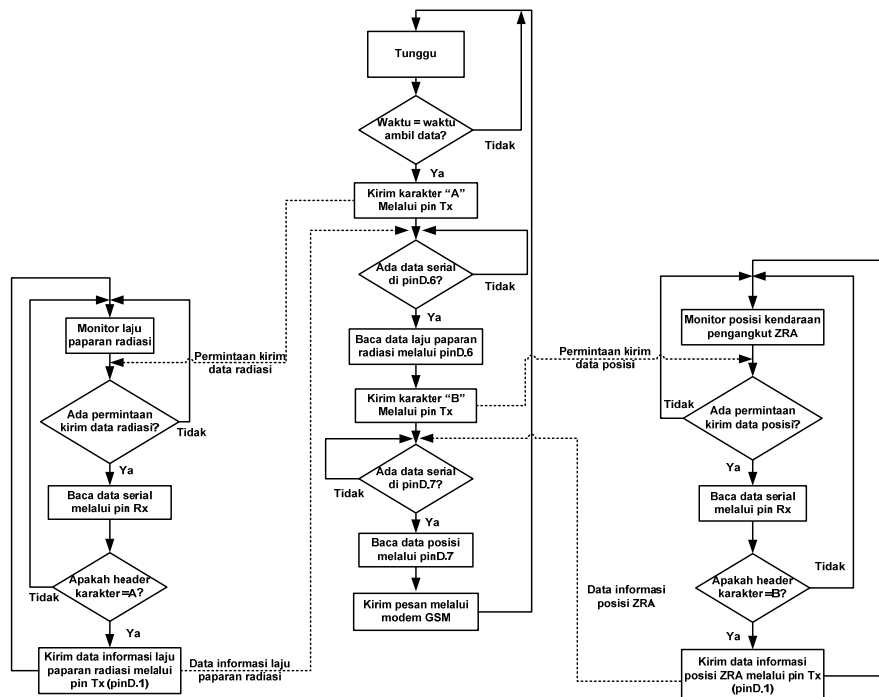
A. Perancangan IVM

Blok diagram perancangan perangkat keras IVM ditunjukkan pada Gambar 4. IVM terdiri dari modul pengiriman SMS, modul monitor radiasi dan monitor posisi. Setiap modul dikendalikan oleh mikrokontroler ATMega8.



Gambar 4 Blok diagram perancangan perangkat keras IVM

Mikrokontroler III merupakan mikrokontroler *master* yang mengatur proses monitoring pengangkutan zat radioaktif. Setiap dua menit mikrokontroler III akan meminta data laju paparan radiasi dari mikrokontroler I dan data posisi dari mikrokontroler II. Data tersebut digabungkan menjadi paket data oleh mikrokontroler III, baru kemudian dikirimkan ke CRM melalui SMS. Agar komunikasi ketiga mikrokontroler tetap sinkron maka paket-paket data yang dikirimkan pun harus ditentukan terlebih dahulu. Blok diagram sinkronisasi komunikasi ditunjukkan pada Gambar 5.

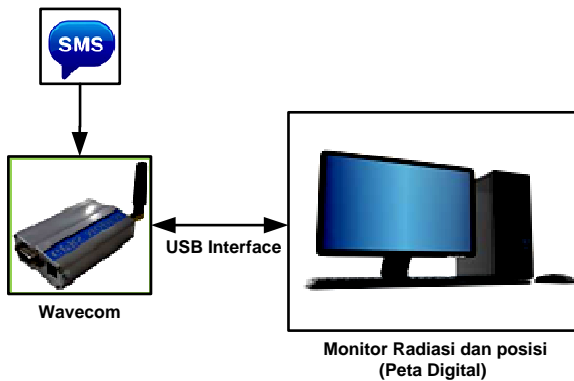


Gambar 5 Blok diagram sinkronisasi sub sistem IVM

Proses sinkronisasi dilakukan dengan cara mikrokontroler III *broadcast* karakter A untuk meminta data laju paparan radiasi dan *broadcast* karakter B untuk meminta data posisi. Pada saat karakter A dikirimkan maka mikrokontroler I akan memproses permintaan tersebut dengan cara mengirimkan data laju paparan radiasi ke mikrokontroler I, begitu juga ketika karakter B dikirimkan oleh mikrokontroler III. Permittaan tersebut akan dijawab dengan mengirimkan data posisi. Setelah data laju paparan radiasi dan posisi diterima, maka mikrokontroler III akan menggabungkan data tersebut yang kemudian dikirimkan melalui SMS dengan modem GSM.

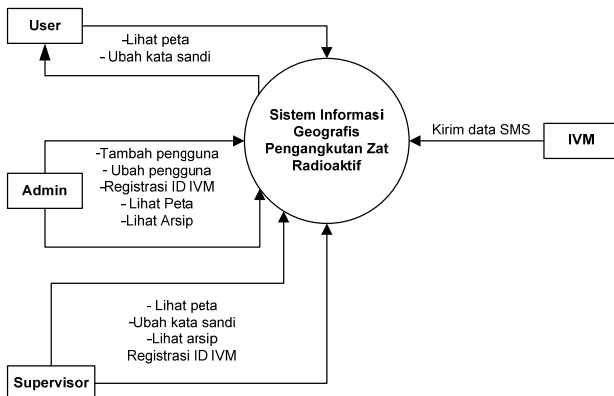
B. Perancangan CRM

Perangkat keras CRM hanya terdiri dari sebuah modem GSM (Wavecom) yang terhubung dengan komputer melalui port USB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Modem Wavecom akan menerima SMS dari IVM, oleh komputer SMS tersebut dicek apakah SMS tersebut berasal dari IVM. Jika benar dari IVM SMS tersebut dibaca, dipisahkan dan diproses pada peta digital *Google Maps*. Jika tidak SMS tersebut langsung dihapus.



Gambar 6 Blok diagram CRM

Perangkat lunak CRM mengikuti Diagram Alir Data yang ditunjukkan pada Gambar 7. DAD merupakan suatu diagram yang membentuk siklus untuk mempermudah dalam merancang sistem database.



Gambar 7 DAD Sistem informasi geografis pengangkutan zat radioaktif

Sistem informasi geografis pengangkutan zat radioaktif mempunyai empat entitas yaitu IVM, *User*, *Admin* dan

Supervisor. Aliran data dan informasi dari sistem tersebut adalah :

- IVM mengirimkan data berjumlah 38 karakter dalam bentuk SMS.
- Proses login aliran dari data yang dikirimkan user adalah nip dan password. Aliran informasi dari sistem ke *User* berupa password untuk dicocokkan pada proses ubah password dan informasi posisi pada peta *Google Maps*.
- Aliran data dari *admin* adalah data *User* (nama, nip, unit, jabatan, email, hak akses dan password) dan data ID IVM (no gsm, asal, tujuan dan petugas). Aliran informasi dari sistem ke admin berupa arsip data yang disimpan dalam database dan informasi posisi pada peta *Google Maps*.
- Aliran data dari *supervisor* adalah data ID IVM (no gsm, asal, tujuan dan petugas). Aliran informasi dari sistem ke *supervisor* berupa password untuk dicocokkan pada proses ubah password, kemudian informasi mengenai arsip data yang disimpan dalam database dan informasi posisi pada peta *Google Maps*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian IVM

1) Pengujian pengiriman SMS

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah IVM dapat mengirimkan informasi laju paparan radiasi dan posisi setiap jeda waktu yang ditentukan dengan format yang benar yaitu dengan susunan data: Header (*), Jam (jjmmdd), Tanggal (tgbth), Lintang, Bujur, Ascii (LS/LU), Ascii (BB/BT), Laju paparan radiasi, End Of character (#). Data yang dikirimkan sesuai dengan format tersebut tanpa pemisah koma. Pada pengujian ini jeda waktu setiap pengiriman data adalah 2 menit. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel III.

TABEL III HASIL PENGUJIAN PENGIRIMAN SMS

No	SMS	Jam	Jeda waktu (t _n -t _(n-1))
1	*1255572104130748335 41102316188369000#	12:55:57	00:02:01
2	*1257582104130748335 41102316188369000#	12:57:58	00:02:01
3	*1259592104130748335 41102316188369000#	12:59:59	00:02:01
4	*1301002104130748335 41102316188369000#	13:01:00	00:02:01
5	*1303012104130748335 41102316188369000#	13:03:01	00:02:01
6	*1305022104130748335 41102316188369000#	13:05:02	00:02:01
7	*1307032104130748335 41102316188369000#	13:07:03	00:02:01
8	*1309042104130748335 41102316188369000#	13:09:04	00:02:01
9	*1311105210413074833 541102316188369000#	13:11:05	00:02:01
10	*1313061041307483354 1102316188369000#	13:13:06	
Rata-rata			00:02:01

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel III, terlihat bahwa SMS yang dikirimkan telah sesuai dengan format yang ditentukan. Jeda waktu pengiriman SMS dihitung dengan cara mengurangkan jam pada SMS t_n dengan SMS pada jam pada

$t_{(n-1)}$. Pada Table IV jeda pengiriman SMS 00:02:01. Hal ini terjadi karena proses pengiriman data dari modul monitor posisi dan modul monitor radiasi memerlukan waktu komputasi. Tetapi perbedaan nilai tersebut tidak begitu berpengaruh terhadap nilai data yang dikirimkan jika dibandingkan dengan jeda waktu pengambilan data yang ditentukan yang berada pada orde menit.

2) Pengujian kepresisian GPS

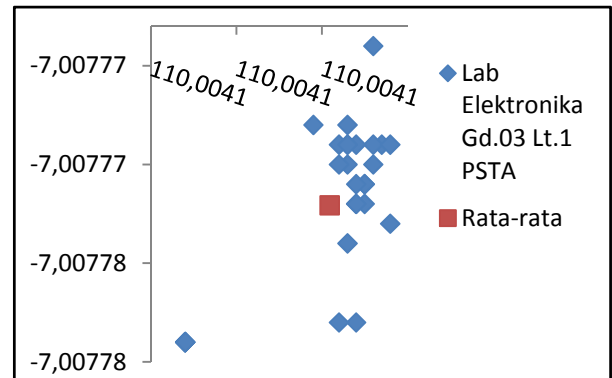
Untuk mengetahui unjuk kerja dari GPS receiver yang digunakan maka perlu dilakukan pengujian, salah satunya adalah pengujian kepresisian. Pengujian ini dilakukan di dua tempat yaitu *indoor* (Lab Elektronika Lantai 1 dari 3 Lantai Gd. 03 PSTA) dan *outdoor* (Halaman Rumah Tahunan UH III/214), sehingga didapatkan tingkat kepresisian untuk pengukuran *indoor* dan *outdoor*. Hasil pengujian kepresisian GPS ditunjukkan pada Tabel IV, Gambar 8 dan Gambar 9.

TABEL IV HASIL PENGUJIAN KEPRESISIAN GPS

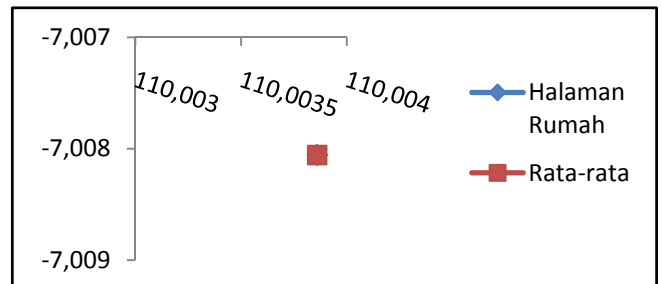
No	Indoor		Outdoor	
	Lintang	Bujur	Lintang	Bujur
1	-7,007786	110,004124	-7,008056	110,00386
2	-7,007786	110,004124	-7,008056	110,00386
3	-7,007786	110,004124	-7,008056	110,00386
4	-7,007786	110,004124	-7,008056	110,00386
5	-7,007786	110,004124	-7,008056	110,00386
6	-7,007776	110,004147	-7,008056	110,00386
7	-7,007779	110,004145	-7,008056	110,00386
8	-7,007777	110,004146	-7,008056	110,00386
9	-7,007776	110,004146	-7,008056	110,00386
10	-7,007776	110,004144	-7,008056	110,00386
11	-7,007771	110,004146	-7,008056	110,00386
12	-7,007779	110,004144	-7,008056	110,00386
13	-7,007785	110,004144	-7,008056	110,00386
14	-7,007768	110,00415	-7,008056	110,00386
15	-7,007788	110,004141	-7,008056	110,00386
16	-7,007785	110,004142	-7,008056	110,00386
17	-7,007779	110,004144	-7,008056	110,00386
18	-7,007778	110,004145	-7,008056	110,00386
19	-7,007778	110,004148	-7,008056	110,00386
20	-7,007781	110,004143	-7,008056	110,00386
21	-7,007778	110,004145	-7,008056	110,00386
22	-7,007776	110,004148	-7,008056	110,00386
23	-7,007775	110,004139	-7,008056	110,00386
24	-7,007775	110,004143	-7,008056	110,00386
25	-7,007776	110,004143	-7,008056	110,00386
26	-7,007776	110,004142	-7,008056	110,00386
27	-7,007776	110,004143	-7,008056	110,00386

TABEL IV HASIL PENGUJIAN KEPRESISIAN GPS (LANJUTAN)

No	Indoor		Outdoor	
	Lintang	Bujur	Lintang	Bujur
28	-7,007777	110,004143	-7,008056	110,00386
29	-7,007777	110,004142	-7,008056	110,00386
30	-7,007778	110,004144	-7,008056	110,00386
Rata-rata	-7,007779	110,004141	-7,008056	110,00386
Standar deviasi	0,000005	0,000008	0,000000	0,000000



Gambar 8 Grafik pengujian kepresisian GPS indoor



Gambar 9 Grafik pengujian kepresisian GPS outdoor

Berdasarkan data hasil pengujian kepresisian GPS Tabel IV, Gambar 8 dan Gambar 9 terlihat bahwa pada pengukuran *indoor* didapatkan 30 data yang cukup bervariasi untuk pengukuran satu titik yang sama dengan nilai rata-rata pengukuran lintang $-7,007779 \pm 0,000005$ dan bujur $110,004141 \pm 0,000008$. Sedangkan pada pengukuran *outdoor* didapatkan 30 data yang selalu sama untuk pengukuran satu titik yang sama sebanyak 30 data. Sehingga tingkat kepresisian GPS receiver untuk pengukuran *outdoor* cukup bagus. Hal ini dibuktikan dengan nilai standar deviasi untuk lintang dan bujur adalah 0,000.

B. Pengujian CRM

Pengujian CRM bertujuan untuk mengetahui apakah sistem informasi geografis yang dikembangkan dapat mengolah data SMS dari IVM untuk ditampilkan pada peta digital berbasis *Google Maps*. Pada pengujian ini data SMS yang diterima kemudian dipisahkan menjadi data tanggal, jam, longitude, latitude dan paparan radiasi yang kemudian dimasukkan ke

dalam tabel pada MySQL seperti yang ditunjukkan pada Table V. Data tersebut kemudian ditampilkan pada peta digital berbasis *Google Maps* yang ditunjukkan Gambar 10.

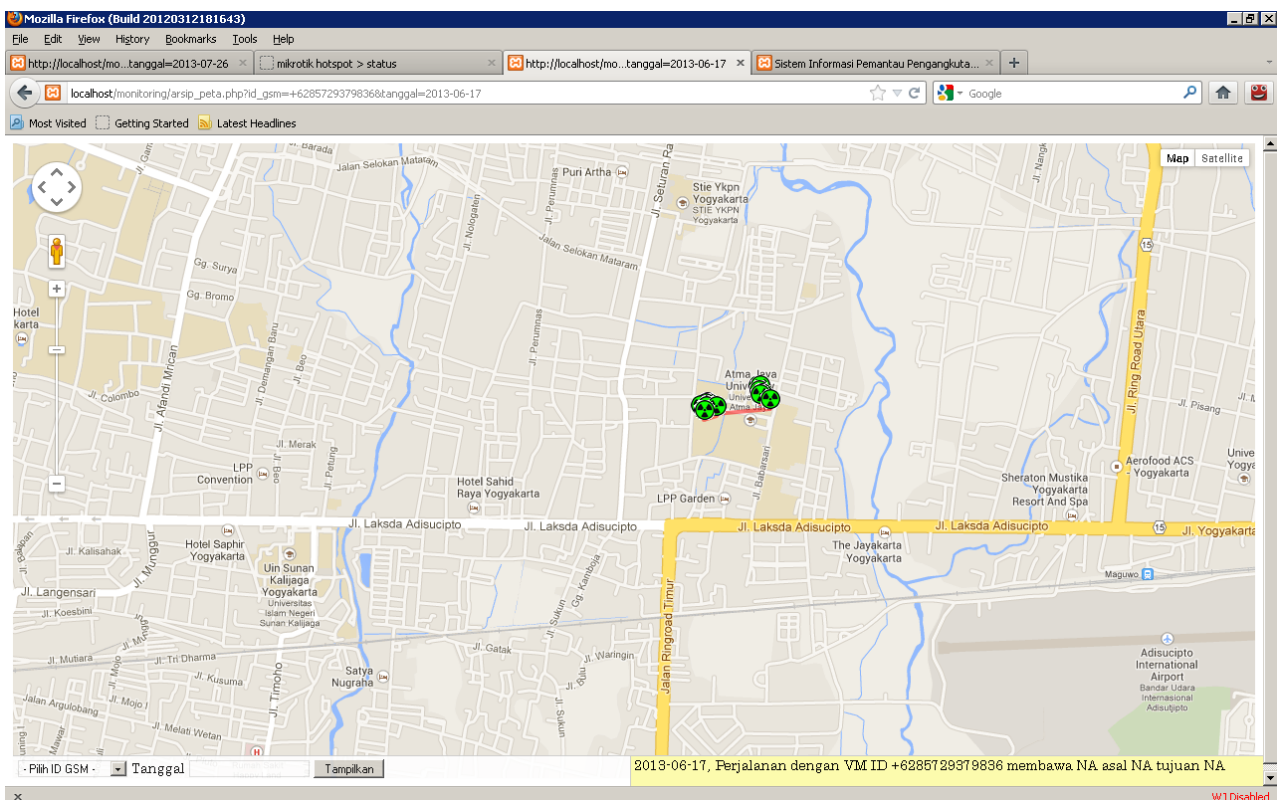
TABEL V DATA SMS YANG SIAP DITAMPILKAN PADA GOOGLE MAPS

No	Tanggal	Jam	Longitude	Latitude	Paparan radiasi
1	17/06/2013	9:05:27	110,414276	-7,77988	0,51
2	17/06/2013	9:07:28	110,414299	-7,777758	0,53
3	17/06/2013	9:09:29	110,414215	-7,777740	0,51
4	17/06/2013	9:11:30	110,414314	-7,778140	0,52
5	17/06/2013	9:13:31	110,414299	-7,777770	0,51
6	17/06/2013	9:15:32	110,414391	-7,778108	0,59
7	17/06/2013	9:17:33	110,414757	-7,778348	0,00
8	17/06/2013	9:19:34	110,411758	-7,778618	0,00
9	17/06/2013	9:21:35	110,411911	-7,778612	0,00
10	17/06/2013	9:23:36	110,412033	-7,778462	0,00

Berdasarkan Tabel V maka dihasilkan Gambar 10, terlihat bahwa data SMS yang dikirimkan oleh IVM dapat diproses dan ditampilkan dalam peta digital *Google Maps*. Gambar 10 merupakan hasil dari sistem informasi geografis pengangkutan zat radioaktif. Dalam hal ini sistem baru diuji di dalam area BATAN Yogyakarta yang meliputi PSTA dan STTN-BATAN, dengan cara membawa zat radioaktif dari STTN-BATAN ke PSTA.

Pada tampilan peta digital terdapat perubahan posisi yaitu posisi saat zat radioaktif saat berada di STTN menuju PSTA. Sebagai gambaran bahwasanya letak STTN-BATAN berada di sebelah barat selatan dari PSTA. Dari hasil peta digital yang dihasilkan oleh sistem informasi geografis terlihat bahwasanya posisi STTN-BATAN berada di sebelah barat selatan PSTA.

Tingkat paparan radiasi divisualisasikan pada peta digital dengan perubahan warna, yaitu warna hijau ketika kondisi normal (paparan radiasi $< 0,75$ mR/jam), kuning ketika kondisi hati-hati ($0,75$ mR/jam \leq paparan radiasi $< 2,5$ mR/jam) dan merah ketika kondisi bahaya (paparan radiasi $\geq 2,5$ mR/jam) Sehingga sistem informasi geografis yang dikembangkan dapat bekerja dengan baik.



Gambar 10 Hasil tampilan peta digital berbasis *Google Maps* Sistem informasi geografis pengangkutan zat radioaktif

V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dikembangkan sistem informasi geografis pengangkutan zat radioaktif berbasis peta digital *Google Maps*.

2. Sub sistem IVM telah berhasil mengirimkan informasi laju paparan radiasi dan posisi sesuai dengan format SMS yang ditentukan dengan jeda waktu setiap pengiriman SMS sebesar 00:02:01.
3. Sub sistem IVM memiliki tingkat kepresisian pengukuran posisi kendaraan yang baik ketika digunakan pada lokasi terbuka dan kurang baik untuk lokasi *indoor*.

4. Sistem informasi telah berhasil menampilkan titik-titik perjalanan pengangkutan zat radioaktif yang dikirimkan oleh IVM menggunakan SMS ke dalam peta digital *Google Maps*.

REFERENCES

- [1] Undang Undang Ketenaganukliran No 10/1997 Tentang Ketenaganukliran Pasal 1 Ayat 9, 10, 1997.
- [2] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2002 Tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif, 26, 2002.
- [3] K. Bapeten, "PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR NOMOR 1 TAHUN 2009 TENTANG KETENTUAN SISTEM PROTEKSI FISIK INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR," BAPETEN, Ed., ed. Jakarta, 2009.
- [4] K. Bapeten, "KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR NOMOR : 05-P/Ka-BAPETEN/VII-00 TENTANG PEDOMAN PERSYARATAN UNTUK KESELAMATAN PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF," BAPETEN, Ed., ed. Jakarta, 2000.
- [5] R. Hanifah, R. R. Isnanto, and Y. Christyono, "Simulasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Pemantauan Posisi Kendaraan Via SMS Gateway," S1, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [6] A. Abimanyu, "Rancangbangun Sistem Pemantau Pengangkutan Zat Radioaktif Menggunakan SMS Tersandi," S2, Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [7] Purwanto, "Sistem Informasi Pemantau Pengangkutan Zat Radioaktif Berbasis Google Maps," D4, Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 2013.

[8]

Evaluasi Kesuksesan Penerapan Aplikasi SCM

(Studi Kasus: PT. Timah (Persero), Tbk.)

Harrizki A. Pradana¹, Suyoto² dan F. Sapty Rahayu³
Magister Teknik Informatika Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari No. 43, Yogyakarta, 55281

E-mail: harrizkiariep@yahoo.com¹, suyoto@yahoo.com², saptyrahayu@gmail.com³

Abstract -- Nowadays, lot of enterprises uses information systems in Indonesia. The information systems are very important and must be owned by an enterprise or a company because it can improve their business profit or net benefits. ERP (Enterprise Resource Planning) which contained SCM (Supply Chain Management) therein is one of the information system fields. PT. Timah (Persero), Tbk. is one of the enterprises using that information systems. This research focus on the SCM success information system that owned by PT. Timah (Persero), Tbk. Information quality, system quality, and service quality were the right choice dimensions in measuring the effect of information system success to be gained from net benefits. The three dimensions that were selected will bring positive effect on net benefits outcomes. The results of those three dimensions will be considered for the company management to take the next steps that will be improving their company performance.

Keywords: ERP SCM, Information Quality, System Quality, Service Quality, Net Benefits

Abstrak -- Sistem informasi pada saat ini banyak digunakan oleh perusahaan di Indonesia. Sistem informasi sangat penting dimiliki oleh suatu perusahaan, dikarenakan bisa meningkatkan profit usaha mereka. Salah satu bidang pada sistem informasi adalah ERP (*Enterprise Resource Planning*) yang didalamnya terdapat SCM (*Supply Chain Management*). PT. Timah (Persero), Tbk. adalah salah satu perusahaan yang menggunakan sistem informasi. Penelitian ini fokus pada kesuksesan sistem informasi SCM yang dimiliki PT. Timah (Persero), Tbk. Kualitas informasi, kualitas sistem, dan kualitas pelayanan menjadi dimensi pilihan yang tepat untuk mengukur pengaruh kesuksesan sistem informasi terhadap manfaat bersih yang akan didapat. Dari ketiga dimensi yang dipilih tersebut memunculkan hasil ketiganya berpengaruh positif terhadap manfaat bersih. Hasil ketiganya tersebut akan menjadi bahan pertimbangan bagi manajemen perusahaan

untuk mengambil langkah berikutnya agar bisa meningkatkan kinerja perusahaan mereka.

Kata kunci: ERP SCM, kualitas informasi, kualitas sistem, kualitas pelayanan, manfaat bersih.

I. PENDAHULUAN

Dalam mengembangkan bisnis usahanya atau bahkan mau meningkatkan kualitas dan keuntungan yang didapat didalamnya, suatu perusahaan berusaha untuk mengkoordinasikan semua sumber daya, informasi dan segala bentuk aktifitas yang diperlukan supaya bisa terintegrasi antara departemen yang satu dengan departemen lainnya.

Kualitas suatu aplikasi SCM bisa mempengaruhi kepuasan dan keuntungan suatu perusahaan. Dalam memenuhi kualitas tersebut maka penelitian ini mengukur tingkat kesuksesan sistem informasi yang dimiliki oleh PT. Timah (Persero) Tbk, agar bisa mengetahui dan meningkatkan kualitas sistem informasi jika perlu dilakukan. Sistem informasi yang menjadi bahan dalam penelitian di PT. Timah (Persero) Tbk ialah ERP SAP SCM.

ERP SAP SCM sendiri dipilih sebagai bahan penelitian dikarenakan saat ini yang tersedia hanya ERP SCM, sedangkan untuk ERP SRM dan ERP HCM mengalami kendala dalam melakukan penelitian dikarenakan untuk kedua ERP tersebut berlokasi dibeda tempat dengan ERP SCM yang berada di kota Pangkalpinang, ibukota Propinsi Kepulauan Bangka Belitung.

Dari latar belakang yang telah dikemukakan sebelumnya, maka muncul rumusan masalah yang akan dibahas sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat kesuksesan penerapan aplikasi ERP SCM pada PT. Timah (Persero), Tbk.?
2. Dimensi apa saja yang paling berpengaruh setelah dievaluasi tingkat kesuksesan penerapan aplikasi SCM?

Diperlukannya batasan-batasan masalah yang akan ditentukan sebagai tolak ukur untuk suatu pencapaian target analisis, berikut dibawah ini yang merupakan batasan masalah yang bisa diambil:

1. Faktor keamanan informasi berupa data-data yang riskan tetap dijaga.

2. ERP yang terdapat di PT. Timah (Persero), Tbk ada 3 (tiga) macam, yaitu HCM, SCM, dan SRM. Maka yang diambil ialah ERP SCM saja.
3. Metode penelitian yang digunakan adalah model kesuksesan sistem informasi terbaru D&M tahun 2003.

Adapun tujuan penelitian yang akan dilakukan ialah mengetahui sejauh mana tingkat kesuksesan ERP SCM PT. Timah (Persero), Tbk.

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI

Mengingat bahwa banyak disiplin referensi lain juga terhadap studi sistem informasi (misalnya, pemasaran, psikologi, manajemen, dan sebagainya), pencarian utama untuk literatur penelitian ini difokuskan pada jurnal dalam disiplin sistem informasi. Sebagai contohnya, hasil penelitian menunjukkan bahwa *use* memiliki hubungan positif dengan *individual impact* dan *individual impact* memiliki hubungan positif dengan *organizational impact* serta tidak terdapat hubungan positif antara *information quality*, *system quality* terhadap *use* dan *user satisfaction* [1]. Hasil pengujian lainnya dengan *field study* atas *system information mandatory*, menemukan bahwa *system quality* dan *information quality* memiliki hubungan yang signifikan terhadap *user satisfaction*.

System quality memiliki hubungan yang signifikan terhadap *use* dan *user satisfaction* signifikan terhadap *individual impact* [2]. Seperti penelitian dilakukan oleh [3] menghasilkan *net benefit* dipengaruhi oleh kualitas sistem dan kualitas informasi. Sedangkan [4] membuktikan bahwa kualitas sistem informasi masih memiliki beberapa kekurangan terhadap kepuasan pelanggan.

Sedangkan menurut [5] menemukan hasil bahwa *perceived information quality* dan *perceived system quality* memiliki hubungan positif yang signifikan terhadap *user satisfaction*. Sedangkan *user satisfaction* juga memiliki hubungan yang signifikan terhadap *intended use* dan *perceived individual impact*.

A. SCM (Supply Chain Management)

Dalam setiap organisasi, seperti produsen, rantai pasokan mencakup semua fungsi yang terlibat dalam menerima dan mengisi permintaan pelanggan. Fungsi tersebut terlibat namun tidak terbatas pada pengembangan produk baru, pemasaran, operasi, distribusi, keuangan, dan layanan pelanggan [6].

B. ERP (Enterprise Resource Planning)

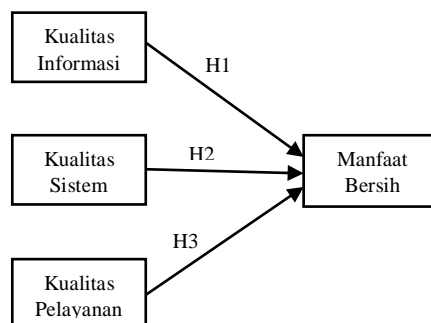
ERP adalah suatu sistem informasi yang sangat kompleks bagi perusahaan [7]. Konsep ERP dapat dijalankan dengan baik, jika didukung aplikasi dan infrastruktur komputer baik *hardware* atau *software*, sehingga pengolahan dapat dilakukan dengan mudah.

C. SAP (System Application and Product in data processing)

SAP adalah suatu software yang dikembangkan untuk mendukung suatu organisasi dalam menjalankan kegiatan operasionalnya secara lebih efisien dan efektif. SAP merupakan software *Enterprise Resources Planning* (ERP), yaitu suatu *tools* informasi teknologi dan manajemen untuk membantu perusahaan merencanakan dan melakukan berbagai aktivitas sehari-hari.

D. Model Penelitian

Penelitian ini menghasilkan kerangka berpikir sendiri seperti pada Gambar 1 dengan membuat menjadi beberapa hipotesis yang selanjutnya menjadi kualitas informasi mempengaruhi manfaat bersih, kualitas sistem mempengaruhi manfaat bersih dan kualitas pelayanan mempengaruhi manfaat bersih.



Gambar 1. Model kerangka berpikir yang diajukan.

Adapun penjelasan masing-masing hipotesis adalah sebagai berikut:

- a. H1: Kualitas informasi berpengaruh positif atau signifikan terhadap manfaat bersih.

Merujuk pada [8] bahwa model mereka sebelumnya pada tahun 1992 sama seperti kualitas sistem, kualitas informasi pun mempunyai hubungan langsung yang mempengaruhi dampak individu dan didukung juga oleh [9], [10], [11], dan [12]. Pada tahun 2003, dampak individu bersama dengan dampak organisasi dijadikan satu dimensi menjadi manfaat bersih. Selain itu juga, parameter yang bisa diambil dari kualitas informasi berdasar pada [13] yang khusus melakukan penelitian pada ERP dengan semakin baiknya suatu kualitas informasi yang dimiliki ERP maka manfaat yang akan diperoleh perusahaan jauh lebih besar. Dari penelitian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa adanya hubungan yang mempengaruhi antara kualitas informasi dengan manfaat bersih yang didapat oleh perusahaan dan ini menjadi hipotesis pertama (H1).

- b. H2: kualitas sistem berpengaruh positif atau signifikan terhadap manfaat bersih.

Pada penelitian sebelumnya oleh [13] yang berdasarkan pada penelitian sebelumnya yaitu [14] menjelaskan bahwa kesuksesan sistem ERP secara

keseluruhan dapat diuji melalui empat dimensi, salah satunya adalah *System Quality* (kualitas sistem). Menurut [8], pada model yang mereka gunakan sebelumnya pada tahun 1992 terdapat adanya hubungan secara langsung antara kualitas sistem dengan dampak individu sebagaimana yang didukung juga oleh [9], [15], [10], [11], dan [12]. Akan tetapi pada tahun 2003, [8] menggabungkan dimensi dampak individu dan dampak organisasi menjadi satu dimensi yang dinamakan manfaat bersih (*Net Benefits*). Hal ini lah yang menjadi dasar bahwa adanya hubungan antara kualitas sistem dengan manfaat bersih perlu dilakukan.

c. H3: Kualitas pelayanan berpengaruh positif atau signifikan terhadap manfaat bersih.

Merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh [16] didalam penelitian sebelumnya oleh [17], menemukan bahwa dukungan personalisasi teknologi informasi lebih efektif daripada dukungan teknologi informasi secara umum. Akan tetapi tidak berpengaruh terhadap kinerja yang didapat secara individu jika diterapkan pada sistem seperti ERP [18]. Penelitian yang dilakukan oleh [19] dan [20], juga menemukan bahwa semakin tinggi level dukungan dari vendor dan efektifitasnya, maka ada hubungannya terhadap menurunkan biaya operasional. Studi untuk kasus ini masih perlu banyak dilakukan. Selain itu juga menurut [21], untuk mengukur dimensi kualitas pelayanan memiliki beberapa dimensi pengukuran diantaranya bukti fisik (*tangibles*), keandalan (*reliability*), daya tanggap (*responsiveness*), jaminan (*assurance*), dan empati (*empathy*). Menurut [22], mengemukakan bahwa dimensi pengukuran kualitas pelayanan terdiri dari *professionalism and skill, attitudes and behavior, accessibility and flexibility, reliability and trustworthiness, recovery, dan reputation and credibility*. Dari beberapa penelitian diatas tersebut, maka kerangka berpikir yang dapat diambil adalah adanya hubungan yang berpengaruh secara signifikan antara kualitas pelayanan dengan manfaat bersih.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan atau Materi Penelitian

Adapun bahan atau materi yang digunakan dalam penelitian dibagi menjadi dua kategori sumber data, yaitu data primer yang diperoleh dengan cara penyebaran kuesioner dan observasi lapangan terhadap pengguna aplikasi SAP SCM yang berada dilingkungan PT. Timah (Persero), Tbk. dan data sekunder yang diperoleh dengan cara menggunakan sumber-sumber pustaka, data dari perusahaan, dan sumber lainnya yang relevan mendukung penelitian ini. Sumber bisa diambil dari jurnal, buku, maupun situs internet.

B. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah komputer jinjing (*Laptop*) yang digunakan sebagai pendukung berjalannya untuk keperluan proses data penelitian dengan spesifikasi yang dimiliki seperti Prosesor Intel Core 5 3210M 2,5 GHz, memori 4 GB update 4 GB, total 8 GB, dan kartu grafis NVIDIA GeForce® GT 635M 2 GB, beserta perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah SPSS Statistics versi 22 berfungsi untuk mengolah data hasil dari penyebaran kuesioner yang telah dilakukan serta SmartPLS untuk menguji model dan mengetahui hipotesis.

C. Populasi dan Sampel

Populasi yang diperoleh dalam penelitian ini adalah seluruh karyawan dari PT. Timah (Persero), Tbk. yang bersangkutan dengan penggunaan sistem ERP SAP SCM. Anggota populasi dalam penelitian ini berjumlah 31 orang.

D. Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode kualitatif yang dilakukan secara bersama dengan cara proses pengumpulan data dengan tahap yaitu pengumpulan data, reduksi data, penyajian data, dan pengambilan keputusan atau verifikasi. Perangkat lunak yang digunakan ialah SPSS Statistics 22. Adapun beberapa proses analisis data yang akan dilakukan dan telah disesuaikan dengan kondisi pada PT. Timah (Persero), Tbk. adalah penentuan variabel dan indikator penelitian, memasukkan data, uji instrument data (validitas dan reliabilitas), analisis secara statistik (analisis faktor dan analisis korelasi), dan terakhir adalah analisis PLS-SEM (reliabilitas, validitas, dan pengujian hipotesis).

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Demografi Responden

PT. Timah (Persero), Tbk. yang berlokasi di Kota Pangkalpinang, ibukota Provinsi Kepulauan Bangka Belitung saat ini telah memiliki jumlah karyawan yang lumayan besar yaitu berkisar hampir 6000 karyawan yang tersebar di beberapa lokasi [23]. Pada penelitian ini, fokus terhadap kesuksesan sistem informasi terutama ERP SAP SCM yang dimiliki oleh PT. Timah (Persero), Tbk. Responden yang diteliti dalam penelitian ini ialah yang bersangkutan langsung dengan ERP SAP SCM, total keseluruhan demografi responden berjumlah 31 orang karyawan yang bekerja di departemen TI PT. Timah (Persero), Tbk. dari total hampir 6000 karyawan, dengan kriteria pengelompokan kategori demografi responden bisa dilihat pada tabel-tabel dibawah ini:

a. Berdasarkan jenis kelamin

Tabel 1. Demografi responden berdasar jenis kelamin

Jenis Kelamin	Jumlah
Pria	11
Wanita	20
Jumlah	31

b. Berdasarkan usia

Tabel 2. Demografi responden berdasar usia

Usia	Jumlah
17 – 20	4
21 - 25	6
26 - 30	5
31 – 35	4
35 – 40	5
41 – 45	4
> 45	3
Total	31

c. Berdasarkan lama bekerja

Tabel 3. Demografi responden berdasar lama bekerja

Lama Bekerja	Jumlah
< 1 tahun	4
1 – 2 tahun	12
> 2 tahun	15
Total	31

B. Hasil Uji

Uji telah dilakukan dengan memperoleh hasil bahwa nilai Cronbach's Alpha pada dimensi kualitas informasi 0.827 atau 82,7 %, kualitas sistem memiliki nilai 0.849 atau 84,9%, kualitas pelayanan memiliki nilai 0.768 atau 76,8% dan manfaat bersih memiliki nilai Cronbach's Alpha mencapai 0.847 atau 84,7% lebih besar dari persyaratan batas *loading factor* validitas, yaitu 0.5 atau 50%, dan batas reliabilitas 0.6 atau 60%. Dilihat dari nilai tersebut, maka tiap-tiap dimensi tersebut dinyatakan valid dan reliabel seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil nilai Cronbach's Alpha tiap dimensi

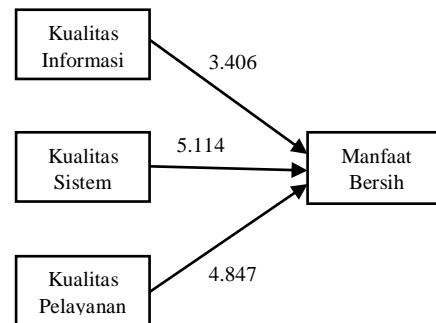
Dimensi	Cronbach's Alpha
Kualitas Informasi	0.827
Kualitas Sistem	0.849
Kualitas Pelayanan	0.768
Manfaat Bersih	0.847

Sedangkan untuk hasil uji hipotesis dapat dilihat pada tabel hasil koefisien jalur (*path coefficients*) dibawah ini:

Tabel 5. Hasil uji hipotesis antar dimensi

Dimensi	T statistics	Path Coefficients
Kualitas Informasi -> Manfaat Bersih	3.406	0.754
Kualitas Sistem -> Manfaat Bersih	5.114	0.951
Kualitas Pelayanan -> Manfaat Bersih	4.847	0.575

Dari hasil yang terdapat pada Tabel 5, maka selanjutnya diinputkan nilai T Statistics nya kepada model kerangka berpikir seperti pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Hasil T statistic kesuksesan sistem informasi

Dilihat dari Tabel 5, diketahui bahwa menurut [24] semua nilai *factor loading* dan koefisien jalur yang lebih dari 0.5 dan menurut [25] apabila t-statistik lebih besar daripada t-tabel (sig 0.05), maka hipotesis penelitian yang diajukan diterima. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa hipotesis pertama (H1) mempunyai makna kualitas informasi berpengaruh signifikan terhadap manfaat bersih, H2 mempunyai makna kualitas sistem berpengaruh signifikan terhadap manfaat bersih, dan hipotesis terakhir (H3) mempunyai makna kualitas pelayanan berpengaruh signifikan terhadap manfaat bersih. Sesuai dengan hasil yang didapat maka, hipotesis pertama, kedua, dan ketiga dapat diterima. Untuk lebih jelasnya lagi bisa dilihat pada Gambar 2.

C. Interpretasi Kesuksesan Penerapan Aplikasi SCM

Setelah melalui evaluasi berdasarkan uji instrumen data, analisis statistik, dan analisis SEM, maka langkah selanjutnya adalah mengevaluasi hubungan ketiga analisis tersebut terhadap kesuksesan penerapan pada aplikasi SAP SCM di PT. Timah (Persero), Tbk. Dari hasil Tabel 5 diketahui bahwa kualitas informasi yang diterapkan pada SAP SCM PT. Timah (Persero), Tbk. memiliki tingkat kesuksesan hubungan terhadap manfaat bersih yang akan didapat sebesar 0.754 yang artinya adanya pengaruh kualitas informasi pada aplikasi SAP SCM sebesar 75.4% yang terdiri dari beberapa aspek seperti keakuratan informasi yang diberi oleh aplikasi SAP SCM, informasi yang terbarukan didalam SAP SCM, informasi yang diberikan oleh aplikasi SAP SCM relevan, ketersediaan informasi pada aplikasi SAP SCM, dan kephahaman akan pengguna terhadap informasi yang diberikan oleh aplikasi SAP SCM.

Sedangkan pada dimensi kualitas sistem, pengaruh antara kualitas sistem aplikasi SAP SCM dengan manfaat bersih yang diterima dengan adanya aplikasi SAP SCM memiliki pengaruh sebesar 95.1%. Hal ini berarti bahwa aplikasi SAP SCM benar-benar memiliki kualitas sistem yang bisa diandalkan dan

didukung oleh beberapa faktor seperti kemudahan akan penggunaan aplikasi SAP SCM itu sendiri, keandalannya, kemudahan akan mempelajari aplikasi SAP SCM, integrasi data yang dimiliki oleh SAP SCM itu sendiri, aplikasi SAP SCM sesuai dengan kebutuhan para penggunanya, memiliki fitur yang baik dan kecepatan akses pada aplikasi SAP SCM itu sendiri.

Pada dimensi kualitas pelayanan dilihat dari Tabel 5 sangat jelas bahwa kualitas pelayanan yang diberikan oleh departemen TI dalam setiap permasalahan pada aplikasi SAP SCM masih harus ditingkatkan dan hal inilah yang berpengaruh besar terhadap manfaat bersih dengan nilai 57.5%. Selain itu juga kemungkinan adanya indikator-indikator pengukur lainnya yang lebih berperan penting dalam mempengaruhi kualitas pelayanan terhadap manfaat bersih yang tidak dimasukkan dalam penelitian ini. Mungkin dengan merubah sedikit atau menambah beberapa indikator pertanyaan kuesioner pada dimensi kualitas pelayanan departemen TI terhadap manfaat bersih yang akan didapat dari aplikasi SAP SCM, akan bisa mendapatkan hasil yang lebih baik lagi. Adapun makna dari interpretasi tingkat kesuksesan bisa dilihat pada Tabel 6 berdasarkan kategori persen kesuksesan yang didapat.

Tabel 6. Makna kesuksesan penerapan aplikasi SCM

% Kesuksesan	Interpretasi
0% - 20%	Sangat tidak sukses
21% - 40%	Tidak sukses
41% - 60%	Cukup sukses
61% - 80%	Sukses
81% - 100%	Sangat sukses

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dengan melihat hasil dan pembahasan pada penelitian ini, maka peneliti dapat menyimpulkan beberapa poin penting didalamnya, antara lain:

- Tingkat kesuksesan ERP SAP SCM yang dimiliki PT. Timah (Persero), Tbk. signifikan, kecuali tingkat kualitas pelayanan terhadap manfaat bersih yang dicapai. Hal ini bisa dilihat pada hasil akhir yang dimiliki tiap-tiap dimensi yang menjadi hipotesis penelitian ini, yaitu:
 - Tingkat kesuksesan dimensi kualitas informasi terhadap manfaat bersih mencapai 75.4% dengan interpretasi **SUKSES**,
 - Tingkat kesuksesan dimensi kualitas sistem terhadap manfaat bersih mencapai 95.1% dengan interpretasi **SANGAT SUKSES**, dan
 - Tingkat kesuksesan dimensi kualitas pelayanan terhadap manfaat bersih mencapai 57.5% dengan interpretasi **CUKUP SUKSES**.
- Dilihat dari tingkat kesuksesan yang telah diketahui setelah evaluasi terhadap penerapan

aplikasi SAP SCM dilakukan, ternyata dimensi yang paling mempengaruhi kesuksesan ialah dimensi kualitas sistem dari aplikasi SAP SCM itu sendiri. Selain itu juga, kualitas pelayanan harus segera ditingkatkan dikarenakan mengutamakan kenyamanan akan melayani para pengguna aplikasi SAP SCM dan bertanggung jawab terhadap permasalahan yang ada pada tiap laporan dari pengguna hingga mendapatkan kembali informasi-informasi yang terbaru dan kepuasan pengguna akan aplikasi SAP SCM bisa berdampak kepada dimensi lainnya untuk berkontribusi menyukseskan penerapan aplikasi SAP SCM di PT. Timah (Persero), Tbk.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diambil dari penelitian ini secara keseluruhan dibagi menjadi dua kategori, antara lain sebagai berikut:

- Bagi perusahaan, penelitian ini menyarankan ketiga dimensi yaitu kualitas informasi, kualitas sistem, dan terutama kualitas pelayanan ditingkatkan sehingga mencapai 100%, terutama yang perlu ditingkatkan dari segi kualitas pelayanan kepada pengguna sehingga manfaat bersih yang dapat diambil bisa dimaksimalkan. Kesuksesan ini perlu diperhatikan mengingat sistem informasi terutama ERP SAP SCM berperan penting bagi inti perusahaan.
- Bagi peneliti lainnya, hanya bisa menyampaikan bahwa penelitian ini mencakup *sampling* yang terbilang kecil, yaitu 31 responden. Tentunya dengan *sampling* tersebut, bisa jadi masih lebih baik lagi apabila berjumlah diatas 31, tergantung *field* mana yang akan diteliti. Bidang yang dilakukan dalam penelitian ini tentu hanya dibidang pertambangan dengan fokus sistem informasi pada SAP SCM nya, dan juga hasil yang berbeda akan didapat jika bidang yang diteliti diluar yang dilakukan penelitian saat ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Radityo, Dodi & Zulaikha, 2007, *Pengujian Model DeLone and McLean Dalam Pengembangan Sistem Informasi Manajemen (Kajian Sebuah Kasus)*, Simposium Nasional Akuntansi X, Universitas Hassanuddin Makassar.
- Livari, Juhani, 2005, *An Empirical test of the DeLone – McLean Model of Information System Success*, Database for Advances in Information Systems, 36 (2), pp 8-27.
- Minartiningtyas, Brigida Arie, 2011, *Model Kesuksesan Penerapan Enterprise Resource Planning pada PT PLN (Persero) Distribusi Bali*, Magister Teknik Informatika, STMIK AMIKOM Yogyakarta.
- Irena, Saska & Husni S. Sastramihardja, 2012, *Model Penjaminan Kualitas Sistem Informasi Berbasis Transaksi Menggunakan Capability Maturity Model Integration dan DeLone & McLean IS Success*, Jurnal Sarjana Institut Teknologi Bandung bidang Teknik Elektro dan Informatika, Volume 1, No. 3.
- Tanya, McGill, Valeri Hobbs, & Jane Klobas, 2003, *User-developed Applications and Information Systems Success: A Test of DeLone and McLean's Model*, Information Resources Management Journal, Volume 16, No. 1, pp 24-45.

- [6] Chopra, Sunil & Peter Meindl, 2013, *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, Fifth Edition, Pearson International Edition, pp 13.
- [7] Umble, Elisabeth J., Ronald R. Haft & M. Michael Umble, 2003, *Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors*, European Journal of Operational Research, Volume 146, pp 241-257.
- [8] DeLone, William H. & Ephraim R. McLean, 2003, *The DeLone and McLean Model of Information Systems Success: A Ten-Year Update*, Journal of Management Information Systems, Volume 19, No 4, pp 9-30.
- [9] Etezadi-Amoli, J. & Farhoomand A.F., 1996, *a Structural Model of End User Computing Satisfaction and User Performance*, Information and Management, Volume 30, No. 2, pp 65-73.
- [10] Seddon, P.B. & Kiew M.Y., 1994, *a Partial Test and Development of the DeLone and McLean Model of IS Success*, Proceedings of the International Conference on Information Systems, pp 99-110.
- [11] Teo, T.S.H. & Choo, W.Y., 2001, *Assessing the Impact of using the Internet for Competitive Intelligence*, Information & Management, Volume 39, No. 1, pp 67-83.
- [12] Wixom, B.H. & Watson H.J., 2001, *an Empirical Investigation of the Factors Affecting Data Warehousing Success*, MIS Quarterly, Volume 25, No. 1, pp 17-41.
- [13] Ifinedo, P., 2006, *Extending the Gable et al. Enterprise System Success Measurement Model: A Preliminary Study*, Journal of Information Technology Management, Volume 17, No 1.
- [14] Gable, Guy G., Darshana Sedera, & Taizan Chan, 2008, *Re-conceptualizing Information System Success: the IS-Impact Measurement Model*, Journal of the Association for Information Systems, Volume 9, No. 7, pp 377-408.
- [15] Goodhue, D.L. & Thompson R.L., 1995, *Task-technology Fit and Individual Performance*, MIS Quarterly, Volume 19, No. 2, pp 213-233.
- [16] Petter, Stacie, William DeLone & Ephraim McLean, 2008, *Measuring information systems success: models, dimensions, measures, and interrelationships*, European Journal of Information Systems, Volume 17, pp 236-263.
- [17] Blanton, J.E., Watson H.J., & Moody J., 1992, *Toward a Better Understanding of Information Technology Organization: a Comparative Case Study*, MIS Quarterly, Volume 16, No. 4, pp 531-555.
- [18] Kositanurit, B., Ngwenyama O., & Osei-Bryson Kweku, 2006, *an Exploration of Factors that Impact Individual Performance in an ERP Environment: an Analysis using Multiple Analytical Techniques*, European Journal of Information Systems, Volume 15, No. 6, pp 556-568.
- [19] Thong, J.Y.L., Yap C-S, & Raman K.S., 1994, *Engagement of External Expertise in Information Systems Implementations*, Journal of Management Information Systems, Volume 11, No. 2, pp 209-231.
- [20] Thong, J.Y.L., Yap C-S, & Raman K.S., 1996, *Top Management Support, External Expertise and Information Systems Implementations in Small Business*, Information Systems Research, Volume 7, No. 2, pp 248-267.
- [21] Parasuraman, A., Valarie A. Zeithaml & Leonard L. Berry, 1985, *Problem and Strategies in Service Marketing*, Journal of Marketing.
- [22] Gronroos, C., 1990, *Service Management and Marketing: Managing the Moment of Truth in Services Competition*, Lexington, Massachusetts.
- [23] PT. Timah (Persero), Tbk. 2014. Diambil pada tanggal 16 Juni 2014 pukul 20.06 WIB dari <http://www.timah.com/v2/ina/people-employment/7230052012135021/profil-ketenagakerjaan/>.
- [24] Dante, M.P. 2006. *An Overview of Partial Least Square*. Diambil pada tanggal 16 Juni 2014 pukul 21.03 WIB dari <http://www.merage.uci.edu/~dpirouz04/research/pls/PLS.pdf>.
- [25] Arifin, Noor, 2010, *Analisis Budaya Organisasional terhadap Komitmen Kerja Karyawan dalam Peningkatan Kinerja Organisasional Karyawan pada Koperasi BMT di Kecamatan Jepara*, Jurnal Ekonomi & Pendidikan, Volume 8, No. 2, pp 173-19

Sentiment Analysis Twitter dengan Kombinasi Lexicon Based dan Double Propagation

Ghulam Asrofi Buntoro¹, Teguh Bharata Adji², Adhistya Erna Purnamasari³

Jurusan Teknik Elektro FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

¹ghulamasrofibuntoro@gmail.com, ²adji.tba@gmail.com, ³adystya@te.ugm.ac.id

ABSTRACT

Twitter is now becoming a very popular communication media on the Internet, there are a lot of positive comments and negative comments, one way to identify them is by Sentiment Analysis. Today many news are accessed from social media especially Twitter; from Twitter public comments, we can determine the level of public interest sentiment to the problems that exist. With more sentiment parameters that can be obtained, information that is produced will be more accurate and reliably. In this paper will be generated 7 parameters of Sentiment Analysis, which are very positive, positive, somewhat positive, neutral, somewhat negative, negative, very negative. In studies improve by 7 parameters Sentiment Analysis with 23,43% accuracy.

ABSTRACT

Twitter sekarang ini menjadi media komunikasi yang sangat populer di Internet, di dalamnya banyak komentar positif dan negatif, salah satu cara untuk mengidentifikasi komentar tersebut adalah dengan Analisis sentimen. Saat ini banyak berita yang diambil dari media sosial, terutama Twitter, karena dari komentar publik, kita dapat menentukan tingkat sentimen masyarakat terhadap suatu permasalahan. Parameter sentimen yang lebih banyak, akan menghasilkan informasi yang lebih detail, akurat dan terpercaya. Dalam makalah ini dihasilkan 7 parameters analisis sentimen, yaitu sangat positif, positif, agak positif, netral, agak negatif, negatif, sangat negatif. Penelitian ini mampu meningkatkan parameters Sentiment Analysis menjadi 7 parameters dengan akurasi 23,43%.

Keywords—Sentiment Analysis, Lexicon Based, Double Propagation

I. PENDAHULUAN

Perkembangan di bidang Teknologi Informasi Komputer dari masa ke masa sangat pesat dan peranannya dalam kehidupan manusia dapat dirasakan dalam berbagai bidang kegiatan kehidupan manusia, baik secara individu ataupun kelompok (organisasi atau perusahaan).

Secara umum terdapat dua tipe informasi tekstual di web yaitu fakta dan opini. Fakta adalah pernyataan objektif mengenai entitas dan kejadian di dunia sedangkan opini adalah pernyataan subjektif yang merefleksikan sentimen atau persepsi orang mengenai entitas ataupun kejadian di dunia. Ketika suatu organisasi/perusahaan/perorangan ingin memperoleh opini publik mengenai produk, citra dan layanannya maka mereka tidak perlu melakukan survei konvensional dan fokus group yang mahal biayanya. Web melalui situs *review online*, *blog* pribadi, situs jejaring sosial menyediakan sumber-sumber opini yang besar jumlahnya bagi kebutuhan individu maupun organisasi. Melalui web orang dapat mengekspresikan apa saja, termasuk pendapatnya akan suatu hal tanpa adanya keterpaksaan.

Mikroblog seperti *Twitter* dan *Facebook* sekarang menjadi perangkat komunikasi yang sangat populer di kalangan pengguna internet. Pada konferensi resmi pengembang *Twitter Chirp 2010*, perusahaan tersebut menyampaikan statistik mengenai situs dan pengguna *Twitter*. Statistik tersebut menyebutkan bahwa pada bulan April 2010, *Twitter* memiliki 106 juta akun dan sebanyak 180 juta pengunjung unik setiap bulannya. Jumlah pengguna *Twitter* disebutkan terus meningkat 300.000 *user* setiap harinya (Yarrow, 2010). *Digital Buzz blog* suatu situs yang menyediakan statistik infografik menyebutkan data statistik yang sama.

Analisis sentimen atau *opinion mining* merupakan proses memahami, mengekstrak dan mengolah data tekstual secara otomatis untuk mendapatkan informasi sentimen yang terkandung dalam suatu kalimat opini. Analisis sentimen dilakukan untuk melihat pendapat atau kecenderungan opini terhadap sebuah masalah atau objek oleh seseorang, apakah cenderung beropini negatif atau positif. Salah satu contoh penggunaan analisis sentimen dalam dunia nyata adalah identifikasi kecenderungan pasar dan opini pasar terhadap suatu objek barang. Besarnya pengaruh dan manfaat dari analisis sentimen menyebabkan penelitian dan aplikasi berbasis analisis sentimen berkembang pesat. Bahkan di Amerika terdapat sekitar 20-30 perusahaan yang memfokuskan pada layanan analisis sentimen [1].

II. PENELITIAN TERKAIT

Metode *Double Propagation* (DP) pertama kali diusulkan oleh Qiu, dkk [2]. Metode ini merupakan

metode *semi unsupervised*. Disebut demikian karena metode ini masih membutuhkan kamus kata yang berisi sedikit kata sifat. Metode ini dapat melengkapi kamus katanya secara otomatis saat proses ekstraksi fitur produk berlangsung.

Caranya adalah dengan menemukan fitur menggunakan kata sifat yang terdapat dalam kamus, kemudian memanfaatkan fitur yang telah terekstrak tadi untuk menemukan kata sifat lain yang terdapat dalam teks opini. Kata sifat baru tersebut secara otomatis akan ditambahkan dalam kamus kata. Proses ini berlangsung terus-menerus hingga tidak ada fitur dan kata sifat baru yang ditemukan. Metode ini juga mampu mengekstrak fitur yang tidak terkomentari secara langsung oleh suatu kata opini. Misalnya dalam kalimat “*Smartphone ini mengagumkan layar dan kameranya*”, metode *Double Propagation* akan mampu mengekstrak dua buah fitur yakni *layar* dan *kamera*. Sementara metode ekstraksi yang menggunakan bantuan kamus kata hanya akan mampu mengekstrak fitur *layar* saja, karena fitur itulah yang berelasi secara langsung dengan kata opini *mengagumkan*. Proses lebih jelas tentang bagaimana cara kerja metode ini dapat dibaca pada paper yang ditulis oleh Qiu. Untuk proses penentuan sentimen kata opini, metode ini dirasa cukup efektif dalam membantu mengenali lebih banyak fitur produk yang terdapat dalam teks opini. Sehingga diharapkan hasil yang lebih baik[3].

Penelitian yang dilakukan oleh Qiu, dkk [2]. Adalah Memperluas *Domain Sentimen Lexicon Based* dengan *Double Propagation* dengan 2 parameters *Sentiment Analysis* yaitu: positif dan negatif. Selanjutnya Penelitian yang dilakukan Azhar, dkk [3]. Yaitu mengenai Otomatisasi Perbandingan Produk Berdasarkan Bobot Fitur pada Teks Opini dengan 3 parameters *Sentiment Analysis* yaitu: positif, netral dan negatif. Kemudian Penelitian Liu dkk [4] membandingkan dua buah produk dengan mengamati tiap fitur dari kedua produk, sistem tersebut dinamakan dengan *opinion observer* dengan 2 parameters *Sentiment Analysis* yaitu: positif dan negatif. Sedangkan penelitian yang dilakukan ini adalah Analisis sentimen *tweet* di media sosial *Twitter* dengan kombinasi *Lexicon Based* dan *Double Propagation* dengan 7 parameters *Sentiment Analysis* yaitu: sangat positif, positif, agak positif, netral, agak negatif, negatif, sangat negatif.

III. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

A. Pengumpulan Data

Data minimal 128 *tweet*. Data yang diambil hanya *tweet* dalam berbahasa Indonesia, diambil secara acak baik dari user biasa ataupun media *Twitter* dengan kata kunci jokowi dan prabowo. Metode pencarian dilakukan dengan melakukan filter untuk kata-kata positif dan negatif maupun tanpa menggunakan filter, sehingga kata-kata yang didapat mengandung unsur positif, negatif maupun netral.

Pada tahap *preprocessing*, dilakukan 3 langkah sebagai berikut.

1. Seleksi komentar

Pada tahap ini, dilakukan seleksi komentar yang mengandung kata kunci pemilu, karena *Twitter* terdapat fungsi retweet, yaitu memberikan komentar terhadap *tweet* komentar seseorang, karena komentar *tweet* akan mengganggu dalam proses *Sentiment Analysis tweet*. Jadi dalam *preprocessing* ini komentar *tweet* dihapus.

2. Cleansing

Kalimat yang didapat biasanya masih terdapat noise, yaitu kesalahan acak atau varian dalam variable terukur [5], untuk itu, kita harus menghilangkan noise tersebut. Kata yang dihilangkan adalah karakter HTML, kata kunci, ikon emosi, *hashtag* (#), *username* (@username), *url* (http://website.com), dan *email* (nama@website.com) [5].

3. Parsing

yaitu proses memecah dokumen menjadi sebuah kata dengan melakukan analisa terhadap kumpulan kata dengan memisahkan kata tersebut dan menentukan struktur sintaksis dari tiap kata tersebut.[6]

4. Normalisasi Kalimat

Bertujuan untuk menormalkan kalimat sehingga kalimat gaul menjadi normal [7], sehingga bahasa gaul tersebut dapat dikenali sebagai bahasa yang sesuai dengan KBBI.

Yang harus dilakukan untuk normalisasi kalimat adalah:

- Meregangkan tanda baca (*punctuation*) dan *symbol* selain *alphabet*

Meregangkan tanda baca adalah memberikan jarak terhadap tanda baca dari kata-kata sesudah atau sebelumnya, tujuannya agar tanda baca dan *symbol* selain *alphabet* tidak menjadi satu dengan kata-kata pada saat proses tokenisasi.

- Mengubah menjadi huruf kecil semua
- Normalisasi kata

Aturan-aturan dalam proses normalisasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan normalisasi kata [7]

Tidak Normal / gaul	Normal
Akhiran -ny	Akhiran -nya
Akhiran -nk	Akhiran -ng
Akhiran -x	Akhiran -nya
Akhiran -z	Akhiran -s
Akhiran -dh	Akhiran -t
Kata berulang: sama2	Kata berulang: sama-sama
Ejaan: oe	Huruf: u
Ejaan: dj	Huruf: j

- Menghilangkan huruf yang berulang

Ketika sedang senang atau kesal, seseorang bebas menuliskan opini berdasarkan emosinya, biasanya seseorang menuliskan dengan mengulang huruf yang sama. Contohnya: “kereeen” untuk mengekspresikan kesenangan. Kata berulang seperti “kereeen” akan di normalisasi menjadi “keren”.

- Menghilangkan *emoticon*

Ketika sedang menulis status (*tweet*) seseorang kadang salah atau kurang tepat dalam penggunaan emoticon, entah disengaja atau tidak banyak yang melakukannya. Contohnya: Mereka hanya bisa memfitnah karena tidak bisa ketemu fakta buruk :), kata opini fitnah tapi emoticonnya senyum :), dengan begitu emoticon akan mengganggu dalam proses *Sentiment Analysis tweet*, jadi dalam proses ini emoticon dihapus atau diabaikan. Beberapa *emoticon*, *feeling and sentiment* dapat dilihat pada Gambar 1.

Emoticon	Feeling	Sentiment
:) :-)	Happy	Positive
:(:-)	Sad	Negative
:D :-D	Very Happy!	Positive
D: D=	Very Sad	Negative
* * * * *	Fascinated	Positive
D:< D: D8	Horror, disgust, sadness	Negative
xD XD	Laughing, big grin	Positive
: = :-	Straight face no expression	Neutral

Gambar 1 *Emoticon, Feeling and Sentiment*

B. Tokenisasi

Setelah normalisasi kalimat, selanjutnya kalimat tersebut dipecah kedalam token-token menggunakan pembatas / delimiter spasi. Token yang digunakan dalam penelitian ini yaitu [5]:

- *unigram*: token yang terdiri dari hanya satu kata, contohnya: Pemilu.

Berikut ilustrasinya:

Opini : Pemilu tahun ini berlangsung secara jujur dan adil.
Unigram : Pemilu, tahun, ini, berlangsung, secara, jujur, dan, adil.

C. Part of Speech (POS) Tagger

POS tagger adalah sebuah proses untuk memberikan kelas pada sebuah kata. Dalam proses *POS tagger* dilakukan dengan cara *parsing*, kemudian ditentukan kelas tiap kata dengan menggunakan bantuan kamus yang di buat sendiri berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) menggunakan metode *Maximum Entropy*. Proses *POS tagging* terbagi ke dalam tiga proses yaitu pemisahan setiap token dalam dokumen dengan pengecekan setiap kata dalam dokumen, mengidentifikasi setiap kata dalam

dokumen dengan pemberian jenis kata, pengecekan kata yang belum teridentifikasi terhadap bentuk imbuhan dan akhiran sehingga diperoleh kata dasar.

Berdasarkan aturan linguistik pada kata diperoleh sentimen sementara. Penentuan sentimen dilakukan dengan melihat adanya kata yang mengandung opini baik yang memiliki *polarity* positif maupun negatif dari *tweet* yang sudah dilabeli kelas katanya. Kelas kata yang dipilih adalah kata sifat (*adjective*), kata keterangan (*adverb*), kata benda (*noun*) dan kata kerja (*verb*), sesuai dengan penelitian [3] bahwa keempat jenis kata di atas merupakan jenis kata yang paling banyak mengandung sentimen. Dalam sistem ini jika suatu *tweet* terdapat kata benda (NN) pada sebelum atau setelah kata sifat (JJ) atau kata keterangan (RB) dan kata benda (memiliki *polarity* berlawanan dengan kata sifat atau kata keterangan maka *polarity* yang diperoleh berdasarkan kata sifat atau kata keterangan, karena kata sifat atau kata keterangan memberikan penegasan terhadap kata benda.[6]

D. Penentuan Class Attribute

Data Twitter yang sudah dilakukan Preprocessing kemudian akan ditentukan class attribute, class attribute yang dimunculkan dalam penelitian ini ada 7, diantaranya sangat positif, positif, agak positif, netral, agak negatif, negatif dan sangat negatif. Dengan 7 class attribute ini diharapkan mampu memberi penilaian masyarakat secara akurat terhadap objek tertentu.

E. Load Dictionary

Setelah dilakukan tokenisasi dan ditentukan class attribute, langkah selanjutnya adalah load dictionary. Banyak jenis kamus yang dapat digunakan, contohnya: kamus kata kunci sentimen positif (positif keywords), kamus kata kunci sentimen negatif (negatif keywords), kamus kata negasi (negation keywords), dan kamus normalisasi bahasa gaul/alay.

Berikut adalah contoh kamus dan isinya [5]:

- Positif keywords: baik, hebat, jujur, cerdas, keren.
- Negatif keywords: bohong, korupsi, jahat, jelek.
- Negation keywords: nggak, tidak, bukan, jauh.
- Kamus konversi bahasa gaul ke KBBA: sp = siapa, spt = seperti, brp = berapa, hrg = harga, ciyus = serius.

F. Extract dan Pembobotan Fitur

Untuk mengekstrak fitur produk dari teks opini yang terdapat pada dataset, digunakan metode *Double Propagation* (DP)[2]. Seperti dijelaskan pada bagian sebelumnya, metode ini tidak membutuhkan kamus kata opini yang lengkap untuk dapat bekerja. Karena dalam prosesnya, metode ini tidak hanya akan mengekstrak kata opini melainkan juga mengekstrak kata sifat yang dicurigai sebagai kata opini.

Hasil akhir dari proses ini adalah daftar kata opini beserta bobot untuk masing-masing kata kunci (fitur). Bobot untuk masing-masing kata kunci (fitur) didapatkan melalui Persamaan 1.

$$W_f = \sum_{i=1}^n p_i \quad (1)$$

dimana W_f adalah bobot dari kata kunci fitur f yang didapatkan melalui penjumlahan n skor polaritas kata opini p yang mengomentari fitur f . Skor polaritas suatu kata opini p akan bernilai 1 jika kata tersebut adalah kata opini positif, dan bernilai -1 jika kata tersebut adalah kata opini negatif[3].

Kata kunci diekstrak dari kalimat menggunakan token yang dicocokkan dengan kamus untuk mendapatkan kata kunci positif dan negatif. Prosesnya bisa dilihat sebagai berikut.

- Ekstraksi kata kunci positif dan kata kunci negatif
Token-token dicocokkan dengan kata kunci yang ada dalam kamus yang berisikan kata kunci positif ataupun kata kunci negatif.
- Ekstraksi kata sifat yang dicurigai sebagai kata opini
Kata sifat yang dicurigai sebagai kata opini diekstrak menjadi kata opini kemudian ditambahkan dalam kamus opini. Contohnya: “banyak” adalah kata sifat, akan tetapi juga sebagai kata opini dan terdapat dalam kamus positif maka akan menjadi kata opini positif.

- Evaluasi negasi
Dengan menggunakan kata negasi, kata yang dideteksi positif dapat berubah menjadi negatif maupun sebaliknya. Contohnya “korupsi” adalah kata kunci negatif, akan tetapi jika sebelumnya terdapat kata “tidak” dan menghasilkan token “tidak korupsi” maka nilainya akan berubah menjadi positif. Kata-kata negasi tersebut, dapat dilihat dari kamus yang berisikan kata negasi.

G. Determine Sentiment

Proses yang terakhir adalah menentukan sentimen suatu kalimat opini, penentuan dilakukan dengan penjumlahan n skor polaritas kata opini p yang mengomentari fitur f . Skor polaritas suatu kata opini p akan bernilai 1 jika kata tersebut adalah kata opini positif, dan bernilai -1 jika kata tersebut adalah kata opini negatif[4].

Setelah diketahui kata yang mengandung positif, negatif dan netral di dalam sebuah kalimat, selanjutnya dihitung bobot nilai yang terkandung dalam kalimat tersebut yang dilakukan dengan menjumlahkan nilai kata opini. Jika jumlah nilai opini positif dalam kalimat tersebut ≥ 3 , maka nilai sentimen dari kalimat tersebut adalah sangat positif, apabila nilai opini positif dalam kalimat tersebut = 2, maka nilai sentimen dari kalimat tersebut adalah positif, jika nilai opini positif dalam kalimat tersebut = 1, maka nilai sentimen dari kalimat tersebut adalah agak positif, jika nilai opini dalam kalimat tersebut = 0, maka nilai sentimen dari kalimat tersebut adalah

netral, jika nilai opini negatif dalam kalimat tersebut = -1, maka nilai sentimen dari kalimat tersebut adalah agak negatif, jika nilai opini negatif dalam kalimat tersebut = -2, maka nilai sentimen dari kalimat tersebut adalah negatif, dan jika nilai opini negatif dalam kalimat tersebut = -3, maka nilai sentimen dari kalimat tersebut adalah sangat negatif. Determine Sentimen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Determine Sentimennya

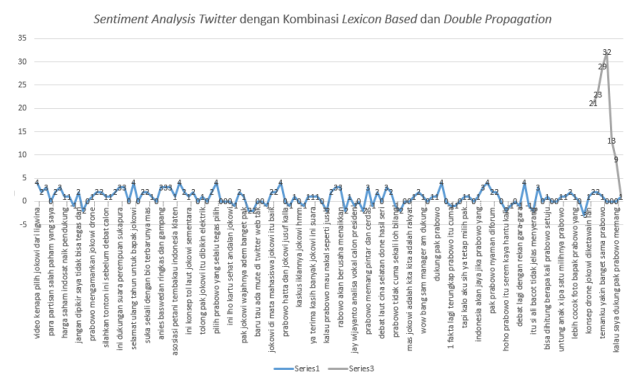
Sentimen	Nilai
Sangat Positif	≥ 3
Positif	2
Agak Positif	1
Netral	0
Agak negatif	-1
Negatif	-2
Sangat Negatif	≥ -3

IV. UJI COBA DAN PEMBAHASAN

Ujicoba dilakukan dengan data yang berjumlah 128 tweet. Proses preprocessing dilakukan dengan seleksi komentar, cleansing, parsing, normalisasi kalimat, tokenisasi, dan konversi bahasa gaul ke KBBA. selanjutnya menghapus kata yang berulang dari tweet tersebut, terakhir menghapus emoticon yang ada dalam tweet. Selanjutnya data mengalami proses POS tagger, dari semua proses di atas menghasilkan data pelatihan untuk membangun model klasifikasi.

Skenario ujicoba untuk melihat seberapa baik sistem yang telah dibuat, dengan mengambil data dari tweet dengan kata kunci jokowi dan prabowo sebanyak 128 tweet, kemudian dilakukan proses preprocessing dan POS Tagging selanjutnya sistem melakukan proses klasifikasi dengan menghitung nilai sentimen tiap tweet dan mencocokkannya dengan 7 parameters sentimen yaitu sangat positif, positif, agak positif, netral, agak negatif, negatif, dan sangat negatif, dengan hasilnya adalah nilai sentimen tiap data tweetnya.

Hasil ujicoba Sentiment Analysis tweet dengan 7 parameters sentimen bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil ujicoba Sentiment Analysis dengan 7 parameters

Kombinasi *Lexicon based* dan *double propagation* mampu menghasilkan 7 parameters *Sentiment Analysis* untuk lebih jelasnya bisa dilihat hasil dari metode ini pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil ujicoba *Sentiment Analysis*

Sentiment	Jumlah	Nilai
Sangat positif	21	67
Positif	23	46
Agak positif	29	29
Netral	32	0
Agak negatif	13	-13
Negatif	9	-18
Sangat negatif	1	-3
Jumlah	128	112

Untuk mengetahui akurasi sistem yang telah dibuat yaitu dengan membandingkan hasil sistem dengan hasil dari 3 mahasiswa yang telah memberikan penilaian *sentiment analysis* terhadap data *tweet*, ada berapa banyak nilai sentimen yang sama dari data *tweet*, kemudian dihitung prosentase akurasinya dengan Persamaan 2.

$$\text{Akurasi} = \frac{t}{n} \times 100 \quad (2)$$

dimana t adalah jumlah nilai sentimen yang sama pada data *tweet* antara sistem dengan 3 mahasiswa dan n adalah jumlah seluruh data *tweet*.

Hasil nilai sentiment dari 3 mahasiswa dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan sentiment 3 mahasiswa

Mahasiswa	Persamaan Sentimen	Prosentase
1	26	20,31
2	40	31,25
3	24	18,75

Setelah didapatkan nilai sentimen dari tiap mahasiswa, kemudian dihitung dengan Persamaan 2 seperti dibawah ini:

$$\text{Akurasi} : \frac{26 + 40 + 24}{3} = \frac{90}{3} \times 100 = 30,00\%$$

Hasil yang didapatkan dari perhitungan di atas adalah akurasi dari sistem ini yaitu 30,00 %.

V. KESIMPULAN

Metode *Double Propagation* (DP) mampu untuk mengekstrak dan memberi bobot nilai sentimen sebuah kata opini, juga mampu mengenali kata sifat yang termasuk kata opini. Kombinasi Metode *Lexicon based* dan Metode *Double Propagation* (DP) mampu untuk meningkatkan parameters sentimen menjadi 7 parameters sentimen yaitu sangat positif, positif, agak positif, netral, agak negatif, negatif, dan sangat negatif. Ujicoba sistem yang telah

dibuat dilakukan dengan menggunakan 128 data *tweet* dengan 3 mahasiswa sebagai perbandingan akurasi, hasil akurasinya mencapai 30,00 %. Selanjutnya metode ini masih bisa ditingkatkan nilai akurasinya dan digunakan untuk landasan penelitian lain yang memanfaatkan opini publik atau *Sentiment Analysis* pada bidang lain.

REFERENCES

- [1] Go, A., Huang, L., & Bhayani, R. (2009). Twitter Sentiment Analysis. Final Project Report, Stanford University, Department of Computer Science.
- [2] Qiu, Guang., Bing, Liu., Jiajun Bu and Chun Chen. 2009. "Expanding Domain Sentimen Lexicon through Double Propagation". In Proceedings of IJCAI
- [3] Yufis Azhar, Agus Zainal Arifin, Diana Purwitasari. 2013. "Otomatisasi Perbandingan Produk Berdasarkan Bobot Fitur pada Teks Opini".
- [4] Liu, B., Hu, M., dan Cheng, J. (2005). Opinion observer: analyzing and comparing opinions on the Web. In Proceedings of the 14th international conference on World Wide Web. ACM, hal. 342-351
- [5] J. Ariawan, "Data Preprocessing." [Online]. Available: <https://www.google.com/search?q=apa+itu+noise+dalam+data+m+ining&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:en-US:official&client=firefox-a&channel=sb>. [Accessed: 10-Mar-2014].
- [6] Noviah Dwi Putranti, Edi Winarko (2014). "Analisis Sentimen Twitter untuk Teks Berbahasa Indonesia dengan *Maximum Entropy* dan *Support Vector Machine*"
- [7] M. Yusuf Nur Sumarno Putro. 2011 "Analisis Sentimen pada Dokumen berbahasa Indonesia dengan Pendekatan Support Vector Machine". Masters, Binus.
- [8] N. Adiyasa, "Analisis Sentimen Pada Opini Berbahasa Indonesia Menggunakan Pendekatan Lexicon-Based," Catatan Kecil, 2011. [Online]. Available: <http://adiyasan.wordpress.com/2013/02/08/sentimen-analysis-menggunakan-pendekatan-lexicon-based/>. [Accessed: 10-Mar-2014].

Review Sistem Keamanan Data pada Komunikasi Instant Messenger

Putra Wanda¹, Selo², Bimo Sunafri Hantono³

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2 Yogyakarta – 55281, Bulak Sumur, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

putra.wanda.mti13@mail.ugm.ac.id, selo@ugm.ac.id bimo@te.ugm.ac.id

Abstraksi-Sejak tahun 2000 perkembangan Instant Messenger sangat pesat, salah satu aspek yang menjadi perhatian adalah tentang keamanan pesan yang dikirim melalui Mobile Instant Messenger yang harus melewati jalur publik (internet). Ada banyak metode yang telah dikembangkan untuk meningkatkan aspek pengamanan data yang dikirim meliputi penggunaan firewall, inspeksi paket penggunaan proxy hingga penggunaan algoritma kriptografi keamanan seperti RSA dan Triple DES dan penggunaan algoritma AES pada protokol Off The Record (OTR). Pada perkembangan Instant Messenger terdapat dua arsitektur yang banyak dikembangkan antara lain arsitektur client server dan peer to peer (P2P). Dengan pendekatan di atas data yang dikirim melalui jaringan internet harus melalui proses autentikasi pesan sehingga pendekatan di atas dapat meningkatkan kepercayaan user dalam menggunakan aplikasi ini dalam bertukar informasi penting.

Kata Kunci : Kriptografi, Data, Algoritma

Abstract-Since in 2000 ago, developing of Instant Messenger is so fast, one of the aspect that will be a concern is message security which sent via Mobile Instant Messenger and should pass the public network (internet). A lot of methods have been developed to increase the data security like using a firewall in sending the message, inspection a packet using proxy until implementing a cryptography algorithm example RSA, Triple DES and using AES algorithm in the Off The Record (OTR) protocol. In the Instant Messenger growing there are two architectures which most developed, client server and peer to peer (P2P) architecture. According to the approach above, data which sent via internet networks should pass an authentication so that the approach may increase the user integrity in using this application exchange a risk information with a instant messaging application.

Keywords : Cryptography, Data, Algorithms

1. Pendahuluan

Mobile Instant Messenger (IM) merupakan sebuah aplikasi yang banyak digunakan untuk melakukan pertukaran pesan melalui jaringan internet. Jenis pesan yang paling sering dikirim melalui Mobile IM adalah pesan teks. Oleh karena itu aspek keamanan pesan menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Enkripsi merupakan salah satu metode pengamanan pesan yang banyak digunakan pada aplikasi yang berjalan melalui jalur internet publik ini dimana enkripsi metode pengacakan pesan *plaintext* (asli) hingga menjadi sebuah *chiphertext* (pesan acak) kemudian data yang tersebut akan dilewatkan melalui jaringan komunikasi global yaitu internet. Metode ini termasuk dalam disiplin kriptografi yang semakin berkembang saat ini. Meskipun demikian keamanan pesan melalui metode pengacakan data tidak menjamin keaslian pesan yang diterima karena metode

autentikasi yang handal juga diperlukan pada proses mengetahui keaslian pesan.

Komunikasi menggunakan pesan IM sudah berkembang sejak lama dimana sistem komunikasi IM berbasis *client server* telah berkembang lebih dahulu. Sistem ini dijalankan dengan memperhatikan aspek komunikasi yang handal dan aman, hal ini dilakukan dengan mengharuskan seorang client untuk melakukan registrasi dan melalui proses autentikasi sistem sebelum dapat bergabung dalam jaringan IM. Sedangkan jalur komunikasi IM untuk komunikasi langsung juga bisa dilakukan melalui GPRS [1]. Selain itu, penggunaan IM ini juga sangat bagus jika diterapkan di dalam dunia bisnis karena sistem IM ini dapat meningkatkan produktifitas dan mengurangi biaya di dalam perusahaan pengguna IM.

Pertumbuhan IM yang semakin pesat menyisakan resiko keamanan yang signifikan dan IM publik yang digunakan saat ini kebanyakan tidak memiliki ketentuan untuk menjamin kerahasiaan pesan yang dikirim menggunakan aplikasi IM. Oleh karena itu, dikembangkan sebuah model IM berbasis SIMPC (*Secure Instant Messaging and Presence Control*) yang dikombinasikan dengan metode *elliptic-curve cryptography* [2]

Penerapan IM pada lingkungan Publik harus didukung dengan keamanan yang baik dimana penggunaan firewall, inspeksi setiap paket, pembaharuan keamanan pada sistem dan isi menjadi hal yang sangat penting [3]. Pada penerapan IM hal yang sering menjadi pilihan adalah dimana lingkungan IM akan dijalankan. Lingkungan ini dapat bersifat publik atau menggunakan IM yang bersifat privat, hal ini tentu berhubungan dengan aspek keamanan aplikasi yang digunakan, Penggunaan IM publik dalam hal ini akan menggunakan sebuah *proxy* untuk melakukan penyaringan (*filtering*) pada lalu lintas data yang masuk dan keluar melalui IM [4]

2. Risiko yang diakibatkan oleh Instant Messenger

Ada beberapa kasus yang menunjukkan risiko keamanan pada IM baik yang terjadi pada IM privat atau IM yang digunakan oleh publik. Sistem yang lemah akan memudahkan penyerang untuk menyebarkan pesan palsu atau *worm* yang dapat merusak perangkat mesin pada perusahaan yang menggunakan IM.

Selain itu juga terdapat banyak jenis serangan yang telah dilakukan oleh penyerang sehingga menimbulkan bahaya pada sistem sehingga hal ini tentu menjadi perhatian para pengembang. Bahaya-bahaya yang ditimbulkan bisa ditampilkan pada Tabel 1:

Tabel 1 : Risiko Penggunaan Aplikasi IM

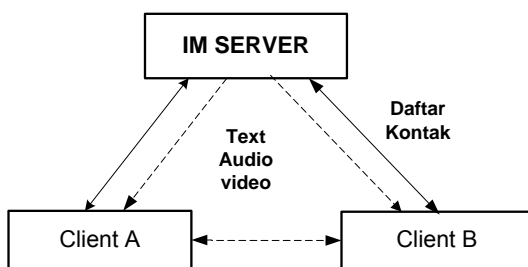
NO	Bagian yang berisiko	Bentuk Ancaman
1	Kehilangan kontrol terhadap <i>Malicious Code</i>	Trojan dan Virus
2	Komunikasi yang tidak dienkripsi	Penyadapan
3	Kurangnya kontrol pada trafik yang menuju keluar jaringan	Kehilangan informasi
4	Autentikasi yang lemah	Impersonasi
5	Kurangnya pengelolaan <i>password</i>	Pencurian identitas
6	Kebocoran informasi pribadi	Pelacakan
7	Kealfaan dalam mengontrol <i>log message</i>	Pencurian pesan log
8	Kealfaan dalam mengontrol hak cipta	Pelanggaran hak cipta
9	Kurangnya fungsi <i>backup</i> pesan	Penolakan pesan

Berdasarkan data jenis resiko dan ancaman yang bisa terjadi pada sistem IM maka diperlukan solusi untuk menyelesaikannya. Sebagai sebuah sistem teknologi yang bekerja secara *real time*, murah dan banyak digunakan, maka masalah keamanan sistem ini menjadi sangat penting. Jika tidak dikelola dengan baik, IM dapat menjadikan informasi yang bersifat pribadi menjadi sangat berisiko tetapi jika pengelolaan dilakukan melalui kontrol keamanan yang baik dan terintegrasi dengan alur bisnis maka perusahaan dapat meningkatkan kemampuan untuk menjalankan perusahaan secara *real time* dengan dukungan IM [5]

Walaupun telah dilakukan kontrol keamanan yang baik dan terintegrasi dapat meningkatkan keamanan sistem IM, tidak dijelaskan tentang detail dari risiko yang terjadi pada IM komersial dan lebih menonjolkan permasalahan teknis dibandingkan dengan permasalahan managerial

3. Keragaman Arsitektur pada Mobile IM

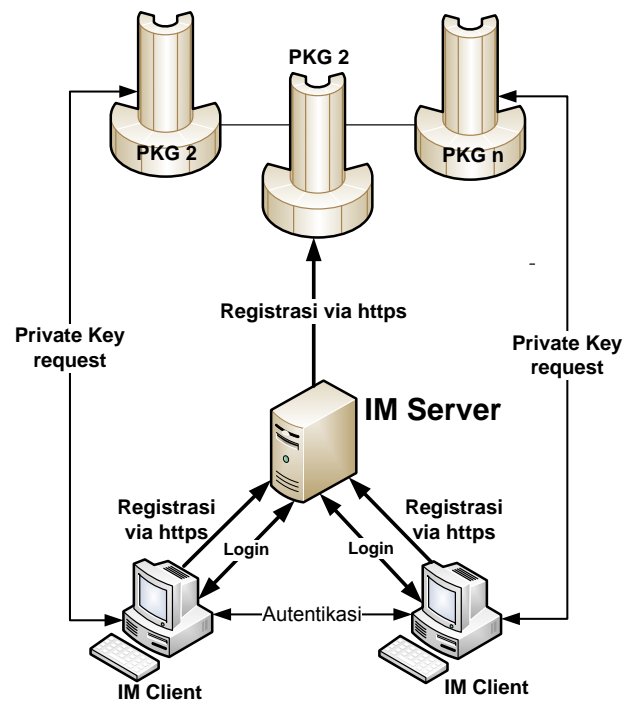
Arsitektur sistem IM yang banyak digunakan saat ini adalah komunikasi IM yang berbasis arsitektur *client-server* dan P2P. Pada komunikasi *client-server* semua pesan yang berasal dari pengirim harus melewati *server* sebelum sampai ke sisi penerima. Jika sistem ini hanya mengandalkan pada proses komunikasi IM berbasis *client-server*, hal ini akan melupakan aspek privasi dan kemungkinan pesan akan dibuka pada *server* setelah pesan tersebut dikirim dari pengirim hingga akhirnya sampai ke sisi penerima ataupun sebaliknya. Oleh karena itu penerapan IM menggunakan sebuah model protokol yang dianggap aman bernama SIMPP (*Secure Instant Messaging and Privacy Presence*) untuk membangun sebuah model komunikasi 3-way pada metode *elliptic-curve cryptography*. Model komunikasi 3-way ini bekerja sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1 : Arsitektur Komunikasi Client Server

Pada model komunikasi 3-way ini, komunikasi data antara dua *client* harus melewati *server* sehingga pertukaran pesan dianggap lebih aman. Pada sistem IM 3-way ini, model komunikasinya dianggap aman karena hanya *client* yang berada pada kontak list yang bisa berkomunikasi. Namun demikian proses monitoring keamanan user yang aktif pada sistem 3-Way ini menjadi tidak konsisten karena tidak memiliki proses autentikasi yang jelas pada saat *client* yang lain ingin memasuki sistem IM.

Sistem komunikasi 3-way yang masih memiliki celah pada keamanan pesan membuat arsitektur *client-server* yang dirancang untuk komunikasi IM dilakukan dengan menambahkan *Private Key Generator* (PKG) yaitu sistem komunikasi IM yang terdiri dari komponen IM *Client*, IM *Server* dan PKG. Pada sistem ini IM *server* bertugas untuk melakukan pemeriksaan terhadap semua pengguna pada sistem dan memberikan akses kepada pengguna yang valid untuk menggunakan sumber daya yang ada dan IM *Client* akan digunakan untuk mengirim pesan sesuai dengan daftar kontak yang dimiliki. Sedangkan PKG berfungsi untuk melakukan pengaturan parameter sistem, membangkitkan sebuah identitas berdasarkan *private key* untuk IM *Client* [6]. Sistem berbasis PKG ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2 : Arsitektur sistem IM berbasis PKG

Meskipun arsitektur sistem IM berbasis PKG ini dapat meningkatkan keamanan IM *server* dan IM *Client*, tetapi risiko akan timbul jika proses pada PKG ini mengalami kegagalan. Hal ini tentu akan mengakibatkan kebocoran data pada sistem IM.

Penerapan sistem IM dengan menggunakan arsitektur *client-server* juga telah dilakukan dengan memanfaatkan protokol Jabber. Protokol Jabber dapat bekerja pada sistem IM dan berbasis arsitektur koneksi *client-server*. Arsitektur yang memanfaatkan protokol ini memiliki bentuk operasi yang mirip dengan operasi *email* dimana masing-masing pengguna memiliki *server* bersifat lokal yang digunakan untuk menerima pesan-pesan. Berbagai macam server ini akan berkomunikasi dengan server yang lain jika ingin

mengirimkan sebuah informasi ke pengguna. Setiap komunikasi yang berasal dan menuju ke *client* akan melewati sebuah *server*, data-data pengguna yang meliputi daftar kontak dan *preference* akan disimpan di dalam server lokal. Arsitektur ini dianggap lebih aman untuk membangun sebuah sistem IM [7].

Pada umumnya aspek keamanan pada komunikasi *client* dan *server* dianggap riskan baik pada saat *client* ingin mengirim data ke *server* lokal ataupun ketika pengguna ingin mengirim pesan IM yang harus melewati banyak server lokal. Sistem *client-server* berbasis *server* lokal ini akan meningkatkan peluang terjadinya penyadapan.

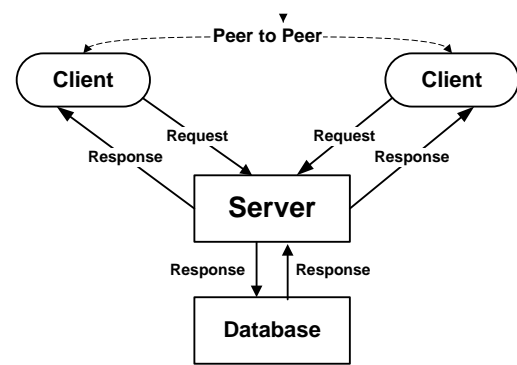
Dengan perkembangan teknologi komunikasi yang sangat pesat, pendekatan lain yang memungkinkan untuk membangun sebuah sistem IM adalah dengan menerapkan arsitektur komunikasi P2P dengan memanfaatkan teknologi JXTA dan JXME. Teknik komunikasi yang dilakukan dengan arsitektur P2P ini dijalankan dengan konsep "Message Passing" dimana aplikasi memberikan layanan *presence* yang dapat menunjukkan dalam periode waktu tertentu. Sebuah *peer* akan mengirimkan "Alive Message" yaitu berupa pesan kondisi *peer* setiap beberapa waktu. Ketika sebuah *peer* tidak dapat menerima *Alive Message* dalam waktu 10 detik maka *peer* tersebut dianggap sudah dalam dan semua informasi percakapan akan dihapus [8].

Penerapan arsitektur komunikasi berbasis P2P juga telah diteliti sebelumnya, terutama dalam hal penggunaan metode enkripsi pada komunikasi IM dimana solusi yang ditawarkan adalah metode *Broadcast Encryption* (BE). Metode BE dianggap memiliki performa yang tinggi dalam hal proses enkripsi dan dekripsi tanpa harus dibatasi oleh jumlah identitas atau grup. Sehingga dapat menciptakan enkripsi yang lebih efisien [9].

4. Model pengamanan pada Instant Messenger

Perkembangan IM yang sangat pesat menghasilkan berbagai model pengamanan sistem yang dianggap lebih baik. Salah satu dari model yang dikembangkan untuk meningkatkan keamanan sistem adalah dengan menerapkan sebuah model berupa sistem IM yang berdasarkan pada *Spim detection* dan *filtering*. Model ini dilakukan dengan menerapkan daftar *Black/White* dimana paket data yang dikirim akan terlebih dahulu diperiksa sumber dan tujuannya untuk memeriksa validitas serta melakukan penyaringan terhadap pesan *spam* yang melewati sistem IM. Pada sistem ini *client* akan membuat sebuah *pipeline* dengan memproses pesan masuk setelah melakukan *checking error* dan *filtering*. Pemeriksaan kesalahan dan penyaringan dilakukan untuk menentukan apakah data tersebut akan dikategorikan sebagai daftar *Black/White* atau tidak [10].

Sebagai aplikasi Internet yang sangat berkembang saat ini beberapa kelemahan pada keamanan menjadi penghalang tersendiri bagi IM sehingga diperlukan metode pengamanan pada level sistem. Model pengamanan ini dilakukan dengan mengenkripsi semua proses sebelum data ditransmisikan. Ketika *client* menerima data *chippertext* maka data akan didekripsikan menggunakan kombinasi algoritma RSA dan Triple DES [11]. Model pengamanan IM ini dapat diilustrasikan pada gambar 3.



Gambar 3 : Model pengamanan berbasis RSA dan Triple DES

Model pengamanan berbasis RSA dan Triple DES ini menjadi lebih aman karena pesan telah mengalami proses enkripsi sebelum ditransmisikan melalui Internet. Meskipun demikian permasalahan akan muncul ketika terjadi pertukaran data yang semakin besar, hal ini menyebabkan kecepatan komputasi menjadi semakin lambat apalagi jika mentransmisikan data yang berupa suara, video atau gambar

Beberapa metode pengamanan lain telah diusulkan dalam bidang komunikasi data melalui *Mobile IM* berbasis arsitektur P2P. Sebagian besar metode pengamanan yang diusulkan berfokus pada penggunaan algoritma fungsi Hash pada pesan *Mobile IM*. Fungsi Hash yang diterapkan pada pesan digunakan untuk melakukan pengamanan pesan *plaintext* yang dikirim melalui jaringan Internet.

Pengembangan metode pengamanan pesan yang dilakukan melalui penerapan fungsi Hash pada data yang akan ditransmisikan melalui IM dimana pesan teks dianggap lebih cocok untuk menggunakan enkripsi tipe *Secure Hash Algorithm*(SHA). Penerapan metode ini dilakukan dengan menentukan sebuah fungsi $F(M)$ dimana nilai M adalah panjang pesan IM yang bisa berubah-ubah. Ada dua tipe pengkodean pesan yang penting pada sistem ini yaitu: *checksum* dan *secure hash*. *Checksum* merupakan sebuah fungsi dari message M yang pada dasarnya hanya memiliki satu *property* sehingga nilai $F(M)$ tergantung pada semua *byte* yang ada pada M . Dengan memanfaatkan metode ini pesan yang dikirim melalui jalur internet dianggap lebih aman [12]. Namun satu hal yang menjadi catatan adalah tipe pesan M yang pada sistem ini hanya terdiri dari $M1$ dan $M2$ tentu sangat riskan sebab kode yang dibangkitkan untuk pertama kalinya bisa terdeteksi dengan lebih mudah.

Metode pengamanan IM dapat juga dilakukan pada level protokol. Salah satu protokol yang banyak diterapkan pada sistem IM adalah Jabber. Protokol ini memiliki keunggulan antara lain: Terbuka, terstandarisasi, aman dan protokol ini didesain yang bisa dikembangkan. Berdasarkan sifatnya yang terbuka, Jabber banyak digunakan untuk membangun model pengamanan pada IM.

Selain itu untuk meningkatkan keamanan pesan IM, maka dikembangkan sebuah protokol yang terbentuk dari kombinasi *ElGamal cryptosystem*, algoritma RSA, and *Chinese Remainder Theorem* (CRT). Pada protokol ini bagian CRT lebih berperan pada pembaharuan *private key* pengguna sedangkan kemampuan berinteraksi antar algoritma ini tergantung pada *integer factorization problem* (IFP) dan *discrete logarithm problem* (DLP). Di dalam membentuk protokol IM ini CRT dianggap sebagai pasangan

bilangan prima yang bernilai relatif dan akan dilakukan proses konkrue secara bersamaan dengan persamaan:

$$x = \sum_{i=1}^k r_i M_i^{-1} M_i \text{ mod } M'$$

Pada persamaan di atas, nilai integer m_1, m_2, \dots, m_k adalah pasangan bilangan prima yang nilainya berubah-ubah, sedangkan x merupakan hasil perhitungan yang bernilai unik dengan k adalah kunci yang digunakan pada proses komunikasi. Persamaan dalam proses pengamanan dengan memanfaatkan metode ElGamal *Cryptosystem* dikalkulasikan dengan formula di bawah ini.

$$\begin{array}{ccc} \text{A} & & \text{B} \\ a = g^{r_A} \text{ mod } p & C = (a, b) & \\ a = M \cdot y^{r_A} \text{ mod } p & \longrightarrow & M = b/a^{x_B} \text{ mod } p \end{array}$$

Pada sistem ini, ElGamal *Cryptosystem* dianggap jalan tengah antara penggunaan Diffie-Hellman dan penggunaan kunci sementara. Pada proses ini enkripsi pesan M , A membangkitkan integer acak r_A dan mengkalkulasi *chiphertext* dengan $C = (a, b)$, hasil kalkulasi akan dikirim ke B sehingga B akan memperoleh sebuah *plaintext*. Dalam proses pembangkitan a dan b , metode ini akan menggunakan modulus utama p . Proses kalkulasi pada ElGamal *Cryptosystem* menggunakan formulasi:

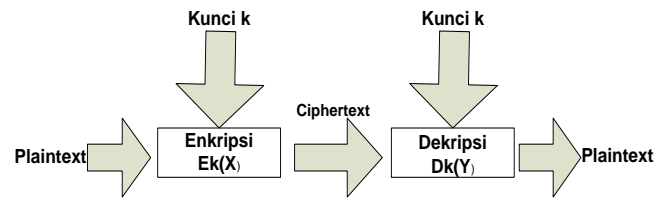
Metode yang diusulkan diatas dianggap memiliki tingkat keamanan yang lebih baik dan cepat [13]. Meskipun demikian, model pengamanan di atas tidak memberikan autentikasi pada pesan yang diterima.

Seiring dengan perkembangan aplikasi pengiriman pesan IM, telah dikembangkan metode pengamanan menggunakan sistem kriptografi berdasarkan identitas dapat memberikan autentikasi yang cukup baik dan komunikasi yang lebih aman pada sisi *server* dan *client*. Sistem yang dibangun menggunakan onsep kriptografi berdasarkan identitas ini dianggap bisa menghasilkan sistem IM yang lebih sederhana dan efisien dibandingkan dengan sistem yang sudah ada.

5. Kriptografi pada Pesan Instant Messaging

Penemuan kelemahan pesan melalui analisa data dan *sniffing* menuntut pengembangan metode keamanan yang lebih baik pada sistem IM sehingga dapat menjaga integritas data dan tidak mengalami perubahan pada saat data diterima oleh penerima.

Dalam perkembangan dunia internet abad ke-21 berbagai macam teknik telah dikembangkan untuk mengamankan pesan IM. Pada saat ini bentuk enkripsi yang digunakan bekerja dengan memanfaatkan algoritma enkripsi simetris dan asimetris untuk mengamankan sebuah pesan. Meskipun demikian, beberapa IM publik bersifat komersial saat ini ternyata tidak melakukan proses enkripsi pesan sama sekali ketika melakukan pengiriman pesan melewati jalur internet dengan kata lain, pesan dibiarkan terbuka (*plaintext*). Hal ini tentu sangat riskan terhadap aksi kejahatan [14]. Oleh karena itu diperlukan proses enkripsi pesan sebelum ditransmisikan melalui Internet. Tahap enkripsi pesan diilustrasikan pada gambar 4.



Gambar 4 : Skema enkripsi dan dekripsi pesan menggunakan kunci

Keterangan :

- $X = \textit{plaintext}$
- $Y = \textit{chiphertext}$
- $K = \textit{secret key}$
- $E = \textit{algoritma enkripsi}$
- $D = \textit{algoritma dekripsi}$

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa proses enkripsi pesan atau informasi X dengan suatu kunci K disandikan menjadi informasi Y , pada proses dekripsi informasi Y dengan kunci K akan disandikan menjadi pesan semula yaitu X . Dimana pesan X adalah *plaintext* dan Y adalah *chiphertext*.

Selain itu, perkembangan IM yang pesat menuntut penggunaan protokol yang aman dalam melakukan komunikasi data. Pendekatan melalui protokol *Off The Record* (OTR) telah dilakukan untuk meningkatkan keamanan pesan tersebut, protokol ini bekerja dengan memanfaatkan enkripsi yang cukup kuat yaitu dengan algoritma kunci simetri AES, pertukaran kunci menggunakan konsep Diffie Helman, menggunakan fungsi Hash SHA-1, Dengan konsep komunikasi berbasis OTR, aplikasi IM menyediakan dukungan dalam pengiriman pesan IM yang bersifat privat. Metode ini pengamanan dimulai sejak user mengaktifkan OTR. Setelah OTR diaktifkan, pengguna IM dapat menggunakan saluran komunikasi khusus yang terenkripsi [15]

6. Ringkasan

Perkembangan IM yang pesat memunculkan berbagai risiko yang bisa terjadi kapan saja. Risiko akibat lemahnya sistem IM yang digunakan antara lain: Kehilangan informasi, Impersonasi, pencurian identitas, pencurian *Message Log* dan pelanggaran hak cipta.

Di dalam membangun sistem IM, arsitektur yang banyak digunakan adalah arsitektur berbasis *client-server* dan *peer-to-peer*. Arsitektur *client-server* bekerja dengan memanfaatkan *server* sebagai pusat komunikasi dan manajemen IM, sedangkan sistem berbasis arsitektur P2P lebih mengedepankan komunikasi langsung antar *peer* tanpa harus tergantung pada *server*. Penerapan IM berbasis *client-server* dan P2P juga memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing.

Di dalam membangun sistem IM yang aman memerlukan beberapa model pengamanan. Model pengamanan meliputi: penggunaan kombinasi RSA dan Triple DES, pengamanan menggunakan fungsi Hash hingga menggunakan protokol IM yang dianggap aman yakni protokol Jabber.

Referensi

- [1] U. Ali, S. J. Nawaz, A. G. K. Jadoon, and S. A. Khan, "Mobile-to-mobile IM: A real time chatting system for GPRS networks," 2005, vol. 2005, pp. 92–97.
- [2] Chung. H. Y, Tzong. Y. K, TaeNam. A and Chia-Pei. L, "Design and Implementation of a Secure Instant Messaging Service based on Elliptic-Curve Cryptography," *Journal of Computers* Vol.18, No.4, January 2008.
- [3] S. O'Sullivan, "Instant Messaging vs. instant compromise," *Netw. Secur.*, vol. 2006, no. 7, pp. 4–6, 2006.
- [4] D. Casey, "Building a secure instant messaging environment," *Netw. Secur.*, vol. 2007, no. 1, pp. 18–20, 2007.
- [5] S. Kim and C. S. Leem, "Security of the internet-based instant messenger: Risks and safeguards," *Internet Res.*, vol. 15, no. 1, pp. 88–98, 2005.
- [6] C.-J. Wang, W.-L. Lin, and H.-T. Lin, "Design of an instant messaging system using identity based cryptosystems," 2013, pp. 277–281.
- [7] M. Serik and G. B. Balgozhina, "Instant messaging application for smartphone," *Life Sci. J.*, vol. 11, no. SPEC.ISS.1, pp. 258–262, 2014.
- [8] T. Tahsin, L. F. Choudhury, and M. L. Rahman, "Peer-to-peer mobile applications using JXTA/JXME," 2008, pp. 702–707.
- [9] Bodriagov. O and Sonja. B, "Encryption for Peer-to-Peer Social Networks.," pp. 258–262, 2011.
- [10] Zhijun. L, Weili, Nal L and David.L, "Detecting and Filtering Instant Messaging Spam – A Global and Personalized Approach," IEEE 2005
- [11] Wenping Guo, Zhenlong L, Ying C, Xiaoming Z, "Security Design for Instant Messaging System Based on RSA and Triple DES," *2009 IEEE*
- [12] Yusof. M. K and Faisal A. A, "A Secure Private Instant Messenger," .2011.
- [13] Mohamed H. E, Khaled A, Muhammad K. K, Hassan E. "Secure Instant Messaging Protocol for Centralized Communication Group,". 2011.
- [14] N. B. Al Barghuthi and H. Said, "Social networks IM forensics: Encryption analysis," *J. Commun.*, vol. 8, no. 11, pp. 708–715, 2013.
- [15] A. Nalawade, D. Kamdar, P. Angolkar and S. Gaikwad, "Integrated Instant Messaging System," *IJLTET. J.*, vol. 3, ISSN: 2278-621X, 2014.

Review : Algoritma Kriptografi Untuk Pengembangan Aplikasi Telepon Anti Sadap di Android

Ryan Ari Setyawan¹, Selo Sulisty², Bimo Sunafri Hantono³

Laboratorium Sistem Elektronis

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2 Yogyakarta - 55281

ryan.ari.mti13@mail.ugm.ac.id¹, selo@ugm.ac.id², bhe@ugm.ac.id³

ABSTRAK

Keamanan komunikasi suara melalui telepon saat ini masih sangat rentan terhadap serangan. Berbagai teknik penyadapan atau serangan dan ancaman dapat dilakukan oleh pihak ketiga, baik melalui teknik eavesdropping maupun cryptanalysis. Hal tersebut menunjukkan kebutuhan akan adanya keamanan yang terjamin sangat diperlukan. Penerapan algoritma kriptografi yang memiliki karakteristik keamanan yang baik sangat diperlukan. Dalam paper ini dibandingkan tiga algoritma kriptografi, yang nantinya dipakai dan digunakan untuk pengembangan aplikasi telepon anti sadap dengan memiliki keamanan yang baik.

Dari hasil review maka dapat disimpulkan bahwa algoritma TEA merupakan algoritma yang paling sesuai untuk pengembangan aplikasi telepon anti sadap.

ABSTRACT

The security of voice communication over the telephone is still very vulnerable to attack. Various techniques or attacks and threats tapping can be done by third parties, either through eavesdropping techniques and cryptanalysis. It shows the need for security is indispensable guaranteed. Implementation of cryptographic algorithms that have good safety characteristics is indispensable. In this paper compared three cryptographic algorithms, which will be worn and used for development of secure phone call application by having good security.

From the review it can be concluded that the TEA algorithm is an algorithm that is most appropriate for the development of secure phone call application.

Kata Kunci : *serpent, tiny encryption algorithm, twofish, SIP, VoIP.*

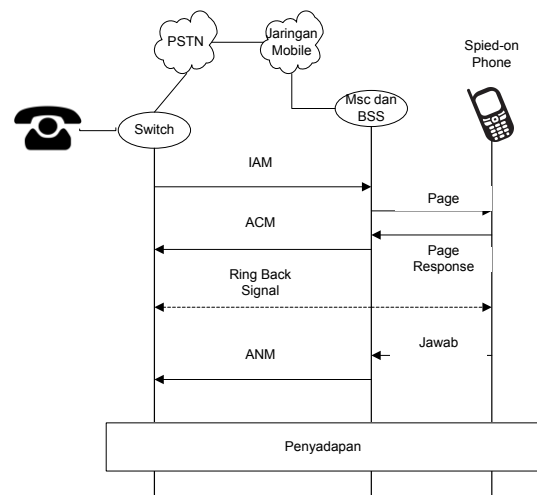
I. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi suara saat ini telah berkembang pesat, kemajuan teknologi yang seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia, menjadi salah satu peran penting. Misalnya dalam penggunaan telepon dalam keseharian, sudah menjadi keseharian seseorang dapat berinteraksi serta saling tukar informasi dengan yang lain.

Penggunaan telepon menjadi salah satu kebutuhan karena manusia dapat berkomunikasi dengan harga terjangkau.

Teknologi yang saat ini sedang terkenal adalah teknologi telepon melalui internet yang memiliki keunggulan tanpa ada batas jarak tempuh dan biaya rendah. Teknologi internet tersebut telah merevolusi telekomunikasi dengan mendukung layanan komunikasi suara, *Voice over Internet Protocol (VoIP)* adalah salah satu teknologi yang paling menonjol [1]. VoIP digunakan sebagai Internet Protocol Telepon, dengan adanya teknologi yang maju, kebutuhan akan melakukan komunikasi yang tanpa batas sangat dibutuhkan dengan memanfaatkan teknologi yang tepat guna. Salah satu protokol yang digunakan dalam VoIP adalah *Session Initiation Protocol (SIP)* dimana karakteristiknya cocok untuk komunikasi multimedia seperti suara.

Namun seiring berkembangnya teknologi tidak mengartikan bahwa komunikasi yang dilakukan telah memiliki keamanan yang sudah terjamin. Beberapa teknik penyadapan dilakukan oleh pihak lain baik dengan cara menanamkan *software* khusus untuk menyadap, misalnya jika pengguna melakukan komunikasi melalui jaringan GSM teknik penyadapan dapat dilakukan melalui *software Spied-on Phone*[2]. Mekanisme penyadapan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Mobile-Phone Eavesdropping*[2]

Gambar 1. Merupakan mekanisme penyadapan dengan memasang *software spied-on phone* terlebih dahulu pada

handphone. Kinerja dari *spied-on phone* tersebut penyadap dapat mendengar setiap percakapan dan korban tidak akan mengalami gangguan saat komunikasi dilakukan[3].

Teknik penyadapan atau serangan oleh pihak lain juga dapat dilakukan dengan cara mencoba memecahkan enkripsi, yakni dengan teknik pencarian kunci. Contohnya adalah dengan melakukan pencarian kesalahan kunci pada enkripsi, jika salah satu kunci pada enkripsi rusak maka kunci yang sebenarnya dapat dicari melalui *bruto force* dengan kompleksitas 2^{16} putaran ke sepuluh dengan matriks *Maximum Distance Separable* [4]

Dari permasalahan tersebut tentu sangatlah diperlukan komunikasi yang aman dan nyaman oleh pengguna, tanpa ada serangan pihak lain yang dapat merugikan. Dengan demikian dibutuhkan suatu solusi pendekatan melalui penggunaan metode yang sesuai untuk pengembangan aplikasi telepon yakni dengan melakukan enkripsi secara *end-to-end*.

Dalam *paper* ini akan dibahas lebih lanjut mengenai teknik serangan dan ancaman, VoIP, SIP dan tiga algoritma kriptografi yakni algoritma serpent, algoritma twofish dan tiny encryption algorithm (TEA).

1.1 Teknik Serangan dan Ancaman

Teknik serangan atau ancaman dapat dilakukan oleh pihak lain dengan berbagai macam cara, baik melalui *eavesdropping* maupun melalui teknik pencarian kunci yakni cryptanalisis. Pada penelitian [2] bahwa teknologi komunikasi seluler dapat di modifikasi untuk dapat melakukan penyadapan dengan menanamkan *software* terlebih dahulu didalam ponsel. Teknik penyadapan tersebut dinamakan *eavesdropping*. Dalam penelitian [5], teknik serangan digunakan dengan menggunakan cryptanalisis, yakni dengan cara memberikan plaintext terlebih dahulu sekitar $(100-(50/2^n))\%$ bit secara acak dan unik, penelitian tersebut membuktikan bahwa keamanan di jaringan VoIP sangat lemah terhadap serangan *bruto force*.

Teknik penyerangan juga dapat dilakukan dengan menggunakan serangan DoC (*Denial-of-Convenience*) yang dilakukan pada penelitian [6], dengan membuat sebuah titik akses Wi-Fi palsu, penyerangan dapat dilakukan ketika smartphone melakukan koneksi ke Wi-Fi tersebut. Beberapa penelitian tersebut membuktikan bahwa berbagai cara dapat dilakukan untuk melakukan penyerangan terhadap komunikasi yang dilakukan. Keamanan data sangat diperlukan dalam melakukan komunikasi, solusinya adalah dengan melakukan penyamaran data dengan cara melakukan enkripsi secara *end-to-end*.

Selain teknik penyerangan yang telah diuraikan diatas, berbagai ancaman lainpun masih banyak terjadi, seperti *interception*. *Interception* merupakan ancaman bagi para pengguna karena pihak lain yang tidak sah dapat memperoleh layanan untuk mengakses data pengguna. Seperti pada penelitian [7], membahas mengenai *voice interception and how preven it*, menjelaskan bahwa yang populer pada saati ini adalah *interception* pada telepon, pihak lain dapat memperoleh hak akses untuk dapat mengakses layanan data para pengguna, dimana cara yang lebih efektif adalah dengan mengakses informasi panggilan untuk dapat mengakses data melalui data transit.

Ancaman juga dapat dilakukan oleh pihak lain dengan cara membuat gangguan ketika komunikasi yang dilakukan

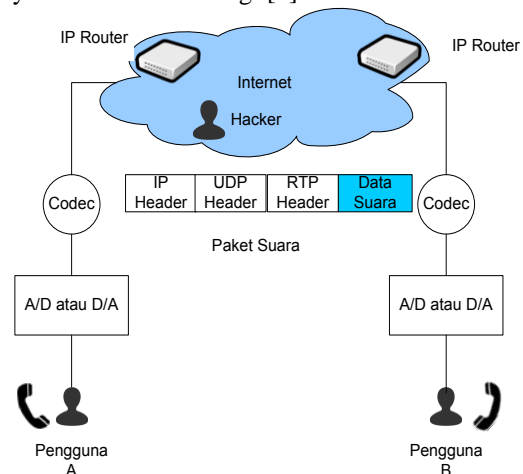
rusak atau hilang sehingga pengguna tidak dapat mengakses layanan tersebut, ancaman yang dilakukan oleh pihak lain ini termasuk klasifikasi dari ancaman berupa *interruption*[8].

Modification[8] merupakan ancaman yang dilakukan dengan cara melibatkan perubahan data yang tidak sah, sehingga data yang dikirimkan ke pengguna tidak sesuai dengan aslinya. Serta ancaman berikutnya adalah *fabrication* [8] yang merupakan ancaman yang dapat dilakukan oleh pihak lain dengan cara menyusup saat melakukan komunikasi.

Solusi yang ditawarkan dalam paper adalah dengan cara melakukan penyamaran atau melakukan enkripsi data untuk dapat meminimalisir berbagai teknik serangan dan ancaman yang telah diuraikan di atas. Sebelum membahas mengenai proses enkripsi, terlebih dahulu akan membahas mengenai VoIP. VoIP sangat diperlukan sebagai media jaringan dan SIP sebagai *signaling* untuk dapat melakukan komunikasi suara melalui internet.

1.2 Voice over Internet Protocol (VoIP)

Layanan Voice over Internet Protocol (VoIP) telah banyak digunakan, VoIP digunakan untuk melakukan komunikasi dengan teknologi kompresi digital suara[9], *communication protocol* dan *wireless network*. VoIP merupakan teknologi yang mengubah data sinyal suara analog menjadi data digital, kinerja VoIP dengan menerapkan *codec* suara untuk kompres suara paket data dan mentransfer data suara terkompresi melalui *internet protocol* (IP). Komunikasi telepon melalui VoIP menjadi lebih murah karena menggunakan frekuensi (*bandwith*) dengan sistem kompresi yang tingkatnya lebih besar dibanding kompresi di selular. Di *Global System for Mobile Communication* (GSM) suara normal dikodekan dalam 64 kilobit dapat ditekan sampai 13,3 kilobit per detik dan kualitas suara lebih baik. Namun di dalam VoIP kompresi suara dilakukan dari kanal 13,3 kilobit menjadi 8 kilobit dan nantinya akan lebih kecil lagi. [1].



Gambar 2. Skema dasar kinerja VoIP [10]

Keuntungan dari VoIP yaitu biaya rendah, *deployment*, *operation* dan *maintenance* yang mudah dibandingkan dengan telepon konvensional. VoIP dapat digunakan untuk aplikasi seperti telepon, video, pesan instan, dan game online. Namun kelemahan menggunakan teknologi VoIP adalah masalah keamanan, karena VoIP ini bekerja melalui

internet dan hardware yang digunakan kebanyakan sama, ini yang menjadi VoIP sangat rentan terhadap serangan. Mekanisme VoIP dapat dilihat pada Gambar 2

VoIP merupakan salah satu bagian dari metode pengiriman suara menggunakan teknik paket *voice*. Metode paket *voice* yang lainnya adalah *Voice over ATM* dan *Voice over frame relay*. Semua jaringan paket *voice* menggunakan saran paket jaringan, dari arsitektur tersebut dapat ditinjau dari dua segi yang berbeda yaitu *voice agent* dan *packet network* itu sendiri. *Voice agent* sangat menentukan kualitas suara yang ditransmisikan pada jaringan VoIP. VoIP juga memiliki dua komponen yaitu *voice coding* dan *signaling*[10]

1. Voice coding

Suara manusia dan semua suara yang dapat didengar merupakan sinyal analog. PSTN mentransmisikan sinyal analog memiliki banyak kelemahan. PSTN merubah sinyal suara dari telepon dirubah menjadi format digital. Untuk menghemat *bandwidth international telephony union* (ITU) mengeluarkan beberapa standar [11]:

- G.711 *voice coding* PCM dengan bandwidth 64 Kbps
- G.726 *voice coding* ADPCM dengan bandwidth 40, 32, 24 dan 16 Kbps
- G.728 *voice coding* CELP dengan bandwidth 16 Kbps
- G.729 *voice coding* ADPCM dengan bandwidth 32 Kbps
- G.723.1 digunakan untuk aplikasi multimedia dengan bandwidth 5,3 dan 6,3 Kbps.

2. Signaling

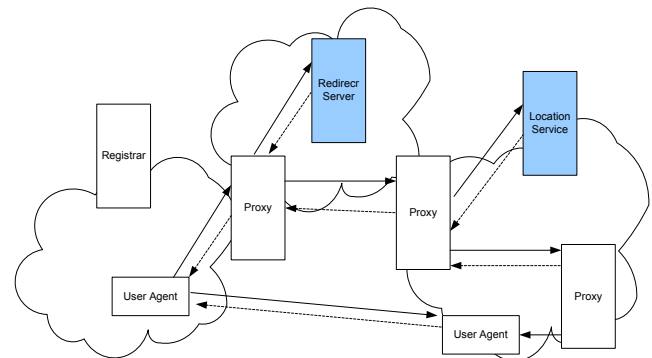
Signalling merupakan bagian lain dari *voice agent* yang bertugas untuk melakukan inisialisasi percakapan. Jaringan VoIP ataupun *packet voice application* yang fungsional harus mampu menyediakan layanan dimana pemanggil cukup menggunakan mekanisme panggilan yang ada untuk terhubung ke *voice agent* dan kemudian mampu dihubungkan ke telepon tujuan yang terhubung pada *voice agent* yang lain. Terdapat dua model *signalling* pada jaringan *packet voice* [11]:

- **Transport model** – Pada model ini, dua *voice agent* saling terhubung satu sama lain dalam konfigurasi *point-to-point*.
- **Translate model** – Pada model ini, sejumlah *voice agent* dapat terhubung ke jaringan yang mengerti metode *signalling* yang digunakan. *Voice agent* harus mampu melakukan mapping dari nomor telepon menjadi IP, *Frame Relay*, atau ATM address sesuai dengan teknologi yang digunakan melalui servis lain yang mampu menunjukkan *voice agent* yang terhubung ke nomor telepon tujuan.

1.3 Protokol SIP

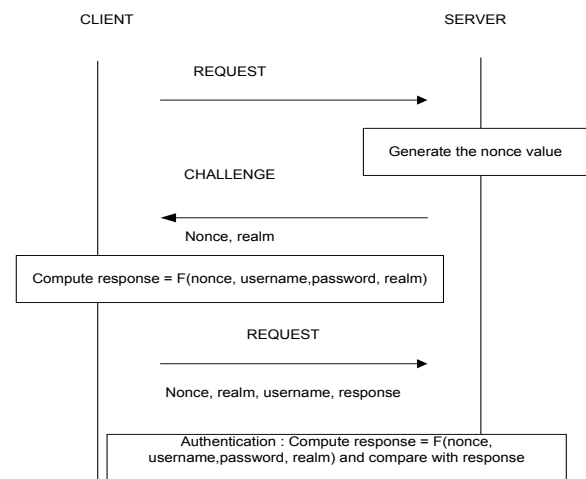
Selain VoIP, protokol yang dibahas dalam paper ini adalah *Session Initiation Protocol* (SIP). SIP adalah *protocol signaling* lapisan aplikasi yang menggunakan berbasis *text message* untuk membangun, memodifikasi dan mengakhiri komunikasi multimedia antara dua pengguna atau lebih. Dalam SIP, identitas pemanggil ditangani oleh *Transmission Control Protocol* (TCP) atau *user datagram*

protocol (UDP) [12]. SIP didefinisikan sebagai *communication procedur* untuk *signalling* dan *call control* dari VoIP. SIP terdiri dari *registrar server*, *proxy server* dan *user agent* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Arsitektur SIP[12]

Mekanisme otentikasi yang diusulkan dalam SIP spesifikasi otentikasi berbasis HTTP. SIP adalah klien *protocol server* sehingga otentikasi, sebagian besar SIP menggunakan *protocol digest* sebagai mekanisme otentikasi[13]. Mekanisme otentikasi SIP dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prosedur Otentikasi SIP[13]

Pada Gambar 4. dijelaskan bahwa mekanisme otentikasi di SIP adalah sebagai berikut :

Langkah 1. *Client* → *server* : *REQUEST*

Client mengirimkan *request* ke *server*

Langkah 2. *Server* → *client* : *CHALLENGE* (*nonce*, *realm*)

Server mengirimkan *message response* ke *nonce value* dan *realm* ke *client*. *Response* sebagai *error message requesting authentication*.

Langkah 3. *Client* → *server* : *RESPONSE* (*nonce*, *realm*, *username response*)

Client merespon, dengan menerima *nonce value* baru, yakni *username* dan *password*. Kemudian *client* mengirimkan kembali *request message* dengan *response value*, *username*, *nonce value* dan *realm*.

Langkah 4. Sesuai dengan *username*, *server* melakukan validasi *password client*. Kemudian *server* memverifikasi apakah *nonce* adalah benar, jika sudah benar *server* melakukan komputasi F (*nonce*, *username*, *password*, *realm*). Jika semua cocok maka *server* mengotentikasi identitas dari klien.

1.4 Keamanan VoIP and SIP

Keuntungan dari VoIP adalah biaya yang murah, operasi yang mudah dan integrasi aplikasi data yang baik untuk komunikasi suara melalui jaringan telepon. Namun VoIP sangat rentan terhadap serangan karena paket suara yang dikirimkan melalui internet publik yang mudah diketahui oleh pihak lain[14]. Perlunya enkripsi dalam paket data VoIP sebelum dikirimkan sangat dibutuhkan.

VoIP secure for end-to-end [15] menggunakan *elliptic-curve* dengan memakai kunci dinamis. *Performance* yang didapatkan adalah 400 paket data *voice* yang dikirimkan masih membutuhkan *delay* waktu yang cukup lama yakni antara 5-160ms. Sedangkan yang diperlukan dalam komunikasi suara adalah data yang kontinyuitas dan *real-time*.

Begitupun juga penggunaan *Session Initiation Protocol* (SIP) yang banyak digunakan dalam komputasi *mobile*[16][17]. SIP juga tidak lepas dari serangan oleh pihak lain, misalnya penggunaan algoritma *Elliptic Curve Cryptographic* (ECC) untuk mengetahui kecepatan dan ukuran blok chiper yang digunakan [18].

II. METODE

Berdasarkan beberapa hal yang telah diuraikan sebelumnya dalam *paper* ini, salah satu solusinya adalah dengan cara melakukan enkripsi. Tujuannya agar pengguna merasa aman dan nyaman dalam melakukan komunikasi suara melalui telepon.

Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan studi tentang algoritma yang sesuai. Dalam hal ini perlu dilakukan tentang kelebihan dan kekurangan beberapa algoritma enkripsi yang ada untuk aplikasi VoIP. Dalam *paper* ini akan dibandingkan algoritma serpent, algoritma twofish dan Tiny Encryption Algorithm (TEA). Ketiga algoritma tersebut merupakan algoritma *Advanced Encryption Standard* (AES) yang memiliki peringkat terbaik[19].

2.1 Algoritma Serpent

Merupakan algoritma AES memiliki desain yang sangat konservatif dan implementasi yang efisien. Algoritma ini merupakan algoritma yang sangat kuat, yang sampai saat ini belum ada laporan serangan dari kriptanalisis yang berhasil merusaknya. Algoritma ini juga tidak dipatenkan sehingga penggunaannya tidak memerlukan biaya.

Serpent mengenkripsi 128-bit plaintext P ke 128-bit ciphertext C dalam 32 putaran di bawah kendali 33 dari 128-bit subkeys $K_0, K_1, K_2, \dots, K_{32}$. Penggunaan yang mendukung kunci sebesar 128, 192, atau 256 bit[20]. Chipper ini

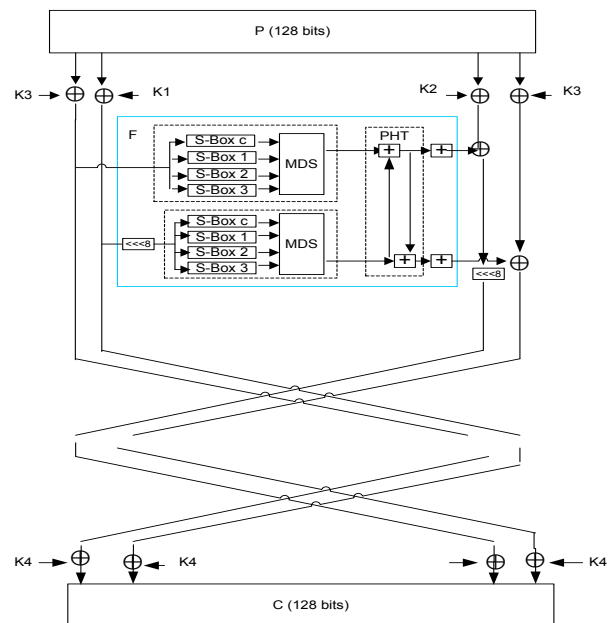
berbentuk Substitution-Permutation (SP-Network) yang merupakan rangkain operasi matematis yang saling berhubungan. SP-Network mengubah blok bit masukan menjadi suatu bit keluaran.

Kekurangan algoritma serpent diantaranya dapat di analisis dengan membuat serangan melalui metode *Rectangle Algebraic* dengan serangan 10 putaran serpent-256[21]. Metode tersebut menganalisis bahwa 10 putaran serpent-256 membutuhkan $22 \times 2^{144} \times 2^{10} = 2^{155}$ *pairs of selective plaintext*, 2^{155} waktu dari 10 putaran enkripsi dan 2^{155} waktu dari 10 putaran deskripsi. Memori yang tersimpan adalah $2^{131.8}$ menebak grup kunci untuk 10 bit dari 10 putaran serpent 256 kunci enkripsi.

Algoritma serpent walaupun dikatakan sangat kuat pada penelitian [20], namun berbagai serangan tersebut dengan melalui metode *Rectangel* masih dapat digunakan untuk mencari kunci walaupun dengan membutuhkan waktu yang lama.

2.2 Algoritma Twofish

Algoritma twofish terdiri dari 128 bit block chiper yang mampu menerima variabel panjang kunci sampai 256 bit. Struktur twofish menggunakan struktur *Feistel-like* 16-putaran dengan tambahan pada *whitening* pada masukan dan keluaran. Satu-satunya unsur *non-feistel* adalah 1 bit rotasi. Perputaran dapat dipindah ke dalam fungsi F untuk membuat stuktur feistel murni, namun memerlukan suatu tambahan perputaran kata-kata yang tepat sebelum keluaran *whitening* [22]. Struktur algoritma twofish dapat dilihat pada Gambar 5.



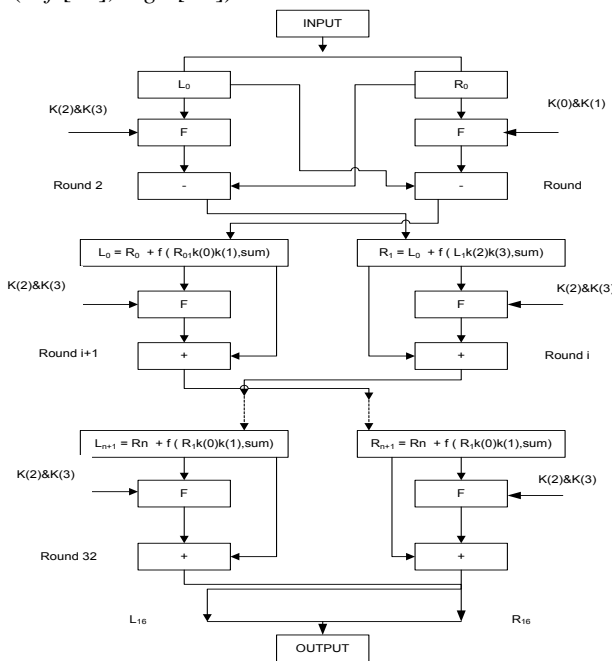
Gambar 5. Diagram blok algoritma twofish [22]

Enkripsi dan deskripsi algoritma twofish seperti pada Gambar 5, proses yang pertama kali dilakukan yakni Plaintext dipecah menjadi empat kata 32-bit. Pada langkah *whitening* masukan terdapat xor dengan empat kunci. Pada

setiap putaran, dua kata-kata pada sisi kiri digunakan sebagai masukan kepada fungsi g . Fungsi g terdiri dari empat *byte-wide S-Box key-dependent* yang diikuti dengan matrik MDS. Hasil kedua fungsi g dikombinasikan menggunakan *Pseudo Hadamard Transform (PHT)*[22], dan ditambahkan dua kunci.

2.3 Algoritma TEA

Algoritma TEA merupakan algorithma yang mudah untuk digunakan dalam bahasa pemrograman dan bahasa mesin[23]. Tujuan dari algoritma TEA adalah meminimalkan *memory* dan memaksimalkan kecepatan. Desain Algoritma TEA ditargetkan untuk *embedded* dan *mobile systems* yang ditujukan untuk lebih spesifik di memori dan kecepatan[24]. Operasi dasar TEA sangat sederhana dan mudah dipahami, TEA pada dasarnya adalah sebuah blok *plaintext* menjadi dua bagian yakni *Left* [0] dan *Right* [0] dengan *chipertext* yang direpresentasikan dengan C (*Left*[64], *Right*[64]).



Gambar 6. Algoritma TEA [24]

Pada Gambar 6, proses diawali dengan *input*-bit teks terang sebanyak 64-bit. Kemudian 64-bit teks terang tersebut dibagi menjadi dua bagian, yaitu sisi kiri (L_0) sebanyak 32-bit dan sisi kanan (R_0) sebanyak 32-bit. Setiap bagian teks terang akan dioperasikan sendiri-sendiri. R_0 (z) akan digeser kekiri sebanyak empat kali dan ditambahkan dengan kunci $k(0)$. Sementara itu z ditambah dengan sum (δ) yang merupakan konstanta. Hasil penambahan ini di-XOR-kan dengan penambahan sebelumnya. Kemudian di-XOR-kan dengan hasil penambahan antara z yang digeser kekanan sebanyak lima kali dengan kunci $k(1)$. Hasil tersebut kemudian ditambahkan dengan L_0 (y) yang akan menjadi R_1 [24].

Sisi sebelah kiri akan mengalami proses yang sama dengan sisi sebelah kanan. L_0 (y) akan digeser kekiri sebanyak empat kali lalu ditambahkan dengan kunci $k(2)$. Sementara itu, Y ditambah dengan sum (δ). Hasil penambahan ini di-XOR-kan dengan penambahan sebelumnya. Kemudian di-XOR-kan dengan hasil penambahan antara Y yang digeser ke kanan sebanyak lima kali dengan kunci $k(3)$. Hasil tersebut kemudian ditambahkan dengan R_0 (Z) yang akan menjadi L_1 [24].

Karakteristik algoritma ini walaupun sangat sederhana namun memiliki tingkat keamanan yang cukup baik yakni sistem penyandian menggunakan proses *feistel network*. Hal tersebut dimaksudkan untuk menciptakan sifat non-lineritas serta pergeseran dua arah (ke kiri dan ke kanan) menyebabkan semua bit kunci bercampur secara berulang-ulang. Teknik tersebut dapat mencegah penggunaan *exshautive search* yang dilakukan cryptanalisis secara efektif.

Berdasarkan penjelasan mengenai tiga algoritma kriptografi yang telah diuraikan di atas maka dihasilkan perbandingan karakteristik tiga algoritma kriptografi dengan panjang bit sama yakni 128-bit seperti pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Perbandingan karakteristik algoritma enkripsi

Serpent	<ul style="list-style-type: none"> a. 128 bit b. 32 putaran jaringan SP c. Menggunakan konvensi little endian d. Pencampuran kunci : pada setiap putaran 128-bit subkey K_i di XOR kan dengan B_i secara langsung e. S-Box : kombinasi 128-bit input dan kunci sebagai 32-bit. f. 32-bit dari salinan s-box dieksekusi sehingga menghasilkan S_i ($B_i \oplus K_i$) g. Mengalami Transformasi linear h. Proses deskripsi berbasis feistel chiper
Twofish	<ul style="list-style-type: none"> a. 128 bit b. Dibagi menjadi 4 bagian, masing-masing 32 bit c. Menggunakan konvensi little-endian d. Dua bagian bit akan menjadi kanan, dan dua bagian bit lainnya akan menjadi bagian kiri. e. Bit Input Akan di XOR kan dulu dengan 4 bagian kunci f. Mengalami proses whitening g. Menggunakan struktur feistel network terdiri dari 16 iterasi h. Proses deskripsi berbasis feistel chiper
TEA	<ul style="list-style-type: none"> a. 128 Bit b. Dibagi menjadi dua bagian yakni 64 kiri dan 64 kanan c. Pergeseran (Shift), masing-masing 64 bit digeser ke kiri 4 kali dan digeser ke kanan 5 kali. d. Penambahan, setelah digeser maka akan ditambahkan kunci $k[0]$, $k[3]$, sedangkan Y dan Z awal ditambah sum (δ) e. Setelah ditambah masing-masing register mengalami XOR dengan satu putaran. f. Key Schedule, $k(0)$ dan $k(1)$ digunakan untuk round ganjil sedangkan $k(2)$ dan $k(3)$ konstan digunakan untuk genap g. Proses deskripsi berbasis feistel chiper namun kunci penggunaanya dibalik.

Ada *trade off* antara kecepatan dan tingkat keamanan. Tingkat keamanan direpresentasikan panjang bit, dengan panjang bit yang sama TEA menggunakan memori yang lebih sedikit, dan kecepatan lebih maksimal.

Pada Tabel 2.1 tampak algoritma yang paling sesuai untuk mengembangkan aplikasi telepon anti sadap di *smartphone* android adalah algoritma TEA, karena karakteristik algoritma TEA memiliki kemampuan untuk memaksimalkan kecepatan serta meminimalkan *memory*. Teknik pergeseran, penambahan, peng-XOR-an dan *key schedule* pada TEA bertujuan untuk menghindari *exshautive search* yang dilakukan secara efektif oleh kriptanalisis.

III. KESIMPULAN

Kontribusi utama penelitian ini adalah rekomendasi algoritma yang paling sesuai untuk pengembangan aplikasi telepon anti sadap di android, yaitu algoritma TEA. Algoritma yang direkomendasikan memiliki tingkat keamanan yang cukup baik (128-bit) yakni memiliki teknik pergeseran, penambahan, peng-XOR-an dan *key schedule* untuk menghindari *exshautive search* yang berpengaruh pada penggunaan memori yang lebih sedikit dan kecepatan lebih besar dibandingkan algoritma lainnya.

Perlu diketahui mekanisme pengiriman paket data yang sebenarnya terjadi pada telepon adalah secara *real-time*. Eksplorasi mengenai performa dari algoritma TEA yang diusulkan nantinya akan dilakukan penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. P. Singh, S. Singh, J. Singh, and S. A. Khan, "VoIP: State of art for global connectivity - A critical review," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 37, no. 1, pp. 365–379, 2014.
- [2] Yi-Bing Lin and Meng-Hsun Tsai, "Eavesdropping Through Mobile Phone," *Veh. Technol. IEEE Trans.*, vol. 56, no. 6, pp. 3596–3600, Nov. 2007.
- [3] G. Cattaneo, G. de Maio, and U. Ferraro Petrillo, "Security issues and attacks on the GSM standard: A review," *J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 19, no. 16, pp. 2437–2452, 2013.
- [4] S. Das and J. Bhaumik, "A Fault Based Attack on MDS-AES."
- [5] C. Li, S. Li, D. Zhang, and G. Chen, "Cryptanalysis of a data security protection scheme for VoIP," *Vis. Image Signal Process. IEE Proc.*, vol. 153, no. 1, pp. 1–10, Feb. 2006.
- [6] G. R. Mendez, M. A. M. Yunus, and S. C. Mukhopadhyay, "A WiFi based smart wireless sensor network for monitoring an agricultural environment," *Instrum. Meas. Technol. Conf. I2MTC 2012 IEEE Int.*, pp. 2640–2645, May 2012.
- [7] S. Bransfield-Garth, "Voice interception and how to prevent it," *Comput. Fraud Secur.*, vol. 2009, no. 8, pp. 11 – 13, 2009.
- [8] B. Jung, I. Han, and S. Lee, "Security threats to Internet: a Korean multi-industry investigation," *Inf. Manage.*, vol. 38, no. 8, pp. 487 – 498, 2001.
- [9] B. Son, E. Nahm, and H. Kim, "VoIP encryption module for securing privacy," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 63, no. 1, pp. 181–193, 2013.
- [10] S. Kukkar, "Secure Voip Call on Android Platform," *GJCST-E Netw. Web Secur.*, vol. 12, no. 12, 2012.
- [11] K. Kim and C. Wang, "Enterprise VoIP in Fixed Mobile Converged Networks," in *Multimedia Analysis, Processing and Communications*, Springer, 2011, pp. 585–621.
- [12] H.-L. Yeh, T.-H. Chen, and W.-K. Shih, "Robust smart card secured authentication scheme on SIP using Elliptic Curve Cryptography," *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 36, no. 2, pp. 397–402, 2014.
- [13] L. Wu, Y. Zhang, and F. Wang, "A new provably secure authentication and key agreement protocol for {SIP} using {ECC}," *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 31, no. 2, pp. 286 – 291, 2009.
- [14] S. K. Talha and B. I. A. Barry, "Evaluating the impact of AES encryption algorithm on Voice over Internet Protocol (VoIP) systems," *Comput. Electr. Electron. Eng. ICCEEE 2013 Int. Conf.*, pp. 686–691, Aug. 2013.
- [15] C.-H. Wang and Y.-S. Liu, "A dependable privacy protection for end-to-end VoIP via Elliptic-Curve Diffie-Hellman and dynamic key changes," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 34, no. 5, pp. 1545 – 1556, 2011.
- [16] T. Bessis, V. K. Gurbani, and A. Rana, "Session initiation protocol firewall for the IP multimedia subsystem core," *Bell Labs Tech. J.*, vol. 15, no. 4, pp. 169–187, 2011.
- [17] S. A. Baset, V. K. Gurbani, A. B. Johnston, H. Kaplan, B. Rosen, and J. D. Rosenberg, "The session initiation protocol (SIP): An evolutionary study," *J. Commun.*, vol. 7, no. 2, pp. 89–105, 2012.
- [18] Q. Pu and S. Wu, "Secure and efficient SIP authentication scheme for converged VoIP networks," *Int. Arab J. Inf. Technol.*, vol. 9, no. 6, 2012.
- [19] J. Nechvatal, E. Barker, L. Bassham, W. Burr, M. Dworkin, J. Fotti, and E. Roback, "Report on the development of the Advanced Encryption Standard (AES)," *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, vol. 106, no. 3, pp. 511–577, 2001.
- [20] B. Najafi, B. Sadeghian, M. Saheb Zamani, and A. Valizadeh, "High speed implementation of serpent algorithm," in *Proceedings of the International Conference on Microelectronics, ICM*, 2004, pp. 718–721.
- [21] Wenlue Chen, Boli Li, and Zhihua Hu, "Rectangle Algebraic Attack of Serpent Encryption Algorithm," *Intell. Inf. Process. Trust. Comput. IPTC 2010 Int. Symp.*, pp. 573–576, Oct. 2010.
- [22] Pil-Joong Kang, Seon-Keun Lee, and Hwan-Yong Kim, "Study on the design of MDS-M2 Twofish cryptographic algorithm adapted to wireless communication," presented at the Advanced Communication Technology, 2006. ICACT 2006. The 8th International Conference, 2006, vol. 1, p. 4 pp.–695.
- [23] S. J. Shepherd, "The Tiny Encryption Algorithm," *Cryptologia*, vol. 31, no. 3, pp. 233–245, 2007.
- [24] S. A. Y. Hunn, S. Z. binti Md Naziri, and N. binti Idris, "The development of tiny encryption algorithm (TEA) crypto-core for mobile systems," presented at the Electronics Design, Systems and Applications (ICEDSA), 2012 IEEE International Conference on, 2012, pp. 45–49.

EVALUASI STOP WORD DAN STEMMING RETRIEVAL TEKS MENGGUNAKAN LATENT SEMANTIC INDEXING PADA BAHASA INDONESIA

Sahirul Alim T.B.¹, Teguh Bharata Adji², Widyawan³

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika no. 2 Yogyakarta-55281, Indonesia
sahirul.mti.18b@mail.ugm.ac.id¹, adji@ugm.ac.id², Widyawan@ugm.ac.id³

Abstract—Text information is implemented in many media such as text books, word processing files, and websites. It grows continuously that there is a need a technique to get the required documents quick and accurate. Many studies that attempt to resolve the issue. Several prior studies used different techniques and languages using stemming and stop word. Some of those studies gave different numbers with recall and precision testing. This study uses the LSI (Latent Semantic Indexing) method with SVD (Singular Value Decomposition) technique for Indonesian language with Porter stemming methods then evaluate with recall and precision when using stemming and stop word, not using stemming and using stop word, using stemming without stop word, without using stemming and stop word. The result by using recall and precision word indicated that stop word can improve the recall while the use of stemming has no impact and the best precision is obtained by not using stop word while stemming has no impact.

Abstrak—Informasi teks banyak diimplementasikan contohnya dalam buku, file word processing, dan dalam website. Informasi tersebut akan bertambah sehingga dibutuhkan cara untuk mendapatkan dokumen yang dibutuhkan dengan cepat dan akurat. Banyak penelitian yang berusaha menyelesaikan masalah tersebut. Beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan teknik dan bahasa yang berbeda menggunakan stemming dan stop word. Beberapa penelitian tersebut memberikan hasil yang berbeda-beda dalam pengujiannya dengan recall dan precision. Penelitian ini menggunakan metode LSI (Latent Semantic Indexing) dengan teknik SVD (Singular Value Decomposition) pada bahasa Indonesia dengan metode stemming Porter kemudian mengujinya dengan recall dan precision jika menggunakan stemming dan stop word, tidak menggunakan stemming menggunakan stop word, menggunakan stemming tanpa stop word, tidak menggunakan stemming dan stop word. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan pengujian recall dan precision adalah stop word dapat meningkatkan recall sedangkan penggunaan stemming tidak terlalu berpengaruh dan precision yang paling baik adalah tidak menggunakan stop word sedangkan stemming tidak terlalu berpengaruh.

Kata kunci—Latent Semantic Indexing, Singular Value Decomposition, Stemming, Stop Word, Recall, Precision

I. PENDAHULUAN

Informasi teks banyak diimplementasikan contohnya dalam buku, file word processing, dan dalam website.

Teks merupakan naskah tertulis berupa kata-kata asli dari pengarang [1]. Kata-kata tersebut disampaikan dari bahasa yang berbeda menurut pengarang yang bersangkutan.

Informasi berupa teks dalam sebuah dokumen akan bertambah. Pada suatu waktu kumpulan dokumen tersebut dibutuhkan untuk sebuah pengetahuan. Banyaknya dokumen membuat kesulitan tersendiri dalam mendapatkan informasi dalam sebuah dokumen teks. Masalah tersebut membuat para peneliti mengembangkan Information Retrieval. IR (Information Retrieval) adalah menemukan bahan (yang biasanya berbentuk dokumen) yang bersifat tidak terstruktur (biasanya berbentuk teks) dari koleksi yang besar untuk kebutuhan informasi (biasanya tersimpan didalam komputer). Istilah data tidak terstruktur berhubungan dengan data yang tidak jelas, bersifat simantik, mudah untuk dipahami oleh struktur komputer [2]. Contoh mudah pengaplikasian dari IR adalah program untuk mencari dokumen berdasarkan kata kunci yang dimasukkan.

Salah satu cara untuk mencari pola kesamaan kata kunci yang dimasukkan dengan sejumlah dokumen yang dimiliki adalah dengan Latent Semantic Indexing (LSI) yang merupakan bagian dari aljabar linier. Metode tersebut dapat menyelesaikan masalah ketidaksesuaian kosakata antara pengguna dengan penulis. Asumsinya adalah dengan struktur pokok atau "laten" yang direpresentasikan oleh kesesuaian antar kata [2]. LSI mengubah dokumen menjadi matriks kata sehingga membentuk matriks persegi yang berisi kolom merepresentasikan dokumen dan baris merepresentasikan jumlah kata dalam dokumen kemudian memasukkan kata kunci untuk mendapatkan skor kesamaan.

Sebuah dokumen yang langsung diubah ke matriks membuat ukuran dimensi matriks menjadi besar sehingga pengurangan ukuran matriks adalah dengan melakukan stemming dan stop word. Stemming dilakukan untuk mengurangi variasi bentuk kata yang pada dasarnya adalah sama sedangkan stop word adalah pengurangan kata yang dianggap tidak penting. Selain mengurangi dimensi matriks stemming dan stop word juga memastikan kata-kata yang penting saja yang akan dijadikan pembandingan dengan kata kunci. Penggunaan stemming dan stop word pernah digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Roslan Sadjirin menerapkan LSI dengan menggunakan stemming

dan *stop word* pada bahasa Malaysia kemudian membandingkannya dengan *recall* dan *precision* terhadap metode *term-matching* memberikan hasil penggunaan LSI lebih baik [3]. Sedangkan untuk pengujian *stemming* yang pernah dilakukan oleh Yeni, H yang diterapkan dengan menggunakan SDD (*Semi Discrete Decomposicion*) pada bahasa Indonesia mengungkapkan penggunaan *stemming* lebih baik digunakan dibanding tidak menggunakannya dengan nilai *precision* 95% pada k sama dengan 40 [4]. Untuk pengujian yang berkaitan dengan *stop word* pernah dilakukan oleh A. N. K. Zaman menggunakan LSI pada bahasa Inggris menghasilkan performa penggunaan *stop word* lebih baik [5].

II. PENGOLAHAN DOKUMEN

Sebelum ditentukan nilai kesamaan antara kata kunci dengan dokumen akan dilakukan beberapa pengolahan dokumen agar dapat dilakukan perhitungan kesamaan. Konsep pengolahan dokumen tersebut disebut *indexing* yang didalamnya terdapat *tokenization*, *stemming* dan *stop word*.

A. Indexing

Indexing adalah transformasi dari data yang diterima ke struktur data yang dapat dicari [6]. Sebuah dokumen elektronik biasanya berbentuk *file* yang didalamnya terdapat kumpulan kata. Kumpulan kata itu akan dibentuk sebuah pola pengenalan dokumen.

B. Tokenization

Memberikan urutan karakter dan mendefinisikan unit dokumen, *tokenization* adalah mencacah kalimat kedalam bagian-bagian [2]. Proses tersebut dimulai dengan membaca dokumen yang dimiliki, dilanjutkan dengan dipecah perkata dan menghilangkan tanda baca serta angka. Contohnya dalam kalimat "Saya sedang belajar Information Retrieval?".

Hasil tokenization:

Saya	sedang	belajar	information	Retrieval
------	--------	---------	-------------	-----------

Terlihat dari contoh diatas terdapat kalimat "Saya sedang belajar *Information Retrieval*?" kemudian proses *tokenization* dilakukan dengan memecah kata dalam kalimat tersebut menjadi 5 pecahan yaitu saya, sedang, belajar, *Information* dan *Retrieval*.

C. Stemming

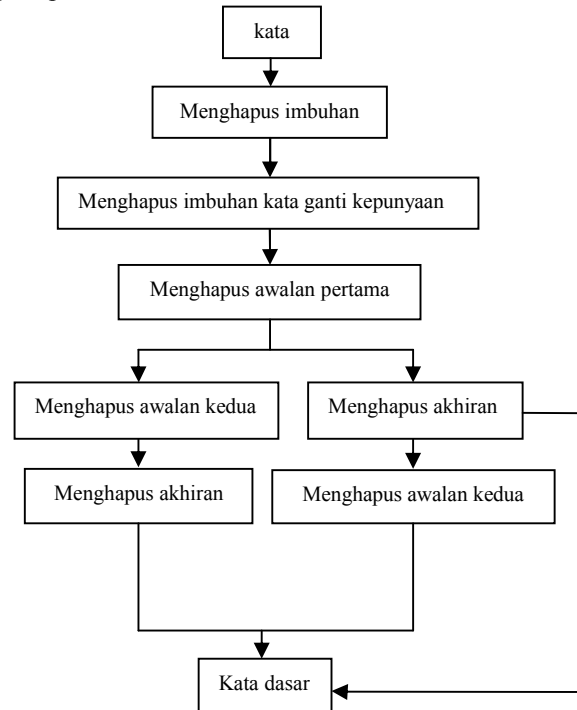
Stemming adalah proses perubahan kata-kata yang bukan kata dasar yang ada di dalam dokumen menjadi kata dasar semua. *Stemmer* yang digunakan adalah Porter Stemmer. Porter *stemmer* berbasis pada akhiran dalam bahasa Inggris (sekitar 1200) sebagian besar terdiri dari kombinasi yang lebih kecil dan sederhana akhirnya [7]. Proses pencarian *root* kata menggunakan 5 rangkaian tahap [8]. Proses tersebut dapat dilihat pada gambar 1. Berikut adalah proses porter *stemming*:

- menghapus imbuhan yaitu -kah, -lah, -pun,
- menghapus imbuhan kata ganti kepunyaan yaitu -ku, -mu, -nya,
- menghapus awalan pertama yaitu meng-, meny-, men-, mem-, me-, peng-, peny-, pen-, pem-, di-, ter-, ke-,

d) jika terdapat awalan ke dua yaitu ber-, bel-, be-, per-, pel-, pe- dihapus sedangkan jika tidak ada awalan ke dua maka akan ke poin f,

e) jika awalan ke dua sudah dihapus maka dihapus akhiran yaitu -kan, -an, -i setelah proses penghapusan maka diperoleh kata dasar,

f) menghapus akhiran -kan, -an, -i maka diperoleh kata dasar tetapi jika belum menjadi kata dasar maka dilakukan penghapusan awalan kedua yaitu bel-, be-, per-, pel-, pe-.



Gambar 1. Proses Porter Stemmer pada Bahasa Indonesia

D. Stop Word

Function word adalah kata yang tidak bermakna dalam dan dari dirinya sendiri sebaliknya digunakan untuk memodifikasi kata lain atau mengindikasikan hubungan gramatikal. Contohnya kata depan, kata ganti, kata sambung. *Function word* itulah yang akan dihilangkan [9]. Selain itu yang perlu dihilangkan adalah kata yang membuat tidak bermakna dalam pencarian [6].

III. PERHITUNGAN KESAMAAN

Proses perhitungan nilai kesamaan antara kata kunci dengan dokumen dilakukan dengan *cosine* tetapi sebelum melakukan perhitungan tersebut dilakukan dekomposisi terlebih dahulu dengan menggunakan SVD.

A. Singular Value Decomposition (SVD)

SVD berbasis pada *theorem* bahwa matriks persegi dapat dibagi menjadi 3 matriks yaitu matriks ortogonal U, matriks diagonal S dan matriks transpose ortogonal V [10]. Terdapat istilah lain dari ketiga hasil matriks dekomposisi yaitu U adalah matriks kiri, V adalah matriks kanan dan S adalah matriks diagonal. Berikut adalah bentuk umum persamaan:

$$A = USV^T \quad (1)$$

A = term-document matriks.

U = matriks dari *eigenvektor* dari matriks $A \cdot A^T$

S = matriks selain nol dari *eigenvalue* matrik U atau V

V^t = tranpose dari *eigenvektor* $A^T \cdot A$.

B. Cosine Similarity

Metode *cosine similarity* mengukur kemiripan antara dua objek berdasarkan sudut yang dibentuk oleh kedua objek tersebut dalam suatu ruangan vektor [11]. Dalam menghitung relevansi maka terdapat dua titik yaitu titik dokumen dengan kalimat atau kata yang dicari. Kedua titik tersebut akan membentuk sudut, sudut tersebutlah yang akan dihitung dengan *cosine*. Berikut adalah rumus *cosine similarity* [6]:

$$\text{SIM}(\text{DOC}_i, \text{QUERY}_j) = \frac{\sum_{k=1}^n \text{DOC}_{i,k} * \text{QTERM}_{j,k}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (\text{DOC}_{i,k})^2 * \sum_{k=1}^n (\text{QTERM}_{j,k})^2}} \quad (2)$$

Dimana $\text{DOC}_{i,k}$ adalah k term dalam bobot vektor untuk i dan $\text{QTERM}_{j,k}$ adalah k term dalam query j . Nilai k terbaik tidak lebih dari $\log n$ [12] dimana n adalah banyaknya kata dalam semua dokumen dikalikan dengan jumlah dokumen sehingga k terbaik dari 2 sampai $\log n$ dengan melakukan percobaan.

IV. METODE PENGUJIAN RETRIEVAL

Pengujian yang digunakan untuk mengetahui seberapa efektif hasil *retrieval* adalah dengan menggunakan *recall* dan *precision*.

Recall adalah rasio hasil pencarian yang benar dari sistem dibagi dengan total dokumen yang relevan [13]. Selain itu *recall* menggambarkan tingkat kebenaran antara hasil pencarian yang sesuai dengan seluruh dokumen yang relevan.

Precision adalah rasio hasil pencarian yang benar dari sistem dibagi dengan total dokumen yang berhasil didapat dari sistem [13]. Selain itu *precision* menggambarkan tingkat kebenaran antara dokumen yang relevan dengan hasil pencarian.

Contoh perhitungan *recall* dan *precision* diketahui:

- 1) dokumen yang relevan dengan kata kunci di dalam semua dokumen berjumlah 10,
 - 2) dokumen yang dapat ditemukan dalam pencarian berjumlah 12,
 - 3) terdapat 10 dokumen relevan yang dapat ditemukan dari 12 dokumen yang ditemukan,
- maka nilai $\text{recall} = \frac{10}{12} = 0.833$ dan $\text{precision} = \frac{10}{10} = 1$

V. METODOLOGI

A. Alat

Alat untuk melakukan pengujian adalah dengan membuat program. Pembuatan alat tersebut menggunakan beberapa *library* yaitu:

a) *Jama-1.0.1.jar* adalah *library java* yang berguna untuk melakukan perhitungan matriks seperti perkalian, invers, transpose dan dekomposisi SVD,

b) *stemming* berbasis PHP yang dibuat oleh Andi Sholihin untuk mencari kata dasar.

Alat berbasis PHP untuk pengolahan dokumen sampai terbentuk matriks dokumen dan *query*. Sedangkan JAVA digunakan untuk melakukan perhitungan dekomposisi sampai perhitungan kesamaan antara kata kunci dengan dokumen.

B. Bahan

Tugas Akhir D3 Teknik Informatika Universitas Sebelas Maret digunakan untuk bahan penelitian yang terdiri dari 3 bidang ilmu yaitu Multimedia, Sistem Informasi dan Jaringan dan Hardware. Masing-masing ilmu berjumlah 30 dokumen yang diambil dilakukan secara acak dari ruang arsip TA Program Studi D3 Teknik Informatika Universitas Sebelas Maret. Jumlah data diambil berdasarkan dalil limit pusat.

Kata kunci yang digunakan berjumlah 12 seperti terlihat pada tabel I.

TABEL I. DAFTAR KATA KUNCI

No	Kata Kunci
1	Sistem informasi
2	Program penilaian
3	Pembuatan game
4	Pembelajaran dengan flash
5	Pembuatan pintu otomatis
6	Multimedia dengan budaya
7	Pembuatan game android
8	Interface jaringan
9	Penggunaan AVR
10	Pembuatan sistem lelang
11	Pembuatan sistem rawat inap
12	Alat sensor suhu

C. Jalannya Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan 2 alur yaitu:

a) pengujian (dengan *recall* dan *precision*) data kecil yaitu abstrak dari laporan TA D3 Teknik Informatika UNS. Data tersebut diuji dengan *recall* dan *precision* pada nilai k maksimum kemudian diterapkan penggunaan *stop word* (baik dengan *stemming* ataupun tidak menggunakan *stemming*) dan tanpa *stop word* (baik dengan atau tanpa *stemming*) untuk dilihat rata-rata tiap penerapan mana yang paling baik,

b) pengujian (dengan *recall* dan *precision*) data besar yaitu keseluruhan laporan TA D3 Teknik Informatika UNS. Data tersebut diuji dengan *recall* dan *precision* pada k maksimum kemudian menerapkan penggunaan *stop word* (baik dengan *stemming* ataupun tidak menggunakan *stemming*) dan tanpa *stop word* (baik

dengan atau tanpa *stemming*) untuk dilihat nilai (*recall* dan *precision*) mana yang paling baik.

Batas bawah nilai kesamaan adalah 0,7 sehingga nilai kesamaan yang dibawah 0,7 tidak diperlihatkan. Batas bawah tersebut diambil dari penelitian sebelumnya oleh Andrian Marcus [12].

VI. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencarian nilai k dilakukan terlebih dahulu sebelum menguji hasil retrieval seperti pada tabel II. Dari tabel tersebut diambil nilai k yang paling kecil sehingga k untuk data kecil adalah 4 dan data besar adalah 5.

TABEL II. BATAS NILAI K.

Jenis	Data Kecil			Data Besar		
	Jml kata	Jml dok	Batas nilai k	Jml kata	Jml dok	Batas nilai k
Menggunakan Stemming dan Stop Word	872	30	4,42	8574	30	5,41
Menggunakan Stemming dan Tanpa Stop Word	1003	30	4,48	8743	30	5,42
Tanpa Stemming dan menggunakan Stop Word	1022	30	4,49	10877	30	5,51
Tanpa Stemming dan Stop Word	1214	30	4,56	11372	30	5,53

Berdasar nilai k maka dapat diperoleh rata-rata *recall* dan *precision* dari tiap data. Tabel III merupakan hasil rata-rata dari *recall* dan *precision* data kecil dan besar tiap tipe pengujian. Untuk *recall* data kecil menunjukkan tidak menggunakan *stemming* dan menggunakan *stop word* paling tinggi sedangkan untuk data besar penggunaan *stop word* (baik menggunakan atau tanpa *stemming*) nilai *recall*-nya sama. Hasil rata-rata *precision* yang paling tinggi untuk data kecil tidak menggunakan *stemming* dan *stop word* sedangkan untuk data besar menggunakan *stemming* dengan tanpa *stop word*.

TABEL III. RATA-RATA RECALL DAN PRECISION.

Jenis	Data kecil		Data besar	
	Recall	Precision	Recall	Precision
Menggunakan Stemming dan Stop Word	0,992	0,303	0,944	0,293
Menggunakan Stemming dan Tanpa Stop Word	0,706	0,309	0,810	0,303
Tanpa Stemming dan menggunakan Stop Word	0,994	0,291	0,944	0,297
Tanpa Stemming dan Stop Word	0,760	0,334	0,735	0,300

Hasil pengujian yang lain berdasarkan nilai *recall* dan *precision* tertinggi dari k yang terlihat pada tabel IV. Pada tabel tersebut memiliki pola yang sama pada pengujian sebelumnya pada tabel III. Pada tabel IV menunjukkan *recall* tertinggi adalah tanpa *stemming* dan penggunaan *stop word* pada data kecil sedangkan untuk data besar penggunaan *stop word* (dengan atau tanpa *stemming*) memiliki hasil yang sama. Hasil *precision* tertinggi pada tanpa *stemming* dan tanpa *stop word* sama untuk rata-rata pada data kecil.

TABEL IV. NILAI RECALL DAN PRECISION BERDASARKAN K.

Jenis	Data Kecil			Data Besar		
	k	Recall	Precision	k	Recall	Precision
Menggunakan Stemming dan Stop Word	4	0,992	0,372	4	0,917	0,345
Menggunakan Stemming dan Tanpa Stop Word	4	0,773	0,442	4	0,742	0,338
Tanpa Stemming dan menggunakan Stop Word	3	1	0,278	4	0,917	0,345
Tanpa Stemming dan Stop Word	4	0,815	0,456	4	0,783	0,350

VII. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan tentang evaluasi *stemming* dan *stop word* dapat disimpulkan bahwa data dokumen yang berbeda menghasilkan nilai *recall* dan *precision* yang berbeda seperti yang terlihat pada hasil *recall* dan *precision* pada data kecil dan data besar.

Kesimpulan yang lain berkaitan dengan *recall* dan *precision* adalah dalam seluruh tipe data (baik data kecil atau besar), maka penggunaan *stop word* (baik dengan atau tanpa *stemming*) akan meningkatkan *recall* dibanding tanpa *stop word* (baik dengan atau tanpa *stemming*) sedangkan untuk *stemming* tidak terlalu berpengaruh. Nilai *precision* yang paling tinggi adalah penghilangan *stop word* (baik dengan atau tanpa *stemming*) karena ketika menghilangkan *stop word* membentuk dimensi matriks yang lebih besar sehingga arah tiap dokumen menjadi semakin jelas sedangkan untuk *stemming* menggunakan atau menghilangkannya tidak terlalu berpengaruh.

Penelitian yang dilakukan menggunakan 30 data yang relatif lebih kecil dari penelitian sebelumnya sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan data yang lebih banyak untuk dapat membandingkan hasil. Selain itu data yang digunakan merupakan data pdf asli yang belum dilakukan pengolahan yang dapat meningkatkan keberhasilan *stemming* sehingga untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan pengolahan data terlebih dahulu untuk membandingkan hasil.

Daftar Pustaka

- [1] Kamus Besar Bahasa Indonesia, *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Jakarta: Bumi Aksara, 1990.
- [2] Christopher D. Manning, Prabhakar Raghavan, and Hinrich Schütze, *An Introduction to Information Retrieval*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [3] Roslan Sadjirin and Nurazzah Abd Rahman, "Efficient Retrieval of Malay Language Documents using Latent Semantic Indexing," *IEEE*, p. 1410, 2010.
- [4] Yeni Herdiyeni and Zainal A. Hasibuan, "INFORMATION RETRIEVAL SYSTEM IN BAHASA INDONESIA USING LATENT SEMANTIC INDEXING AND SEMI-DISCRETE DECOMPOSITION," 2003.
- [5] A N K Zaman and Pascal Matsakis, "Evaluation of Stop Word Lists in Text Retrieval Using Latent Semantic Indexing," *IEEE*, p. 133, 2011.
- [6] Gerald Kowalski, *Information Retrieval Architecture and Algorithms*. New York: Springer, 2011.
- [7] C. D. Paice. (2014, Juni) What is stemming? [Online]. <http://www.comp.lancs.ac.uk/computing/research/stemming/general/index.htm>
- [8] Fadillah Z Tala, *A Study of Stemming Effects on Information*. Amsterdam, Netherlands: Universiteit van Amsterdam.
- [9] Stefan Butcher, Charles L. A. Charke, and Gordon V. Cormack, *Information Retrieval Implementing and Evaluating Search Engines*. London, England: MIT Press, 2010.
- [10] Kirk Baker. (2014, Juni) [Online]. http://www.ling.ohio-state.edu/~kbaker/pubs/Singular_Value_Decomposition_Tutorial.pdf
- [11] Budi Susanto. (2014, juli) Contoh Algoritma LSI. [Online]. <http://budsus.wordpress.com/2013/04/17/contoh-algoritma-lsi/>
- [12] Andrian Marcus and Jonathan I. Maletic, "Recovering Documentation-to-Source-Code Traceability Links using," in *Preceeding of the 25th International Conference of the Software Engineering*, 2003.
- [13] Jin Zhan, "Visualization for Information Retrieval," *Springer-Verlag*, 2008.

Pengaruh Karakteristik dan Pencahayaan Objek terhadap Pelacakan Tanpa Penanda dalam Ruang Tertutup pada Aplikasi Mobile Augmented Reality

Aditya Rizki Yudiantika¹⁾, Selo Sulistyono²⁾, Bimo Sunarfri Hantono³⁾

^{1), 2), 3)} eSystems Lab, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281

Email : aditya_rizki@mail.ugm.ac.id ¹⁾, selo@te.ugm.ac.id ²⁾, bhe@ugm.ac.id ³⁾

Abstract— The success of markerless object tracking on mobile augmented reality (AR) is determined by two factors, object characteristics and lighting conditions around the object. Object characteristics include the shape and color patterns of the real object to be recognized. While the lighting conditions associated with color of light, light intensity, and the type of light source used to illuminate the object. This study examines the effect of these two factors in mobile AR applications for indoor using SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) tracking method. Testing carried out using an AR application to keep track of two types of objects that have different characteristics. The results showed that the color of light does not affect markerless tracking in AR application. However, the factor that affect markerless tracking is the intensity of light that illuminates the real object. In addition, tracking success is also determined by the shape of the object, the object color patterns, and the distance from the camera to the object. Object that its edges are difficult to detect and has a uniform color patterns it would be difficult to track. Indoor displayed objects, like in museum, tend to have the unique shape and nonuniform color patterns so that the implementation of markerless tracking through mobile AR prototype successfully performed.

Keywords: *markerless tracking, mobile augmented reality, indoor, museum, SLAM*

Intisari— Keberhasilan proses pelacakan tanpa penanda pada aplikasi mobile AR (Augmented Reality) sangat ditentukan oleh dua faktor, yaitu karakteristik dan kondisi pencahayaan di sekitar objek. Karakteristik objek meliputi bentuk dan corak objek nyata yang akan dikenali. Sedangkan kondisi pencahayaan berhubungan dengan warna cahaya, intensitas cahaya, dan jenis sumber cahaya yang digunakan untuk menerangi objek. Penelitian ini mengkaji pengaruh kedua faktor tersebut pada aplikasi mobile AR untuk ruang tertutup (*indoor*). Pengujian dilakukan menggunakan prototipe aplikasi AR untuk melacak dua jenis objek yang mempunyai karakteristik berbeda. Metode pelacakan yang digunakan oleh prototipe tersebut yaitu SLAM (Simultaneous Localization and Mapping). Dari hasil pengujian diperoleh bahwa warna cahaya tidak mempengaruhi pelacakan tanpa penanda pada aplikasi AR. Namun, faktor yang mempengaruhi pelacakan tanpa penanda adalah intensitas cahaya yang menerangi objek nyata. Selain itu, keberhasilan pelacakan juga ditentukan oleh bentuk objek, corak objek, serta jarak kamera dengan objek. Bentuk objek yang sulit dideteksi

batas tepinya dan memiliki corak yang seragam akan sulit dilacak. Objek-objek yang dipamerkan dalam ruang tertutup, seperti museum, cenderung memiliki bentuk dan corak yang tidak seragam sehingga implementasi pelacakan tanpa penanda melalui prototipe AR berhasil dilakukan.

Kata kunci: *pelacakan tanpa penanda, mobile augmented reality, indoor, museum, SLAM*

I. PENDAHULUAN

Museum didirikan untuk memamerkan koleksi benda-benda peninggalan masa lalu. Museum juga merupakan lokasi yang tepat bagi pengunjung untuk mengapresiasi koleksi benda peninggalan tersebut. Kondisi museum yang kurang dinamis dalam hal penataan ruang pameran dan ketersediaan informasi menyebabkan minat pengunjung berkurang. Berbagai pendekatan diperlukan untuk menarik minat dan pengalaman pengunjung. Pendekatan tersebut dapat dilakukan dengan mengembangkan aplikasi Augmented Reality (AR). Melalui AR, cara-cara baru untuk menceritakan objek museum dapat dikembangkan dalam bentuk aplikasi *mobile*.

Pencahayaan objek dan kondisi lingkungan museum (ruang tertutup) akan mempengaruhi proses pelacakan dalam sistem AR. Pencahayaan akan menentukan bagaimana objek nyata ditangkap oleh berbagai jenis kamera dengan beragam sensitivitas terhadap cahaya. Dalam praktiknya, penggunaan pelacakan objek tanpa penanda (*markerless tracking*) pada ruangan museum lebih disukai jika dibandingkan dengan pelacakan berbasis penanda (*marker-based*). Selain lebih alami, metode pelacakan tanpa penanda tidak membutuhkan penanda tambahan yang harus dipasang di sekitar lingkungan objek museum karena akan mengganggu nilai estetika.

Pencahayaan di museum dirancang untuk memenuhi kebutuhan visual pengunjung sebagai usaha untuk memberikan kenyamanan dan kenikmatan saat mengunjungi museum. Kondisi lingkungan museum merupakan elemen kunci untuk menciptakan ruang pameran yang sesuai bagi pengunjung dan koleksi-koleksi museum [1]. Di sisi lain, pencahayaan museum juga berfungsi untuk mengomunikasikan informasi yang dimiliki oleh rupa benda-benda koleksi di museum [2]. Pencahayaan merupakan fasilitas interpretatif yang dapat melahirkan

potensi komunikasi, yaitu dengan menyediakan konteks ruang dan waktu bagi pengunjung.

Beberapa museum di Indonesia belum memperhatikan seberapa penting instalasi pencahayaan. Kualitas dan metode pencahayaan yang diterapkan hanya sekadar untuk tujuan penerangan benda koleksi museum. Hal ini menyebabkan benda koleksi yang dipamerkan sulit diapresiasi pengunjung sebagai benda yang penting dan memiliki nilai.

Kondisi pencahayaan yang cukup dan tertata dengan baik dalam museum juga bermanfaat untuk mengembangkan aplikasi berbasis AR. Selain dalam hal pencahayaan, benda-benda koleksi museum yang dipamerkan juga memiliki sifat dan karakteristik material yang berbeda-beda. Penelitian ini akan mengkaji lebih jauh pengaruh pencahayaan objek, bentuk dan corak objek, serta kondisi lingkungan ruang tertutup terhadap penerapan sistem AR tanpa penanda untuk perangkat bergerak.

II. KAJIAN PUSTAKA

Penelitian-penelitian awal sistem AR menyatakan bahwa sebuah sistem AR dapat bekerja dengan baik pada lingkungan yang sudah siap (*prepared environment*) [3]. Maksud dari lingkungan yang sudah siap adalah lingkungan nyata yang terletak di dalam ruangan (*indoor*) sehingga pencahayaan dan penataan ruang mudah untuk dimodifikasi. Dalam hal ini, museum termasuk dalam kriteria lingkungan yang sudah siap.

Berbagai benda koleksi museum disimpan dan dipamerkan dalam ruangan khusus, sehingga dapat dengan mudah diatur posisi, letak, dan tata cahayanya sedemikian rupa oleh pengelola museum. Ruangan museum yang baik memiliki intensitas cahaya antara 50-200 lux untuk menerangi objek-objek yang dipamerkan [4]. Kondisi tersebut diperoleh berdasarkan tingkat kenyamanan mata manusia ketika mengamati benda-benda di dalam ruangan museum, juga berdasarkan sifat dan karakteristik pembentuk benda-benda tersebut.

Terminologi sistem AR yang selalu menggabungkan lingkungan nyata dan lingkungan virtual mengakibatkan keduanya membutuhkan kepekaan terhadap fokus dan kontras objek [5]. Idealnya, kondisi lingkungan virtual harus sesuai dengan kondisi lingkungan nyata. Lingkungan nyata diproyeksikan melalui kamera pada jarak tertentu untuk mendapatkan fokus yang tepat. Meskipun pelacakan objek dilakukan pada ruangan tertutup, kontras lingkungan menjadi isu lain. Kontras lingkungan dipengaruhi oleh rentang pencahayaan dinamis yang lebar dalam lingkungan nyata dan perangkat yang digunakan manusia untuk mendeteksi lingkungan tersebut. Kecerahan (*brightness*) objek nyata dan virtual harus saling sesuai.

Sebuah sistem yang akurat untuk pemetaan dan pelacakan objek berbasis SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) dalam ruangan secara *real time* pernah dikembangkan. Sistem tersebut menggunakan kamera dan sensor pada perangkat Kinect [6]. Dengan memanfaatkan data kedalaman, sistem tersebut dapat berjalan dengan baik pada kondisi cahaya yang cukup. Sistem SLAM dikenal sebagai metode pelacakan visual yang akurat dan cepat melalui kamera perangkat bergerak untuk mendeteksi lingkungan yang tidak dikenali

sebelumnya. Perkembangan yang pesat dilakukan oleh Klein dan Murray [7] yang memperagakan kemampuan SLAM untuk membuat model 3D dari ribuan titik.

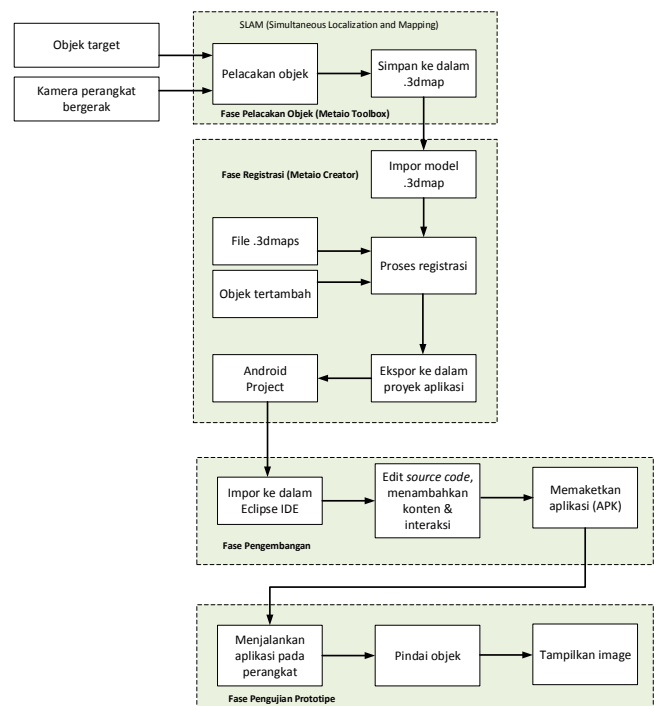
Dari studi di atas, bentuk objek dan kondisi lingkungan merupakan dua faktor yang akan mempengaruhi keberhasilan pelacakan tanpa penanda dalam sistem AR. Untuk itu, penelitian ini akan menguji sebuah prototipe aplikasi *mobile AR* yang dikembangkan dengan metode pelacakan SLAM terhadap karakteristik objek nyata dan kondisi pencahayaan dalam ruang tertutup.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan sebuah prototipe aplikasi yang dikembangkan menggunakan Metaio Suite, yang terdiri dari Metaio Creator dan Metaio SDK. Prototipe digunakan untuk menguji beberapa parameter yang menentukan keberhasilan pelacakan objek nyata terhadap karakteristik objek dan kondisi pencahayaan objek. Prototipe tersebut merupakan aplikasi AR sederhana yang menggunakan metode pelacakan objek tanpa penanda.

Langkah-langkah pembuatan dan pengujian prototipe ditunjukkan seperti pada Gambar 1. Secara umum, pembuatan prototipe melalui serangkaian langkah, yaitu registrasi dan pelacakan. Objek nyata dipetakan menggunakan Metaio Toolbox untuk mendapatkan model dalam bentuk file *.3dmap*. Metaio menggunakan teknik pemetaan objek berbasis SLAM [8].

Pelacakan merupakan sebuah metode yang diperlukan untuk mengaktifkan pengukuran yang akurat mengenai bagaimana dan dari mana konten virtual harus diberikan. Teknologi AR melibatkan pelacakan dari sudut pandang pengguna. Akurasi pelacakan dalam beberapa aplikasi AR menjadi hal yang sangat penting karena akan menentukan posisi objek yang ditambahkan ke objek nyata secara tepat [9].



Gambar 1. Alur Kerja Prototipe

Registrasi merupakan proses dalam pembuatan sistem AR yang berhubungan dengan bagaimana sebuah objek virtual dapat ditambahkan menurut posisi, koordinat, dan kedalaman tertentu atas objek nyata [5]. Dalam hal ini, proses registrasi dilakukan menggunakan Metaio Creator. File .3dmap hasil pemetaan Metaio Toolbox diimpor ke dalam Metaio Creator agar objek virtual yang telah disiapkan dapat ditempelkan ke model.

Objek nyata yang digunakan dalam pengujian adalah sebuah kendi berbahan dasar tanah liat dan *papercraft* berbentuk balok. Sedangkan objek virtual yang digunakan dalam pengujian yaitu berupa citra yang menampilkan informasi singkat objek.

Pengujian prototipe dilakukan menggunakan perangkat Lenovo K860 dengan sistem operasi Android versi 4.2. Perangkat tersebut dilengkapi dengan prosesor Quad-core 1.4 GHz Cortex-A9 dan kamera autofocus 8 MP. Jenis lampu yang digunakan adalah lampu bohlam Phillips 15 Watt berwarna terang (*clear*), kuning (*yellow*), biru (*blue*), merah (*red*), hijau (*green*), dan *orange*. Sebagai bahan perbandingan, sebuah lampu fokus Phillips 25 Watt juga digunakan dalam penelitian ini. Saat pengujian, lampu-lampu tersebut diletakkan sejauh 30 cm di depan objek nyata.

IV. PEMBAHASAN

A. Pelacakan dan Registrasi Objek

Aplikasi Metaio Toolbox digunakan untuk mengenali fitur-fitur dari bagian sebuah objek yang belum dikenali, kemudian merekamnya ke dalam file .3dmap. Semakin banyak jumlah fitur yang dikenali, maka proses komputasi perangkat menjadi semakin besar. Hal ini mengakibatkan unjuk kerja ponsel cerdas yang digunakan untuk melakukan pelacakan semakin tinggi, terutama ketika jumlah fitur mencapai pada kisaran 2000 titik.

Proses pelacakan objek sebaiknya dilakukan *on the spot* dan pada kondisi pencahayaan yang stabil. Hal tersebut dilakukan agar file model yang diperoleh mirip dengan kondisi lingkungan nyata. Pada proses ini telah dilakukan percobaan dengan melakukan pelacakan sebuah objek secara terpisah, kemudian diuji pada lingkungan yang lain. Meskipun objek dapat dikenali, hasil pengenalan objek pada proses pelacakan *on the spot* lebih kuat (*robust*) dibandingkan hasil pengenalan objek yang menggunakan pelacakan objek tidak pada tempatnya.

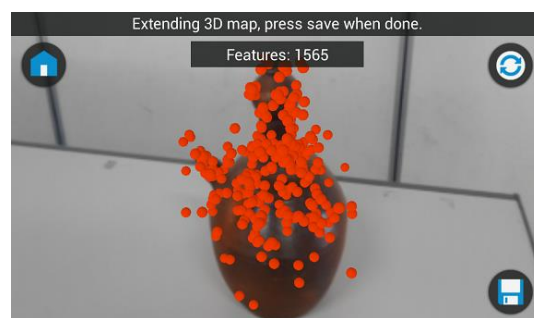
Uji coba pelacakan dilakukan terhadap dua objek yang mempunyai karakteristik berbeda, yaitu pada sebuah balok *papercraft* (dimensi tinggi 15 cm dan lebar 6 cm) berwarna merah seragam dan sebuah kendi (dimensi tinggi 27 cm dan lebar 22 cm) yang mempunyai bentuk unik dan corak warna yang khas. Intensitas cahaya di sekitar objek pada saat uji coba kedua objek sama, yaitu sekitar 115 lux pada kondisi cahaya ruangan normal.

Ketika pelacakan dilakukan terhadap objek berbentuk balok, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2, aplikasi Metaio Toolbox selalu gagal melacak objek tersebut. Hal ini disebabkan oleh kelemahan pelacakan SLAM yang sulit mendeteksi objek berwarna seragam. Selain itu, teknik pelacakan SLAM juga memanfaatkan deteksi sisi objek (*edge detection*) yang jelas.



Gambar 2. Pelacakan pada objek bercorak seragam

Berbeda halnya ketika pelacakan dilakukan terhadap objek kendi (Gambar 3). Meskipun mempunyai warna yang cukup seragam, objek tersebut mempunyai corak yang khas. Akibatnya sisi-sisi pembentuk kendi dapat dikenali dengan mudah oleh Metaio Toolbox. Semakin dekat posisi objek dengan kamera maka ukuran fitur-fitur tersebut akan semakin membesar. Selain berfungsi sebagai penanda objek, fitur juga merepresentasikan kedalaman objek terhadap kamera.



Gambar 3. Pelacakan pada objek bercorak unik

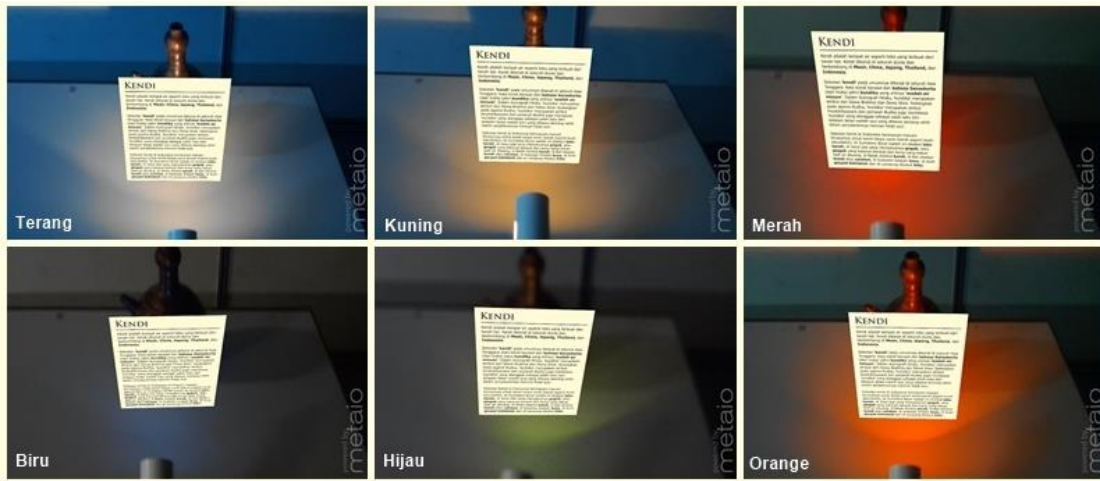
Pada proses registrasi, file .3dmap yang diperoleh ketika proses pelacakan diimpor ke dalam Metaio Creator. File tersebut adalah model objek nyata yang berupa titik-titik fitur.

Hasil pengukuran berdasarkan jumlah fitur saat proses pelacakan objek ditunjukkan oleh TABEL 1.

TABEL 1. PENGUKURAN BERDASAR JUMLAH FITUR

No	Jumlah Fitur	Rating	Ukuran .3dmap	Hasil Pelacakan
1	314	3	19 KB	V
2	512	3	23 KB	V
3	1029	3	55 KB	V
4	2005	3	107 KB	V
5	3042	3	160 KB	V
Keterangan: V = Berhasil, X = Gagal				

Dari TABEL 1 diperoleh beberapa hal. Rating untuk semua jumlah fitur mempunyai nilai yang sama, yaitu 3 bintang yang berarti sangat baik. Metaio Creator mempunyai standar penilaian fitur pelacakan yang terdiri dari 1 bintang berarti kurang baik, 2 bintang berarti cukup baik, dan 3 bintang berarti sangat baik.



Gambar 4. Pengujian pelacakan objek yang disinari beberapa warna lampu

Semakin banyak fitur yang diperoleh, maka semakin rapat fitur yang digunakan untuk melakukan pelacakan objek sehingga memungkinkan pelacakan objek yang semakin sempurna dari berbagai sisi atau sudut pandang. Konsekuensinya ukuran prototipe aplikasi juga semakin membesar seiring dengan bertambahnya ukuran file .3dmap. Meskipun kelima hasil pengujian pelacakan terhadap variasi jumlah fitur berhasil mengenali objek, hasil pelacakan yang terbaik adalah ketika jumlah fitur mencapai 3042 fitur, yang ditunjukkan melalui kecepatan pelacakan objek dan rentang sudut pandang pelacakan yang dilakukan oleh prototipe aplikasi.

B. Pengujian

Apabila objek kendi berhasil dilacak, maka objek virtual yang ditampilkan berupa citra yang berisi informasi mengenai objek tersebut. Posisi dan orientasi objek virtual yang dihasilkan diatur ketika melakukan tahap registrasi objek.

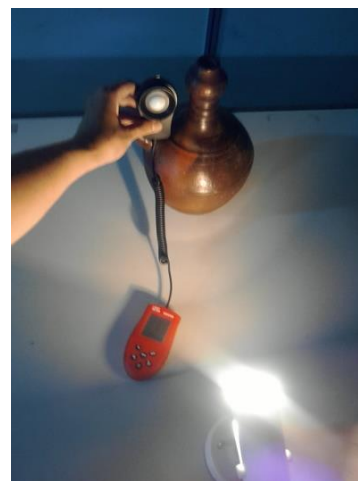
Pada percobaan berikut dilakukan pengujian terhadap enam warna lampu bohlam yang masing-masing mempunyai daya 15 Watt. Kondisi pelacakan, registrasi dan objek yang digunakan sama. Objek kendi dilacak melalui 3000 titik di depan cahaya lampu terang dengan intensitas cahaya 146 lux (Gambar 5).



Gambar 5. Proses pelacakan objek kendi yang disinari di depan cahaya bohlam

Untuk melakukan pengujian ini, sebuah bohlam yang dimasukkan dalam *fitting* diletakkan di depan objek kendi sebagai sumber cahaya objek. Luxmeter digunakan untuk

mengukur intensitas cahaya yang dipancarkan oleh lampu seperti ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Cara mengukur dengan luxmeter

Pengujian pelacakan objek yang disinari beberapa warna lampu ditunjukkan pada Gambar 4. Hasil pengujian pelacakan objek dengan warna sumber cahaya yang berbeda-beda ditunjukkan pada TABEL 2.

TABEL 2. HASIL PELACAKAN OBJEK TERHADAP WARNA LAMPU

No	Warna Lampu	Intensitas Cahaya (lux)	Hasil Pelacakan			
			50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
1	Terang	75	V	V	V	X
2	Kuning	75	V	V	V	X
3	Merah	36	V	V	V	X
4	Biru	17	V	X	X	X
5	Hijau	31	V	V	V	X
6	Orange	48	V	V	V	X
Keterangan: V = Berhasil, X = Gagal						

Dari TABEL 2 di atas dapat diketahui beberapa hal. Intensitas cahaya yang dihasilkan oleh beberapa warna lampu dengan daya yang sama besar ternyata menghasilkan intensitas cahaya yang berbeda. Semakin kecil nilai intensitas cahaya yang diterima luxmeter berarti cahaya yang dipancarkan oleh lampu semakin redup. Lampu berwarna terang dan kuning mempunyai intensitas cahaya yang paling kuat, yaitu sekitar 75 lux. Lampu berwarna biru mempunyai intensitas cahaya yang paling lemah, yaitu sekitar 17 lux.

Semakin kecil nilai intensitas cahaya, maka objek akan semakin sulit dilacak. Pada pengujian di atas, sumber cahaya bohlam yang memancarkan warna biru mempunyai hasil pelacakan yang paling buruk. Pada kondisi ini, objek hanya bisa dikenali pada jarak kurang lebih 50 cm (sangat dekat). Untuk warna bohlam yang lain, pelacakan objek dapat dilakukan hingga jarak 1,5 m. Konsekuensinya, ukuran objek virtual yang muncul semakin kecil (Gambar 7).



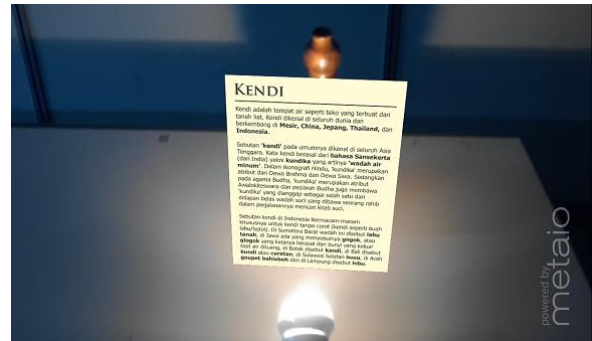
Gambar 7. Pengujian pelacakan objek pada jarak 1,5 meter

Pengujian juga dilakukan dengan melacak objek pada sudut pandang tertentu. Selama objek nyata berada dalam lingkungan dengan intensitas cahaya yang cukup, maka pelacakan objek akan berhasil dan objek virtual akan muncul (Gambar 8).



Gambar 8. Pengujian pelacakan objek menurut sudut pandang sebelah kiri depan objek

Selain dikenal lampu berjenis bohlam, juga dikenal lampu fokus. Ciri lampu fokus yaitu memiliki metode pancar yang lebih halus dan terfokus, jika dibandingkan lampu bohlam biasa. Percobaan yang ditunjukkan Gambar 9 menggunakan lampu fokus 25 Watt untuk menerangi objek. Hasil yang diperoleh adalah lampu tersebut memiliki intensitas cahaya sebesar 333 lux dan pelacakan berhasil.



Gambar 9. Pengujian pelacakan objek dengan sumber cahaya lampu fokus

V. KESIMPULAN

Sesuai dengan hasil pembahasan di atas diperoleh bahwa warna cahaya tidak mempengaruhi pelacakan tanpa penanda pada aplikasi AR. Namun, faktor yang mempengaruhi pelacakan tanpa penanda adalah intensitas cahaya yang menerangi di sekitar objek nyata. Oleh karena itu, kondisi pencahayaan pada ruang tertutup harus stabil. Kestabilan pencahayaan diperlukan untuk memperoleh kondisi pencahayaan yang sama dan sempurna ketika melakukan pelacakan objek dengan SLAM dan pengujian prototipe aplikasi AR.

Metode pelacakan SLAM pada aplikasi mobile AR telah dapat melakukan pelacakan objek pada kondisi cahaya yang redup, yaitu hingga pada intensitas 17 lux. Keberhasilan pelacakan juga ditentukan oleh bentuk, corak objek, serta jarak kamera dengan objek. Objek yang memiliki bentuk yang sulit dideteksi batas tepinya dan memiliki corak yang seragam akan sulit dilacak. Semakin jauh jarak objek dengan kamera, maka objek juga akan semakin sulit untuk dilacak. Sudut pandang kamera dapat dilakukan dari berbagai sisi kiri dan kanan objek, selama fitur pada sisi-sisi tersebut direkam saat proses pelacakan. Objek-objek yang dipamerkan dalam ruang tertutup, seperti museum, cenderung memiliki bentuk yang unik dan corak yang tidak seragam sehingga implementasi pelacakan tanpa penanda melalui prototipe AR berhasil dilakukan.

Tantangan selanjutnya adalah membangun metode pelacakan adaptif yang dapat mengakomodasi berbagai kondisi pencahayaan dinamis. Hal tersebut dilakukan untuk mengakomodasi kegiatan pameran objek yang tidak hanya dilakukan pada ruang tertutup, misalnya pada ruang semi tertutup. Selain itu, pengembangan metode pelacakan yang dapat mendeteksi objek tanpa penanda yang memiliki bentuk yang sederhana dan corak yang seragam juga diperlukan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Ajmat, J. Sandoval, F. A. Sema, B. O'Donell, S. Gor and H. Alonso, "Lighting design in museums: exhibition vs preservation," *WIT Transactions on The Built Environment*, vol. 118, 2011.
- [2] "Kevan Shaw Lighting Design, Lecture, Forum for exhibitors in Norrkoping," [Online]. Available: www.kevan-shaw.com/ksld_upload/pdf/museum_lecture. [Accessed 1 7 2014].
- [3] R. Azuma, J. Weon Lee, B. Jiang, J. Park, S. You and U. Neumann, "Tracking in unprepared environments for augmented reality systems," *Computers & Graphics*, pp. 787-793, 1999.

- [4] "What effect does exposure to light have on a museum's collections?," Philadelphia Museum of Art, [Online]. Available: <http://www.philamuseum.org/conservation/10.html?page=2>. [Accessed 13 July 2014].
- [5] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality.," *Presence*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- [6] R. A. Newcombe and e. al., "KinectFusion: Real-time dense surface mapping and tracking.," *Mixed and augmented reality (ISMAR), 2011 10th IEEE international symposium*, pp. 127-136, 2011.
- [7] A. R. Yudiantika, S. Sulistyono and B. S. Hantono, "Evaluasi Metode Pelacakan Tanpa Marker pada Metaio SDK untuk Pengembangan Aplikasi Kuis Berbasis Augmented Reality di Museum," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia STMIK Amikom*, Yogyakarta, 2014.
- [8] J. Looser, R. e. Grasset and M. Billinghurst, "A 3D Flexible and Tangible Magic Lens in Augmented Reality," 2007.
- [9] G. Klein and D. Murray, "Parallel tracking and mapping for small AR workspaces," in *Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007. 6th IEEE and ACM International Symposium*, 2007.

Pengembangan Aplikasi Bergerak untuk Mendeteksi Tingkat Kemacetan Lalu Lintas dan Cuaca Memanfaatkan Google Maps API, OpenWeatherMap API, dan GPS

Taufiq El Rahman¹, I Wayan Mustika², Selo³

Laboratorium Sistem Elektronis, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281

Email : taufiqelrahman65@gmail.com, {[wmustika_selo](mailto:wmustika_selo@ugm.ac.id)}@ugm.ac.id

Abstract— Traffic jams are increasing year by year and smaller cities started to get contaminated on their busy hours, especially in Yogyakarta. Although there are a few apps that can solve the problem, such as LewatMana, Waze, and Google Maps, but there were not enough data available yet for Yogyakarta city. This research intends to develop a mobile app that can provide the traffic data of Yogyakarta. The proposed app is designed to show the list of jam-potential traffics only. Therefore, users that are not accustomed to advance map-browsing can retrieve the information easily. Moreover, this app will be equipped with weather notification feature which is also an important aspect in providing the information to users. Using the resources provided, this app will be able to get the information of the traffic, the weather, and able to show the results on the map. An algorithm is developed to decide whether a traffic is considered a jam or not. The data used are the number of vehicles and their average speed. This research is focused on helping users to get through their daily traffic jams at Yogyakarta which has not been delivered by the previous mobile applications.

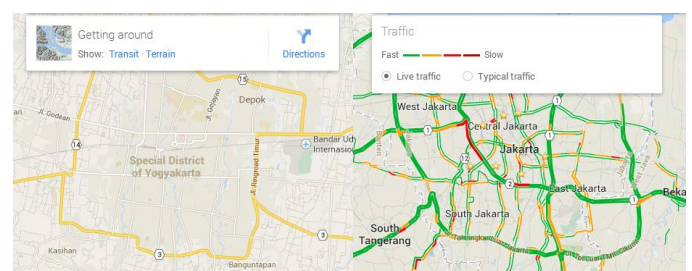
Intisari— Jumlah kemacetan semakin meningkat dari tahun ke tahun dan sudah merambat ke kota-kota kecil pada jam sibuknya, khususnya di Yogyakarta. Memang sudah banyak diciptakan aplikasi kemacetan lalu lintas, seperti LewatMana, Waze, dan Google Maps. Namun, data kemacetan lalu lintas di Yogyakarta belum tersedia. Penelitian ini bermaksud untuk mengembangkan sebuah aplikasi bergerak yang dapat memberikan data lalu lintas di Yogyakarta. Aplikasi ini akan didesain dengan menampilkan daftar lokasi yang tergolong padat saja, sehingga dapat memudahkan pengguna yang buta peta dalam mencari informasi yang diinginkan saja. Selain itu, aplikasi ini akan diberikan fitur notifikasi keadaan cuaca dimana hal ini juga merupakan aspek yang penting dalam berlalu lintas. Dengan memanfaatkan sumber yang ada, aplikasi ini dapat mengambil informasi pengguna lalu lintas, cuaca, dan penyajiannya pada peta. Sebuah algoritma akan dikembangkan untuk dapat mengkategorikan lalu lintas bagian mana yang dapat diasumsikan mengalami kemacetan dan yang tergolong lancar.

Kata Kunci— deteksi kemacetan, cuaca, Google Maps API, GPS, OpenWeatherMap API

I. PENDAHULUAN

Jumlah kendaraan di Indonesia dari tahun ke tahun, semakin meningkat. Menurut catatan BPS, pada akhir tahun 2011 jumlah kendaraan di Indonesia telah mencapai 85,601,351 yang meliputi (mobil penumpang 9,548,866, bis 2,254,406, truk 4,958,738, dan motor 68,839,341) [1]. Sedangkan, pada akhir tahun 2012 jumlah kendaraan di Indonesia telah mencapai 94,373,324 yang meliputi (mobil penumpang 10,432,259, bis 2,273,821, truk 5,286,061, dan motor 76,381,183) [1]. Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa angka jumlah kendaraan terus meningkat dan tren ini akan terus meningkat pada tahun-tahun yang akan datang.

Kemacetan sudah merambat ke kota-kota kecil pada jam sibuknya khususnya di Yogyakarta. Memang sudah banyak diciptakan aplikasi kemacetan lalu lintas, seperti LewatMana, Waze, dan Google Maps. Namun, data kemacetan lalu lintas di Yogyakarta belum tersedia (Gbr. 1). Salah satu fitur yang penting dalam berlalu lintas adalah keadaan cuaca pada lalu lintas tersebut dimana dalam ketiga aplikasi yang telah disebutkan sebelumnya belum terdapat fitur cuaca yang konsisten sumber datanya.



Gbr. 1. Informasi kemacetan di Yogyakarta (kiri) dan di Jakarta (kanan).

Diharapkan dengan adanya aplikasi piranti bergerak ini, pengguna lalu lintas di Yogyakarta dapat mengetahui kondisi tingkat kemacetan dan cuaca yang terjadi di lalu lintas yang rawan mengalami kemacetan, sehingga mereka lebih mudah dalam menghadapi kemacetan yang terjadi. Hal ini juga dapat menghemat bensin yang terbuang sia-sia dan mengurangi polusi yang mengakibatkan global warming. Aplikasi bergerak ini akan diberikan halaman depan yang berupa daftar lokasi

yang rawan mengalami kemacetan, sehingga pengguna yang buta akan peta tidak mengalami kebingungan dalam menavigasikannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Pustaka

Terdapat aplikasi kemacetan dari China yang bernama Cennavi Traffic Eyes [2]. Distribusi data dilakukan melalui sinyal yang dikirim melalui gelombang pembawa FM. Namun, dalam mendapatkan datanya, aplikasi ini membutuhkan instalasi khusus pada kumparan induksi pada *ground*, stasiun radio, GPS pada taksi, atau secara manual. Oleh karena itu untuk sementara, lokasi yang dapat mendukung aplikasi ini hanya di Beijing dan Shanghai.

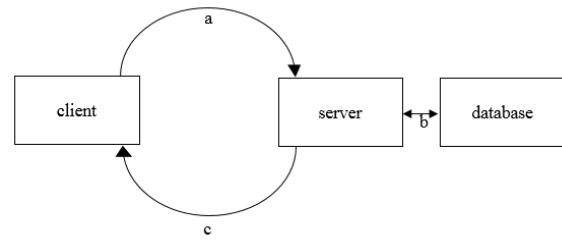
Google merilis aplikasinya yang bernama Google Maps [3]. Namun data lalu lintas yang tersedia hanya menyediakan bagi kota-kota besar saja, sedangkan Yogyakarta belum tersedia datanya. Terdapat aplikasi lokal buatan Indonesia yang bernama LewatMana yang mengandalkan CCTV dalam menyediakan data lalu lintas [4]. Walaupun dengan adanya CCTV maka koneksi yang dibutuhkan semakin berat, informasi dapat tersampaikan lebih jelas dengan adanya visualisasi dari kondisi kemacetan. Akan tetapi cakupan wilayah yang tersedia hanyalah jabodetabek. Terdapat aplikasi jejaring sosial yang berbasiskan lalu lintas buatan Israel yang bernama Waze [5]. Pengguna dapat menyampaikan informasi lalu lintas yang terjadi di sekitarnya, sehingga cakupan wilayah yang terjangkau lebih luas daripada ketiga aplikasi yang telah dibahas sebelumnya; beberapa lokasi di Yogyakarta pun dapat dijangkau. Akan tetapi, ini masih terdapat ketergantungan informasi pada inisiatif pengguna yang tidak konsisten ini. Dari ketiga aplikasi di atas dapat dilihat bahwa, dalam menampilkan informasi tingkat kemacetan, mereka merepresentasikannya dengan warna.

Keadaan cuaca merupakan aspek yang penting dalam berlalu lintas, khususnya pengguna kendaraan roda dua. Dari keempat aplikasi yang disebutkan di atas, hanya dua diantaranya yang dapat menyajikan informasi ini kepada pengguna dan informasi tersebut tidak dapat tersedia secara konsisten karena ketergantungannya pada inisiatif pengguna. Menanggapi hal itu, OpenWeatherMap menyediakan pelayanan akses data keadaan cuaca yang dapat diakses setiap saat.

Mengenai pengambilan data melalui perangkat GPS pada piranti bergerak pengendara dapat dilihat dari penelitian yang berjudul “*Development of Traffic sensor system with Virtual Detection Zone*” [6]. Dikatakan bahwa pemanfaatan perangkat GPS dapat menghasilkan hasil yang lebih akurat, dengan hanya memperoleh *error rate* sebesar 0.1-3% dalam menghitung jumlah kendaraan pada jalan raya. Dalam penelitian yang berjudul “*Granular Quantifying Traffic States Using Mobile Probes*”, dikatakan bahwa keadaan suatu lalu lintas ditentukan oleh 2 faktor signifikan, yaitu: 1) kecepatan rata-rata kendaraan, dan 2) jumlah kendaraan yang ikut serta (densitas alur lalu lintas) [7].

B. Landasan Teori

Dapat dilihat pada Gbr. 2 bahwa aplikasi pada penelitian ini terdiri dari dua buah program dan satu basis data.



Gbr. 2. Arsitektur aplikasi pada penelitian ini; a) *Client* mengirimkan data aktivitas pengguna ke *server* untuk diolah. b) *Server* mengakses basis data. c) *Server* mengirim data lalu lintas ke *client* sesuai permintaan.

1) *Client, Server, dan Basis data*: *Client* merupakan program yang berada pada piranti bergerak dengan sistem operasi berbasis Android yang akan digunakan secara langsung oleh pengendara lalu lintas. *Server* merupakan program yang berada pada personal computer yang berguna untuk melayani koneksi semua *client* yang akan membutuhkan akses. *Server* juga menjembatani antara *client* dan basis data yang digunakan dalam aplikasi ini. Dalam bahasa pemrograman Java, dibutuhkan instalasi *socket* untuk mengizinkan komunikasi antara dua program tersebut menggunakan TCP (*Transmission Control Protocol*) [8]. Basis data pada aplikasi ini menggunakan bahasa MySQL yang dioperasikan menggunakan fitur phpMyAdmin dari Xampp [9]. Ini berfungsi untuk menyimpan semua data aktivitas dari *client*.

2) *Global Positioning System*: Aplikasi yang dikembangkan pada penelitian ini akan memanfaatkan fitur GPS pada piranti bergerak yang pengguna gunakan. Dalam pengoperasiannya akan diatur menggunakan Google Maps API.

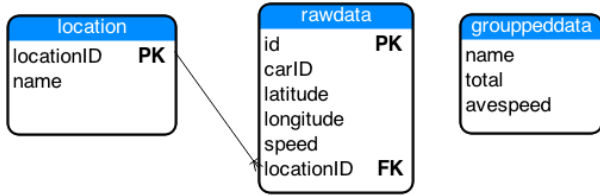
3) *Google Maps API*: Google Maps menyediakan fitur peta jalanan dan perencanaan rute atau trayek dengan opsi perjalanan untuk pejalan kaki, mobil pribadi, sepeda, dan kendaraan umum [3]. Aplikasi ini juga menyediakan lokasi dari tempat-tempat yang terkenal dan data aktivitas GPS pengendara seperti kecepatan dan lokasinya. Dimana fitur Google Maps API yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Location API*, *map objects*, dan *polylines*.

4) *OpenWeatherMap API*: Ini adalah sebuah pelayanan yang menyediakan data mengenai kondisi cuaca sekarang, perkiraan cuaca, dan data historis cuaca kepada pengembang aplikasi berbasis *web* dan aplikasi bergerak. Data yang diperoleh dari OpenWeatherMap berupa informasi mengenai lokasi, cuaca, deskripsi cuaca, ikon, humidity, tekanan angin, suhu udara, kecepatan angin, arah angin, dan awan yang tersimpan dalam format JSON [10].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dikembangkan dua buah program, yakni *server* dan *client*. Hal ini disebabkan karena dibutuhkan basis data yang terintegrasi antar *client* dan agar kinerja pada *client* tidak terlalu berat. Pengembangan aplikasi ini digunakan metode model *prototype*. Aplikasi pada sisi *client* akan mengirimkan data akan posisi dan kecepatan pengendara ke *server* dan disimpan pada basis data, sehingga dapat diproses dan diketahui bagian mana yang mengalami kemacetan pada lalu lintas. Dengan memanfaatkan fitur GPS pada piranti bergerak, aplikasi yang dikembangkan ini dapat mengetahui letak dan aktivitas pengendara lalu lintas.

Penelitian ini diawali dengan menyiapkan *environment* dan ruang kerja yang digunakan, sekaligus instalasi sistem basis data. Tahap berikutnya adalah pematangan konsep supaya tahap selanjutnya lebih terarah dan efisien. Pada tahap ini, dipikirkan *output* apa saja yang dibutuhkan agar menjadi aplikasi yang sesuai harapan. Kemudian dipikirkan input apa saja yang diperlukan dalam proses pengembangan aplikasi ini.



Gbr. 3. Relational diagram dari tabel dan view pada basis data.

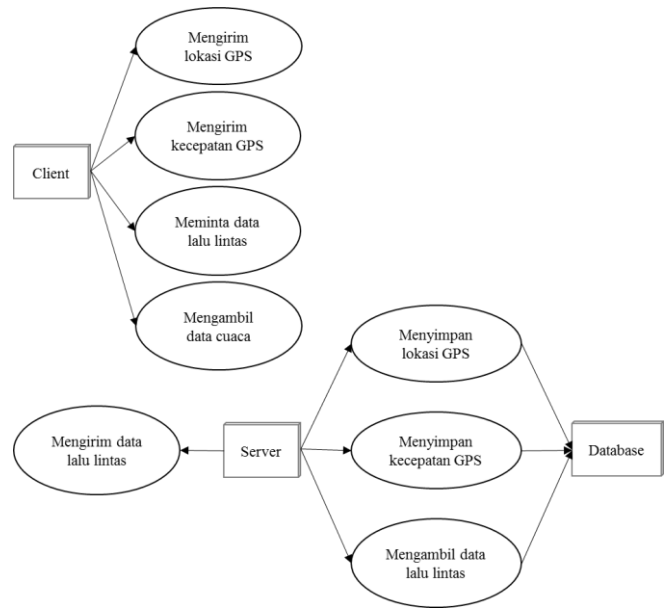
Setelah itu, maka langkah selanjutnya adalah untuk mempelajari *library* apa saja yang dibutuhkan dalam membangun aplikasi ini dan aplikasi yang sejenis. *Library* yang digunakan adalah dari Google dan Android. Semua kelas dan fungsi yang dibutuhkan dikumpulkan untuk dipelajari dan diimplementasikan. Selanjutnya, dibangun sistem basis data yang selanjutnya dapat diakses oleh sisi *server*. Pada sistem basis data ini akan dibangun dua buah tabel dan satu buah *view* (Gbr. 3). Tabel pertama adalah tabel bernama *location* yang berisikan daftar nama lalu lintas. Tabel kedua adalah tabel bernama *rawdata* yang berisikan data yang didapat dari GPS. Tabel ini terhubung dengan tabel *location* dengan kolom *locationID* sebagai *foreign key*. *View* yang dibangun pada sistem basis data ini bernama *groupeddata* yang didapat dari menggabungkan kedua tabel sebelumnya dengan ketentuan *grouped by* pada kolom "nama". Untuk kolom *total* dan *avespeed* merupakan hasil komputasi dari *total* jumlah kendaraan dan kecepatan rata-rata.

Tahapan selanjutnya adalah pengembangan perangkat lunak sisi *client* pada telepon cerdas Android. Kemudian dilanjutkan dengan pengembangan perangkat lunak pada sisi *server* pada *personal computer*. Tahap selanjutnya adalah melakukan beberapa pengujian, yakni pengiriman data GPS dari beberapa lokasi dan pengaksesan data kemacetan lalu lintas di beberapa lokasi. Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah penulisan laporan hasil analisa terhadap perangkat lunak yang dikembangkan dan beberapa revisi yang dianggap penting. Ini didokumentasikan agar dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya yang sejenis.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kebutuhan Sistem

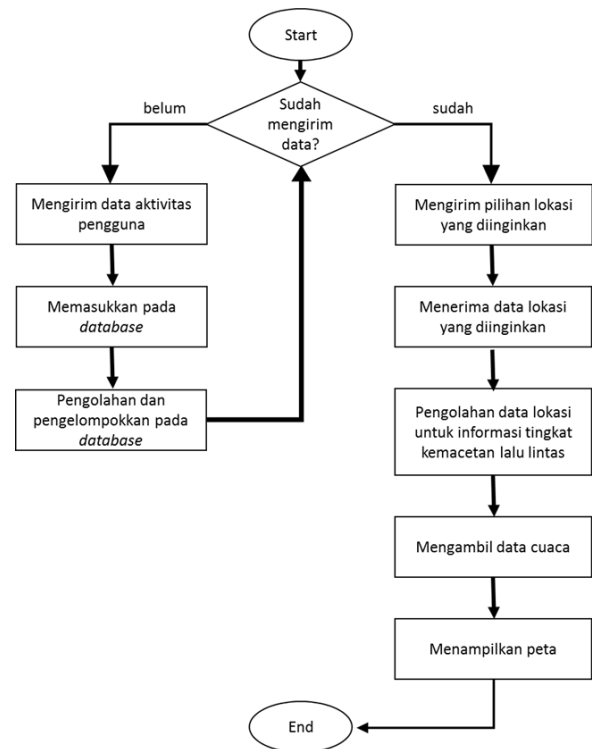
Kebutuhan sistem pada penelitian ini dapat terlihat pada Gbr. 4. Pada diagram use case tersebut terdapat tiga aktor yaitu *client*, *server*, dan basis data. *Client* yang merupakan pengguna aplikasi dapat melakukan empat hal, yakni mengirim lokasi GPS dan kecepatan GPS ke server, meminta data lalu lintas dari server, dan mengambil data cuaca dari OpenWeatherMap. Sedangkan *server* dapat melakukan empat hal yakni, menyimpan lokasi GPS dan kecepatan GPS pada basis data, mengambil data lalu lintas dari basis data dan kemudian mengirimkannya balik ke *client*.



Gbr. 4. Diagram use case pada kebutuhan sistem aplikasi.

B. Perancangan

Perancangan dari aplikasi ini dapat dilihat pada *flowchart* pada Gbr. 5.



Gbr. 5 Flowchart aplikasi.

C. Implementasi

1) *Inisiasi Environment dan Socket*: Sistem yang dikembangkan merupakan sistem yang berjalan pada telepon cerdas berbasis Android dan pada desktop menggunakan Eclipse IDE yang dilengkapi dengan ADT (Android Developer Tools) plugin. Oleh karena aplikasi yang dikembangkan pada

penelitian ini berbasis pada fungsionalitasnya peta dan GPS, peneliti menggunakan Google Maps API.

Aplikasi yang dikembangkan pada penelitian ini mengangkat konsep *client-server* dimana terdapat dua sisi yang saling berkomunikasi, yakni sisi *client* dan sisi *server*. Untuk sisi *server*, dibuat sebuah aplikasi Java berbasis *desktop*. Pada aplikasi ini, dilakukan inisiasi kelas *serversocket* dengan parameter nomor *port* yang akan digunakan. Kemudian, *server* menunggu *client* untuk menghubungi dan mengirimkan *request* dengan menginvokasi metode *accept()*. Untuk sisi *client*, dibuat sebuah aplikasi berbasis Android. Pada aplikasi ini, dilakukan inisiasi kelas *socket* dengan mencantumkan *hostname* dan *port* number dari *server*.



Gbr. 6. Diagram *deployment* dari tahap pengiriman data GPS piranti bergerak; 1. Perolehan data GPS. 2. Pengiriman data GPS. 3. Penyimpanan data GPS.

2) *Pengiriman Data GPS Piranti Bergerak*: Untuk sebuah aplikasi berbasis *crowd-sourcing* dapat berjalan dengan baik, maka dibutuhkan data yang lengkap (semakin lengkap semakin presisi). Proses ini dapat berlangsung dalam tiga langkah, yakni perolehan, pengiriman, dan penyimpanan data GPS (Gbr. 6). Proses pengambilan data GPS dapat berlangsung dengan menginisiasi kelas *LocationManager* terlebih dahulu. Selanjutnya, digunakan metode *getLastKnownLocation()* dengan parameter *GPS_PROVIDER* sebagai parameternya yang berarti sumber akan diambil dari GPS piranti bergerak.

Untuk data *latitude*, digunakan metode *getLatitude()*. Untuk data *longitude*, digunakan metode *getLongitude()*. Untuk data kecepatan, digunakan metode *getSpeed()* dengan satuan *meter per second*. Karena dalam aplikasi ini digunakan satuan *kilometer per hour*, maka data harus dikalikan dengan 3.6 terlebih dahulu. Untuk data waktu, digunakan metode *getTime()*. Data-data yang diperoleh berikut merupakan data berbentuk *double*. Supaya penyimpanan pada basis data di langkah selanjutnya dapat berjalan dengan halus, maka dibutuhkan untuk dibuat sebuah ID pada tiap set data yang akan dikirimkan. ID ini dibentuk dari gabungan antara *latitude*, *longitude*, dan waktu. ID berikut kemudian disimpan pada memory piranti bergerak sebagai ID lama atau ID sebelumnya agar dapat diakses lagi pada pengiriman data GPS selanjutnya. Hal ini bertujuan supaya pada data pengiriman selanjutnya, ID lama ini juga dapat ikut dikirimkan ke basis data untuk menghapus data lama yang sebelumnya dikirim supaya tidak terjadinya data yang redundan.

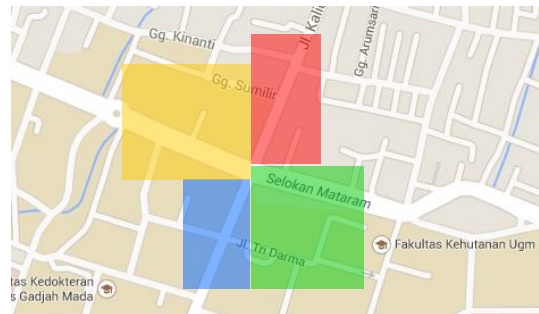
Proses penyimpanan pada *memory* piranti bergerak adalah dengan mengakses *memory* dengan memanggil metode *getPreferences()* dengan parameter *MODE_WORLD_WRITEABLE* supaya dapat ditulis oleh pengguna. Setelah itu, metode *edit()* dipanggil untuk melakukan perubahan pada *memory* tersebut.

Setelah data aktivitas GPS telah didapatkan, langkah selanjutnya adalah untuk mengirimkannya kepada *server*. Proses pengiriman ini digunakan *OutputStream* yang telah disebutkan sebelumnya. Data yang diperoleh tadi diubah kedalam bentuk *string* terlebih dahulu, kemudian di kirimkan ke *server* melalui *OutputStream*. Oleh karena itu setelah terkirimnya data tersebut, maka *server* mendapat notifikasi bahwa terdapat kiriman data

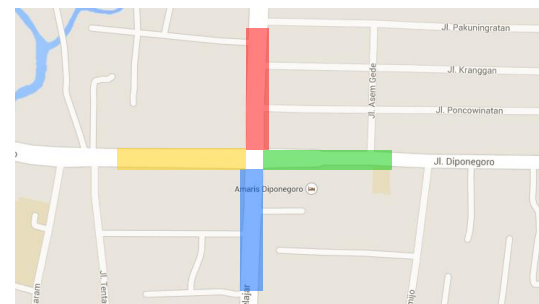
pada *InputStream*nya. Data yang diterima tersebut kemudian disimpan pada variabel.

Langkah terakhir dari *crowd-sourcing* ini adalah untuk menyimpan data yang didapat dari *crowd* tadi kedalam sistem basis data. Program di sisi *server* ini bertanggungjawab dalam menyimpan data baru, menghapus data lama, melakukan update pada *locationID* dan *view*. Data GPS yang diterima dari *client* merupakan data baru yang akan disimpan pada basis data. Sedangkan data lama merupakan data dengan ID yang sama dengan ID lama yang ikut dikirimkan dari *client*. ID lama yang ikut dikirimkan ini merupakan ID yang tersimpan pada *memory* piranti bergerak. Namun, jika tidak ada ID yang tersimpan, maka dapat dibayangkan bahwa pengguna belum pernah melakukan pengiriman sebelumnya, jadi tidak terdapat data lama.

Setelah data lama dihapuskan, dilakukan *update* pada tabel *rawdata* di kolom *locationID*. *Update* ini bermaksud untuk mengalokasikan ID dari lokasi yang sesuai dengan *latitude* dan *longitude* dari data tersebut. Proses asosiasi antara *latitude* dan *longitude* dengan ID yang sesuai dilakukan dengan suatu algoritma pengelompokan berdasarkan area lokasi. Dapat dilihat pada Gbr. 7 dan Gbr. 8, bahwa pada tiap persimpangan terbagi menjadi 4 area yakni bagian pertama (warna merah), kedua (warna hijau), ketiga (warna biru), dan keempat (warna kuning).

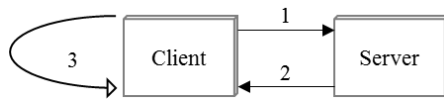


Gbr. 7. Pengelompokan pada persimpangan berbentuk X.



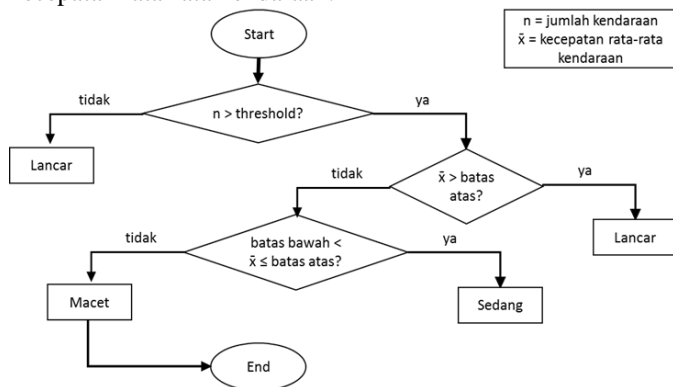
Gbr. 8. Pengelompokan pada persimpangan berbentuk +.

Langkah terakhir adalah untuk melakukan *update* pada *view*. *Update* ini bermaksud untuk memasukkan data yang baru ke dalam kelompoknya dalam *view* ini. Dalam *view* ini, dilakukan sebuah komputasi yang menjumlahkan total kendaraan dan kecepatan rata-rata di lokasi tersebut. Sintaks yang digunakan adalah *COUNT(rawdata.id)* untuk menjumlahkan total kendaraan dan *AVG(rawdata.speed)* untuk mengkomputasikan kecepatan rata-rata kendaraan. Dengan dieksekusinya komputasi ini, tiap bagian dari persimpangan yang diperlukan dapat diketahui jumlah kendaraan yang ada dan kecepatan rata-ratanya saat itu.



Gbr. 9. Diagram *deployment* dari tahap pengambilan data GPS piranti bergerak; 1. Pengiriman request. 2. Pelayanan request. 3. Penampilan pada peta.

3) *Pengambilan Data GPS Piranti Bergerak*: Proses ini dapat berlangsung dalam tiga langkah, yakni pengiriman dan pelayanan *request* dan penampilan pada peta (Gbr. 9). Proses ini berawal dari pengiriman *request* kepada bagian *server*. Aplikasi sisi *client* menampilkan daftar lokasi lalu lintas yang rawan mengalami kemacetan yang kemudian dapat dipilih oleh pengguna. Pilihan ini dianggap sebagai *request* dan kemudian dikirimkan ke *server* melalui *OutputStream*. Pilihan pengguna tetap disimpan pada sisi *client* untuk digunakan pada waktu penampilan peta pada aplikasi. Sisi *server* menerima *request* melalui *InputStream*-nya dan kemudian disimpan pada variabel. *Server* akan mengeksekusi *query* MySQL yang sesuai dengan pilihan dari *client* tersebut pada basis data. Hasil dari *query* tersebut berupa data lalu lintas yang dibutuhkan oleh sisi *client* dalam menampilkan peta. Kemudian hasil ini dikirimkan balik ke *client* untuk diproses selanjutnya dengan algoritma tertentu. Algoritma ini dibangun dengan memanfaatkan sintaks persyaratan *IF ELSE* dari *flowchart* pada Gbr. 10 yang membutuhkan masukan berupa jumlah total kendaraan dan kecepatan rata-rata kendaraan.



Gbr. 10. *Flowchart* algoritma penentuan tingkat kemacetan.

Pada tahap pertama akan ditapis berdasarkan variabel jumlah total kendaraan. Jika total kendaraan tersebut lebih kecil atau sama dari batas kemacetan yang telah ditentukan sebagai contoh, yakni 4, maka lalu lintas ini dikatakan lancar. Akan tetapi, jika lebih besar dari 4, maka akan dilanjutkan ke tahap kedua. Pada tahap kedua, akan ditapis berdasarkan variabel kecepatan rata-rata- kendaraan. Terdapat dua batas kecepatan pada filterisasi ini sebagai contoh, yakni batas bawah (20km/h) dan batas atas (50km/h). Jika nilai kecepatan rata-rata tersebut berada di atas batas atas, maka lalu lintas tersebut dikatakan lancar. Namun jika nilai kecepatan rata-rata tersebut berada di bawah batas bawah, maka lalu lintas tersebut dikatakan macet. Sedangkan jika nilainya berada di antara batas atas dan batas bawah, maka lalu lintas dikatakan sedang atau cukup lancar. Nilai-nilai tersebut hanya contoh dikarenakan belum ada data yang handal yang dapat digunakan sebagai referensi. Namun, jika pengguna menginginkan nilai dari *threshold*, batas atas,

dan batas bawah yang berbeda, pengguna dapat mengubah nilainya pada pengaturan.

Pada tahap selanjutnya akan dilakukan proses pengambilan data cuaca dari OpenWeatherMap sesuai dengan pilihan pengguna akan lokasi yang diinginkan. Data cuaca ini kemudian disimpan variabel yang dapat dimanfaatkan pada langkah selanjutnya. Langkah terakhir adalah proses penampilan hasil dari algoritma tadi beserta kondisi cuacanya pada peta supaya informasi dapat tersampaikan pada pengguna. Tersimpan data mengenai *latitude* dan *longitude* masing-masing lokasi yang ditawarkan. Data tersebut kemudian digunakan untuk membuat garis indikator kemacetan pada peta, dan data ini juga digunakan untuk menentukan letak fokus peta yang digunakan.

Pilihan pengguna yang sebelumnya masih tersimpan digunakan untuk menentukan lokasi yang ditampilkan. Data hasil algoritma dalam langkah sebelumnya digunakan dalam pembentukan garis indikator kemacetan. Jika hasil tersebut adalah macet, maka garis akan berwarna merah. Jika hasil tersebut adalah sedang atau cukup lancar, maka garis akan berwarna kuning. Jika hasil tersebut adalah lancar, maka garis akan berwarna hijau. Peta dan fitur garis pada peta yang menunjukkan tingkat kemacetan suatu lalu lintas merupakan salah satu fitur yang disediakan oleh Google Maps API.

Pada peta ini juga ditampilkan teks yang menunjukkan status lalu lintas ini dalam bentuk kata-kata agar pengguna dapat lebih mudah dalam mengidentifikasi status. Tahap pemrosesan informasi tingkat kemacetan ini diatur supaya dapat dilakukan berulang tiap 15 detik secara otomatis. Jadi tiap jeda waktu 15 detik, aplikasi ini akan mengambil data lalu lintas dari sistem basis data dan diolah supaya dihasilkan garis indikator kemacetan lagi. Waktu jeda penyegaran data kemacetan ditetapkan 15 detik dengan asumsi kondisi lalu lintas tidak akan berubah secara signifikan dalam jangka waktu di bawah 15 detik. Jika hasil yang terbaru tersebut memiliki kondisi yang lebih macet daripada hasil sebelumnya, aplikasi ini diatur untuk dapat memberikan pesan genting pada pengguna dengan membunyikan suara dan menampilkan pesan pada layar.

D. Pengujian dan Analisis Hasil Pengembangan Perangkat Lunak

id	carId	latitude	longitude	speed	locationID
434474	123775374	-7.775824	110.374431	32.5	6
434475	102770377	-7.770519	110.377712	21.2	25
434476	165745410	-7.745644	110.410888	0	25

Gbr. 11. Hasil pengujian pengiriman data dari tiga tempat yang berbeda.

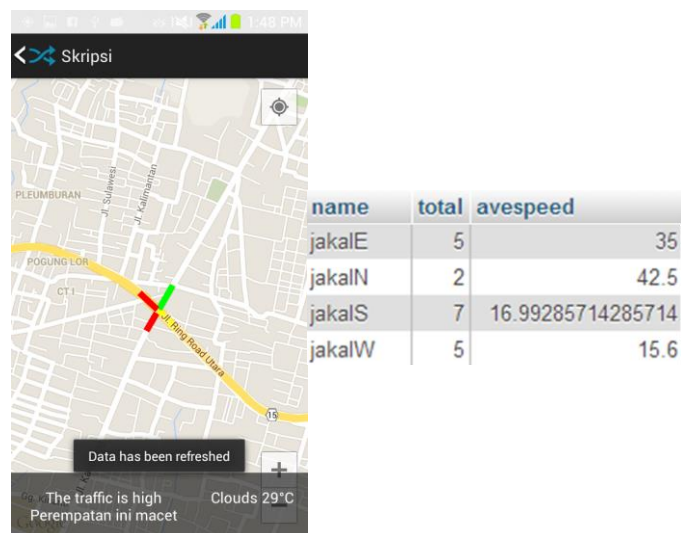
1) *Pengiriman Data GPS dari Beberapa Lokasi*: Ini Pengujian ini dilakukan dengan mengirimkan data GPS pada perangkat lunak sisi *client* ke *server* dari tiga lokasi yang berbeda, yakni persimpangan Mirota Kampus (bergerak), depan Perpustakaan Pusat UGM (bergerak), dan rumah peneliti (diam). Terlihat pada Gbr. 11, pengujian pertama dilakukan di persimpangan Mirota Kampus, pengujian kedua dilakukan di depan Perpustakaan Pusat UGM, dan pengujian terakhir dilakukan di rumah peneliti dalam keadaan diam.

Pada pengujian pertama dengan ID 434474, didapat *latitude* sebesar -7,775824, *longitude* sebesar 110,374431, dan kecepatan sebesar 32,5 km/h. Pada pengujian kedua, didapat

latitude sebesar -7,770519, *longitude* sebesar 110,377712, dan kecepatan sebesar 21,2 km/h. Pada pengujian ketiga, didapat *latitude* sebesar -7,745644, *longitude* sebesar 110,410888, dan kecepatan sebesar 0,0 km/h. Dengan mencocokkan data mengenai *latitude* dan *longitude* dari lokasi di atas pada Google Maps, dapat disimpulkan bahwa pengambilan data aktivitas dari GPS dapat dikatakan cukup akurat. Dengan hasil pengujian di atas, terbukti bahwa fitur GPS pada piranti bergerak pengguna dapat dimanfaatkan untuk kepentingan aplikasi pada penelitian ini.

2) *Pengaksesan Data Kemacetan Lalu Lintas di Beberapa Lokasi*: Pada pengujian ini akan dilakukan pengaksesan data kemacetan lalu lintas di persimpangan Jl. Kaliurang dan Ring Road (Gbr. 12). Terlihat bahwa jalan di utara persimpangan tergolong lancar (hijau), jalan di timur persimpangan tergolong cukup lancar (kuning), jalan di selatan persimpangan tergolong macet (merah), dan jalan di barat persimpangan tergolong macet (merah). Dapat dilihat juga bahwa informasi cuaca yang diperoleh adalah berawan dengan suhu 29 derajat Celsius.

Data *dummy* yang telah diolah dalam sistem basis data dapat dilihat, bahwa untuk jakalN (utara persimpangan) terdapat 2 kendaraan dengan kecepatan rata-rata sebesar 42.5 km/h. Pada algoritma, jika jumlah kendaraan kurang dari atau sama dengan 4, maka lalu lintas dikategorikan sebagai lancar dan berwarna hijau. Untuk data jakalE, jakalS, dan jakalW dapat dibaca seperti dengan ketentuan pada jakalN.



Gbr. 12. Tampilan peta pada persimpangan Jl. Kaliurang dan Ring Road (kiri). Hasil olahan data *dummy* pada *view* *groupeddata* pada basis data (kanan).

E. Rangkuman Kelebihan dan Keterbatasan

Dari analisis penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai kelebihan dan keterbatasan metode yang diajukan, kelebihannya yaitu:

1. Pengguna dapat mengetahui tingkat kemacetan yang terjadi pada lalu lintas di Yogyakarta yang dimana belum terjangkau oleh aplikasi sebelumnya.
2. Pengguna yang buta dengan peta dapat memilih lalu lintas hanya dengan membaca daftar yang telah disiapkan tanpa harus mencari lokasi dari peta secara manual.
3. Ukuran file dari perangkat lunak untuk sisi *client* tergolong cukup kecil yaitu sebesar 2 MB jika dibandingkan dengan

aplikasi yang sudah ada, sehingga *client* tidak memberatkan piranti bergerak yang low-end sekalipun.

Sedangkan keterbatasan dari perangkat lunak ini adalah:

1. Daftar lalu lintas yang dapat ditampilkan masih terbatas dan masih hanya untuk wilayah Yogyakarta.
2. Penambahan daftar lalu lintas masih harus dilakukan secara pemrograman pada *file*-nya.
3. Karena aplikasi ini berbasis *crowd-sourcing* dan jumlah pengguna aplikasi ini belum ada, maka data kemacetan yang dimiliki belum dapat digunakan dan masih berupa data *dummy*.
4. *Server* belum disiapkan untuk melayani *client* dalam jumlah banyak.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan nilai asumsi *threshold* sebesar 4, batas atas sebesar 50 km/h, dan batas bawah sebesar 20 km/h, algoritma dan konsep yang dikembangkan ini dapat menentukan tingkat kemacetan pada lalu lintas.
2. Dengan dukungan Google Maps API, aplikasi ini dapat menampilkan hasil komputasi yang telah dikembangkan pada peta.
3. Dengan dukungan OpenWeatherMap API, aplikasi ini dapat mengintegrasikan informasi cuaca dengan aplikasi yang dikembangkan pada penelitian ini.
4. Fitur GPS pada piranti bergerak berhasil dimanfaatkan menggunakan *location* API untuk kepentingan pengambilan data lokasi dan kecepatan rata-rata kendaraan pengguna.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, [Online]. Available: <http://bps.go.id/>. [Accessed 11 March 2014].
- [2] Cennavi Traffic Eyes, "Common Problems," [Online]. Available: <http://www.cennavi.com.cn/en/Product/msg.php>. [Accessed 11 March 2014].
- [3] Google, "Google Maps," [Online]. Available: <http://maps.google.com/>. [Accessed 1 August 2014].
- [4] LewatMana, [Online]. Available: <http://lewatmana.com/>. [Accessed 1 August 2014].
- [5] Waze, [Online]. Available: <https://www.waze.com/>. [Accessed 1 August 2014].
- [6] Benny H., Adi N., Petrus M. and Wisnu J., "Development of Traffic sensor system with Virtual Detection Zone," Universitas Indonesia, Jakarta, 2012.
- [7] Q. T. Minh and E. Kamioka, "Granular Quantifying Traffic States Using Mobile," Shibaura Institute of Technology, Tokyo, 2010.
- [8] Tutorial's Point, "Java - Networking (Socket Programming)," [Online]. Available: http://www.tutorialspoint.com/java/java_networking.htm. [Accessed 12 June 2014].
- [9] Phpmyadmin, "Bringing MySQL to the web," [Online]. Available: http://www.phpmyadmin.net/home_page/index.php. [Accessed 9 June 2014].
- [10] OpenWeatherMap, [Online]. Available: <http://openweathermap.org/>. [Accessed 1 August 2014].

Sistem Informasi Geografis Pemantau Transportasi Zat Radioaktif dengan *Input* SMS Terenkripsi Berbasis Web

Ferzha Putra Utama, I Wayan Mustika, dan Lita Sari

Laboratorium Sistem Elektronis, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
Email: fputama_s2te12@mail.ugm.ac.id, wmustika@ugm.ac.id, litasari@te.ugm.ac.id

Abstract-Radioactive substance is one of the potential energy nowadays. In utilizing the radioactive substances, it could be transported from its production place to the utilization place. The radioactive substance should be monitored periodically to ensure the safety during transportation. This paper discusses the architecture of geographic information system to monitor the exposure rate of radioactive substance during transportation. The information system will receive data periodically in the form of encrypted SMS with Vigenere and Vernam algorithm that is sent from the monitoring system called In Vehicles Module (IVM). The encrypted SMS contains information of date, time, coordinates, and exposure rate. The received encrypted SMS will be decrypted and processed. The experiment results show that the average interval of the received data is 69,071 seconds with standard deviation of 0,9972 seconds.

Keywords-information sistem, monitoring, radioactive substance, cryptography.

Intisari-Zat radioaktif saat ini merupakan salah satu energi alternatif yang potensial. Dalam pemanfaatannya, zat radioaktif ditransportasikan dari tempat produksi ke tempat pemanfaatannya. Keselamatan transportasi zat radioaktif harus dipantau secara berkala dengan cara memberikan informasi bahwa zat tidak mengalami kebocoran selama di perjalanan. Paper ini membahas tentang rancang bangun sebuah sistem informasi geografis pemantau transportasi zat radioaktif berbasis web. Sistem informasi ini akan memberikan informasi secara visual kepada pihak yang berkepentingan mengenai zat radioaktif yang ditransportasikan dari suatu tempat ke tempat lain. Sistem informasi ini akan menerima data berupa SMS yang dienkripsi dengan algoritme Vigenere dan Vernam yang dikirim secara periodik dari sistem pemantau zat radioaktif yang terletak pada kendaraan pembawa zat radioaktif yang dinamakan *In Vehicles Module* (IVM). SMS terenkripsi tersebut mengandung informasi data tanggal, waktu, koordinat, dan paparan zat radioaktif saat transportasi berlangsung. SMS terenkripsi yang dikirimkan ke sistem informasi akan didekripsi dan diolah menjadi informasi. Setelah dilakukan pengujian, didapatkan data jarak waktu terima SMS oleh CRM sebesar 69,071 detik dengan standar deviasi sebesar 0,9972 detik.

Kata kunci-Sistem informasi, pemantau, zat radioaktif, kriptografi.

I. PENDAHULUAN

Zat radioaktif merupakan sumber energi yang potensial. Zat radioaktif dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, teknologi pertanian, bidang kesehatan, dan lain sebagainya. Zat radioaktif merupakan bahan atau zat yang mengandung inti atom tidak stabil, dalam UU No.10/1997 Pasal 1 ayat 9 mengatakan, zat radioaktif adalah setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan aktivitas jenis lebih besar dari 70 kBq/kg (2 nCi/g) [1]. Dalam pemanfaatannya, zat radioaktif memungkinkan untuk dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain untuk kepentingan tertentu oleh pihak yang berkepentingan atau yang berwenang. Zat radioaktif berpotensi mengalami kecelakaan atau kebocoran pada saat dimanfaatkan atau pada saat proses pendistribusiannya. Pendistribusian zat radioaktif perlu dipantau agar apabila terjadi kecelakaan yang dapat menimbulkan radiasi di atas ambang normal, pihak pengambil keputusan dapat segera mengetahui dan dapat melakukan tindakan pengamanan.

Sistem informasi geografis dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, salah satunya pemantau transportasi zat radioaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem informasi pemantau transportasi zat radioaktif berbasis web yang dapat menerima data SMS terenkripsi dari titik-titik pemantauan secara *real-time* yang diolah menjadi informasi yang akurat. Sistem pemantau transportasi zat radioaktif ini terdiri dari dua sub sistem, yaitu sistem pemantau zat radioaktif yang berupa seperangkat alat yang dilengkapi detektor zat radioaktif dan GPS yang diletakkan pada kendaraan pembawa zat radioaktif (titik pemantauan) yang dinamakan dengan *In Vehicle Module* (IVM) dan sistem informasi geografis berbasis web yang menerima dan mengolah data *monitoring* yang dikirimkan IVM menjadi informasi, sistem informasi ini dinamakan *Control Room Module* (CRM) [2].

Hasil *monitoring* yang dikirimkan oleh IVM adalah SMS terenkripsi, tujuannya adalah agar informasi yang terkandung dalam SMS tersebut tidak mudah terjemahkan pihak yang tidak berhak. Hasil *monitoring* tersebut memerlukan proses dekripsi untuk mendapatkan informasi asli. Untuk melakukan dekripsi data SMS terenkripsi yang dikirim dari IVM, akan dilakukan beberapa tahapan sehingga didapat informasi asli mengenai transportasi zat radioaktif.

Informasi yang akan ditampilkan oleh sistem informasi adalah berupa peta perjalanan (transportasi) zat radioaktif berbasis Google Maps dan data dalam bentuk tabular. Sistem ini akan memberikan informasi peringatan apabila terjadi kebocoran zat radioaktif dalam perjalanan agar dapat dilakukan tindakan tepat oleh pihak yang berwenang. Sistem informasi juga akan bersifat rahasia, artinya hanya pihak yang berkepentingan yang dapat masuk ke dalam sistem (*login*), seperti BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) yang menyediakan zat radioaktif secara legal.

II. TINJAUAN SISTEM

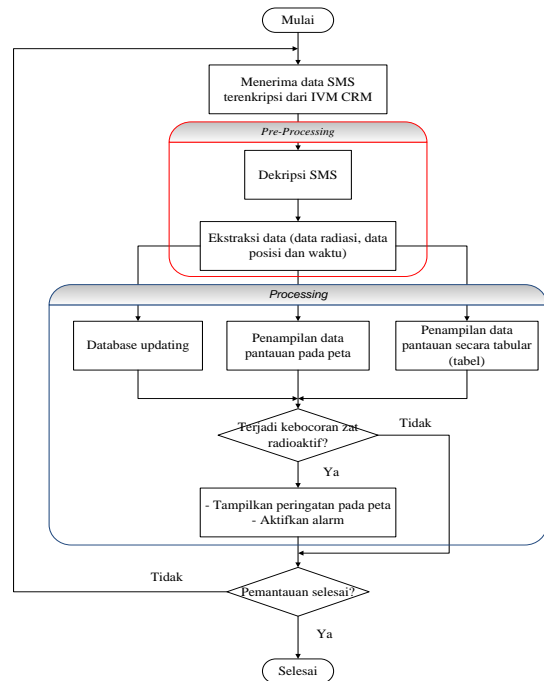
Sistem informasi (CRM) yang dirancang akan menggunakan algoritme *hybrid*, yaitu penggunaan dua algoritme kriptografi dalam melakukan dekripsi SMS. Data yang dikirimkan dari IVM ke CRM adalah berupa SMS yang telah dienkripsi dengan algoritme Vigenere dan Vernam Cipher [3]. Untuk mendekripsi SMS terenkripsi tersebut juga digunakan algoritme kriptografi yang sama. Algoritme Vigenere Cipher yang digunakan telah dimodifikasi dari Vigenere karakter alfabetis menjadi karakter numeris, hal ini dikarenakan data laju paparan radiasi, posisi, dan waktu berkarakter numeris [4]. Untuk mendapatkan kunci publik yang unik pada setiap SMS yang diterima, sistem menggunakan algoritme Vernam Cipher yang mengadopsi algoritme OTP (*One-Time Pad*) yang membangkitkan deretan karakter kunci (*pad*) secara acak. Setiap kunci hanya akan digunakan satu kali, kemudian dihancurkan agar tidak digunakan kembali untuk pesan yang lain [5]. Dengan kata lain setiap SMS akan dienkripsi dan didekripsi dengan kunci yang berbeda dengan SMS lainnya.

Proses kerja sistem pemantau pendistribusian zat radioaktif yang akan dirancang, digambarkan dengan *flowchart* pada Gambar 1. Proses dimulai dari penerimaan SMS terenkripsi yang dikirimkan dari IVM (*In Vehicle Module*) ke CRM (*Control Room Module*). Selanjutnya SMS terenkripsi yang telah diterima tersebut akan didekripsi menjadi *plaintext* (pesan asli) pada sistem dan disimpan ke dalam *database*. Selanjutnya data pada *database* akan diekstrak atau diidentifikasi untuk memisahkan data waktu, posisi (koordinat), dan data paparan. Kemudian pengguna sistem dapat menampilkan data transportasi dalam bentuk peta dan tabel. Apabila pada saat transportasi berlangsung terjadi paparan zat radioaktif di atas ambang batas (kebocoran) yang ditentukan, sistem akan memberikan peringatan berupa *alarm* pada peta dan pihak pengambil keputusan dapat melakukan tindakan pengamanan pada lokasi kebocoran. Namun jika tidak terjadi kebocoran hingga zat radioaktif sampai ke lokasi tujuan, pemantauan telah selesai dilakukan. Sistem informasi ini akan menampilkan dan memperbaharui informasi transportasi secara periodis berdasarkan SMS yang dikirimkan IVM. Untuk menjelaskan skenario sistem pemantau pemantau transportasi zat radioaktif yang terdiri dari IVM dan CRM digambarkan dengan blok diagram pada Gambar 2.

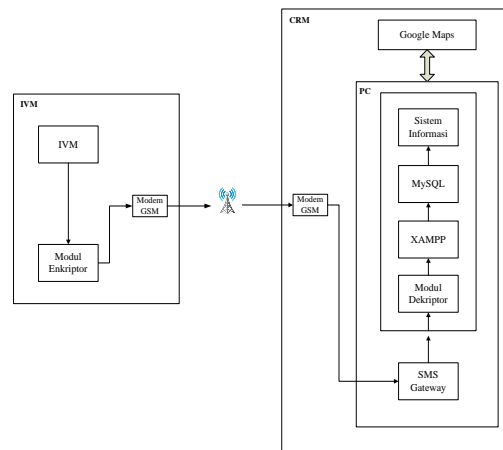
III. DESAIN PERANGKAT LUNAK

Data yang diterima CRM dari IVM merupakan SMS terenkripsi yang perlu didekripsi terlebih dahulu kemudian diidentifikasi dengan memisahkan informasi-informasi yang

dibawa oleh pesan terdekripsi (pesan asli). Berikut ini adalah penjelasan mengenai proses penerimaan pesan, dekripsi dan identifikasi SMS.



Gambar 1. Flowchart Sistem Kerja CRM



Gambar 2. Blok Diagram IVM-CRM

A. Penerimaan Data SMS Terenkripsi

Sebagai bahan dasar dari informasi yang ditampilkan pada sistem informasi pemantau transportasi zat radioaktif, SMS terenkripsi dari IVM merupakan data utama yang digunakan. SMS tersebut akan diterima oleh CRM dengan menggunakan modem GSM sebagai alat penerima SMS terenkripsi. Untuk menghubungkan IVM dengan CRM dalam proses penerimaan SMS terenkripsi, sistem pada CRM membutuhkan *SMS Gateway* [6]. *SMS Gateway* yang digunakan sistem untuk menerima SMS terenkripsi pada penelitian ini adalah Gammu. Gammu juga mampu melakukan pengambilan SMS, *backup* SMS, pengiriman SMS dan MMS. Gammu harus di-*setting* sesuai dengan spesifikasi modem yang digunakan. Pada penelitian ini, modem yang digunakan adalah modem Wavecom M1306B. SMS yang diterima melalui modem akan disimpan ke dalam *database* MySQL dan masih dalam bentuk terenkripsi.

B. Proses Dekripsi Data SMS

IVM dirancang untuk melakukan enkripsi pesan sedemikian rupa agar pesan yang dikirimkan ke CRM aman. Proses dekripsi data SMS terenkripsi akan dilakukan apabila SMS terenkripsi telah diterima oleh sistem pada CRM. Pada proses dekripsi data SMS terenkripsi, langkah awal yang dilakukan yaitu dengan mengenali nomor GSM pengirim pesan yang telah didaftarkan pada sistem, apabila nomor GSM tidak dikenali, maka pesan hanya dapat masuk ke *database* namun tidak diproses, misalnya seperti SMS promo dari operator GSM. Format SMS yang dapat didekripsi juga telah ditentukan sebelumnya, yaitu pesan yang berbentuk angka yang diawali dengan karakter *header* (*) dan diakhiri dengan karakter *end* (#).

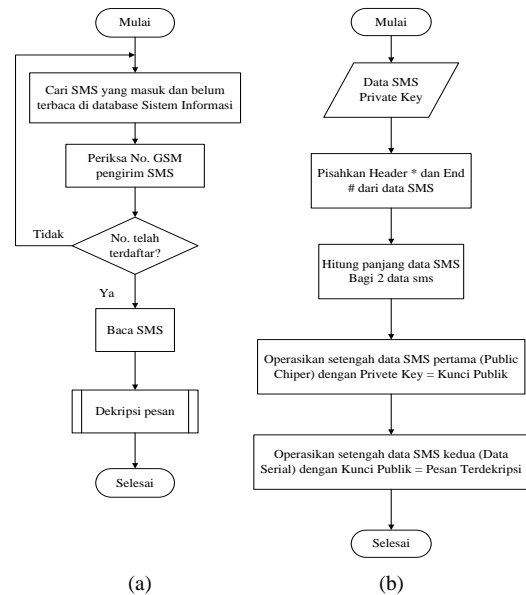
Konten SMS yang dikirim IVM berjumlah 72 atau 74 karakter angka tergantung dengan informasi yang dibawanya, ditambah lagi dengan dua karakter * dan # sebagai penanda. Pada dasarnya, pesan yang telah dipisahkan dari *header* dan *end* terdiri dari dua bagian, yaitu bagian setengah awal adalah angka yang mengandung kunci publik (*public cipher*) dan bagian setengah akhir adalah pesan terenkripsi (*data serial cipher*) yang berisi informasi zat radioaktif yang terdiri dari waktu, tanggal, koordinat dan nilai paparan radiasi.

Untuk langkah mendekripsi pesan terenkripsi yang diterima, proses yang pertama dilakukan adalah memisahkan penanda kemudian menghitung panjang pesan atau banyaknya karakter angka lalu dibagi menjadi dua bagian. Dalam mendekripsi pesan terenkripsi tersebut, CRM membutuhkan *private key* yang sama persis dengan *private key* digunakan oleh IVM dalam mengenkripsi pesan asli. *Private key* kemudian digunakan untuk mendekripsi *public cipher* atau bagian setengah awal pesan terenkripsi untuk mendapatkan kunci publik. Kunci publik yang telah didapatkan akan berbeda-beda karena dienkripsi dengan algoritme penyandian Vernam yang hanya akan menghasilkan kunci sekali pakai [7]. Kunci publik tersebut kemudian akan digunakan sebagai kunci untuk mendapatkan pesan asli yang terenkripsi pada bagian setengah akhir (*data serial cipher*). Proses penerimaan dan dekripsi SMS terenkripsi dapat ditunjukkan dengan *flowchart* pada Gambar 3.

C. Identifikasi Data SMS

Data SMS terenkripsi yang telah diterima oleh CRM dari IVM akan didekripsi hingga didapat pesan asli. Pesan asli memiliki informasi waktu, tanggal, koordinat, dan nilai paparan radiasi zat radioaktif. Agar informasi yang dibawa pesan asli dapat terlihat lebih jelas fungsinya, maka perlu dilakukan identifikasi dengan memisahkan setiap informasi. Sebuah pesan asli memiliki format hhmmsddbttLLLLLLLLBBBBBBBBlljj, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 1.

Posisi Lintang dan Bujur yang ada pada pesan asli yang diterima adalah dalam format kode ASCII. Berdasarkan tabel kode ASCII, nilai 83 adalah S (*South*) yang menyatakan Lintang Selatan dan nilai 69 adalah E (*East*) yang menyatkan Bujur Timur. Sedangkan untuk Nilai Paparan zat radioaktif, merupakan nilai pecahan dengan nilai maksimal 99,99 dalam satuan mR/jam (milliRoentgens per jam).



Gambar 3. (a) *Flowchart* proses penerimaan SMS terenkripsi
(b) *Flowchart* proses dekripsi SMS terenkripsi

TABEL 1
IDENTIFIKASI PESAN ASLI

No.	Data	Panjang Data
1.	Jam	hh (2 digit)
2.	Menit	mm (2 digit)
3.	Detik	ss (2 digit)
4.	Tanggal	dd (2 digit)
5.	Bulan	bb (2 digit)
6.	Tahun	tt (2 digit)
7.	Koordinat Lintang	LLLLLLLL (8 digit)
8.	Koordinat Bujur	BBBBBBBB (9 digit)
9.	Posisi Lintang	ll (2 digit)
10.	Posisi Bujur	jj (2 digit)
11.	Nilai Paparan	pppp (3 sampai 4 digit)

Koordinat yang dibawa oleh pesan asli merupakan koordinat dalam format derajat (*degree*) dan menit (*minutes*) atau disebut juga dengan koordinat MinDec. Format koordinat ini adalah derajat menit koma menit (dd mm.mmmm). Tanda minus (-) pada koordinat lintang menunjukkan Selatan (*South*) dan tanda (+) menunjukkan Utara (*North*). Koordinat dengan format derajat menit (MinDec) yang ada pada pesan asli perlu diubah lagi menjadi format derajat desimal (DegDec). Hal ini perlu dilakukan agar koordinat dapat ditunjukkan dengan benar pada peta Google Maps, karena Google Maps menggunakan koordinat berformat derajat desimal [8].

D. Pemodelan Sistem

Untuk menjelaskan bagaimana hubungan yang terjadi antara pengguna dengan sistem informasi dan sistem informasi dengan IVM, maka akan dimodelkan dengan diagram *Use Case* pada Gambar 4. *Use Case* pada Gambar 5 menjelaskan interaksi antara aktor yang terlibat di dalam sistem informasi, yaitu:

1. Pengunjung

Dapat melakukan *login* apabila telah terdaftar sebagai Pengunjung. Aktor ini dapat melihat peta dan tabel perjalanan zat radioaktif yang dipesannya.

2. Administrator

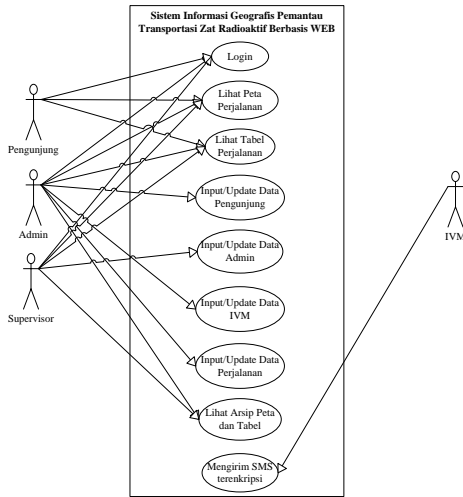
Dapat melakukan *login* apabila telah terdaftar sebagai Admin. Aktor ini dapat melihat seluruh peta dan tabel perjalanan zat radioaktif. Admin dapat meng-*input* atau meng-*update* data pengunjung, perjalanan zat radioaktif, IVM, melihat arsip peta dan tabel.

3. Supervisor

Dapat melakukan *login*, melihat semua peta, dan tabel perjalanan. Supervisor dapat meng-*input* atau meng-*update* data Administrator. Supervisor juga dapat melihat semua arsip peta dan tabel.

4. IVM

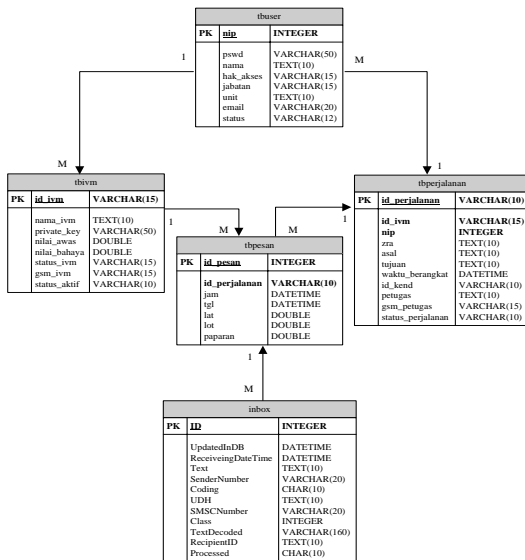
Aktor ini merupakan mesin yang mengirimkan data SMS terenkripsi ke sistem informasi (CRM).



Gambar 4. Use Case Diagram CRM

E. Perancangan Database

Terdapat lima tabel pada *database* yang dirancang untuk sistem informasi geografis pemantau transportasi zat radioaktif yang terdiri dari tabel *user*, tabel IVM, tabel pesan, tabel perjalanan, dan tabel *inbox*. Dalam pemodelan struktur data dan hubungan antara tabel pada *database* sistem informasi geografis pemantau zat radioaktif digunakan *Entity Relationship Diagram* (ERD) pada Gambar 5.



Gambar 5. Entity Relationship Diagram (ERD) CRM

IV. PENGUJIAN DAN HASIL

A. Pengujian

Untuk mengetahui kinerja IVM dalam mengirimkan SMS terenkripsi dan CRM yang mengolah data SMS tersebut menjadi informasi, dilakukan sebuah perjalanan (transportasi) zat radioaktif dari tempat asal ke tempat tujuan dengan menggunakan zat radioaktif berupa kaos lampu petromaks yang memiliki tingkat radiasi rendah. Pada penelitian ini, IVM di-*setting* untuk mengirimkan SMS terenkripsi setiap 1 menit sekali. Dalam perjalanan yang dilakukan selama kurang lebih 16 menit tersebut, IVM mengirimkan 15 SMS. Kelima belas data tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

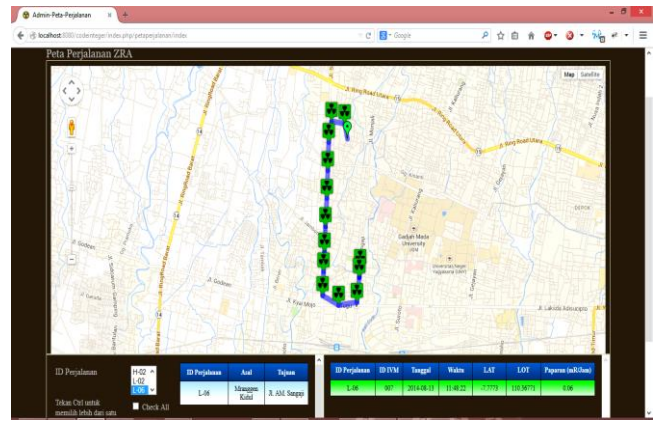
TABEL 2
DATA SMS TERENKRIPSI YANG DITERIMA CRM

Waktu	SMS Terenkripsi
11:32:28	*675454986706029562047169007802349243636820095408531734076118259214460618#
11:33:38	*419616184782027902465323663424521885470190293484539161664372802986642250#
11:34:46	*075232768100483982421909443848507205036826877802995149740958677890628674#
11:35:55	*122141651671574219994272316511212174183844760373086484903221547603333543#
11:37:04	*140503851893710457358634938573696374101315960595222658947683168255717743#
11:38:13	*615894584544061700869967601204127261676855693246573036338916820906248630#
11:39:23	*766981499631910217356256392519870996727040508333422569615205510801991365#
11:40:31	*493272584382601740681965225820385661455441693084113015880914441842406030#
11:41:40	*891618302764863700021569263448967821853996411466375093280518489650088290#
11:42:49	*588909073259318433916492976911012754540396182951820747435441191253133123#
11:43:58	*968503691471914231754212994139414992920009700173426554013261136731535367#
11:45:09	*075830584562809768643567203628303801037445693264311088432516565410424270#
11:46:16	*479214300128821304063983621060123043431078419820333601032932986622244412#
11:47:25	*526787635255190895534852936715810396588650744957602192503801291377931765#
11:48:35	*162985237015970431518856534395816352124967346717482720447805890767937727#

Pada pengujian ini IVM menggunakan GSM provider Indosat IM3 dan pengujian dilakukan pada pukul 12.00 WIB. Transportasi zat radioaktif yang dilakukan pada saat pengujian ini menggunakan *private key* 1528400211125623749821539408762486319. Terdapat perbedaan kunci publik di setiap pesan terenkripsi dengan *private key* yang digunakan. Setelah dilakukan dekripsi dan diidentifikasi dengan memisahkan data SMS terdekripsi, akan menghasilkan data yang ditampilkan pada Tabel 3. Pada Tabel 3 dapat dilihat statistik waktu SMS terenkripsi yang diterima CRM. Terdapat jeda waktu yang bervariasi pada kelima SMS yang diterima CRM. Untuk mengetahui variasi sebaran data jarak waktu SMS tersebut, dilakukan penghitungan simpangan baku (standar deviasi) pada Tabel 4.

TABEL 3
IDENTIFIKASI PESAN TERDEKRIPSI YANG DITERIMA CRM

Jam	Tanggal	LAT	LOT	Paparan
11:32:16	2014-08-13	-7.75781	110.36538	0.06
11:33:24	2014-08-13	-7.75553	110.36488	0.06
11:34:34	2014-08-13	-7.75553	110.36247	0
11:35:43	2014-08-13	-7.75833	110.36199	0
11:36:52	2014-08-13	-7.76259	110.36175	0
11:38:01	2014-08-13	-7.76674	110.36159	0
11:39:09	2014-08-13	-7.77104	110.36136	0
11:40:19	2014-08-13	-7.77486	110.36114	0
11:41:28	2014-08-13	-7.77785	110.36101	0
11:42:37	2014-08-13	-7.7814	110.36085	0
11:43:46	2014-08-13	-7.78287	110.36374	0.06
11:44:55	2014-08-13	-7.78246	110.36711	0
11:46:04	2014-08-13	-7.77865	110.36757	0
11:47:13	2014-08-13	-7.77865	110.36757	0
11:48:22	2014-08-13	-7.77730	110.36770	0.06



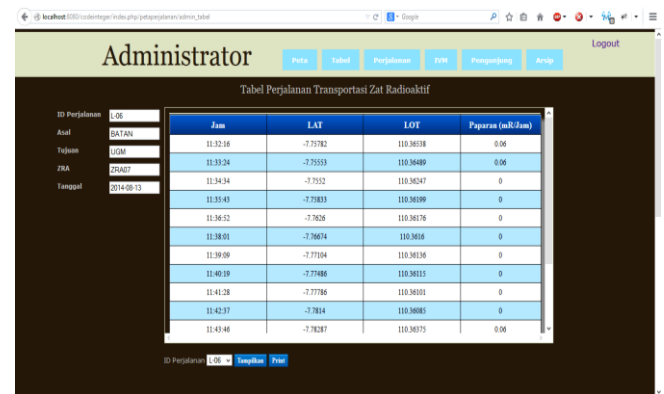
Gambar 6. Tampilan Halaman Peta Perjalanan

TABEL 4
STANDAR DEVIASI JARAK WAKTU SMS YANG DITERIMA CRM

Waktu SMS Diterima	Jarak Antar Waktu
11:32:28	
11:33:38	00:01:10
11:34:46	00:01:08
11:35:55	00:01:09
11:37:04	00:01:09
11:38:13	00:01:09
11:39:23	00:01:10
11:40:31	00:01:08
11:41:40	00:01:09
11:42:49	00:01:09
11:43:58	00:01:09
11:45:09	00:01:11
11:46:16	00:01:07
11:47:25	00:01:09
11:48:35	00:01:10
Jumlah	00:16:07 (967 detik)
Rata-rata	69,071 detik
Standar Deviasi	0,9972 detik

2. Halaman Tabel Perjalanan

Halaman Tabel Perjalanan menampilkan data perjalanan secara keseluruhan yang dikelompokkan berdasarkan ID Perjalanan yang dipilih. Tampilan halaman Tabel Perjalanan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Halaman Tabel Perjalanan

B. Hasil

Setelah dilakukan analisis dan perancangan, maka sistem informasi dapat diaplikasikan menjadi sebuah sistem informasi pemantau transportasi zat radioaktif berbasis web. Berikut ini akan ditampilkan beberapa fitur yang dapat dilakukan oleh sistem pemantau.

1. Halaman Peta Perjalanan

Pada halaman Peta Perjalanan akan menampilkan jalur transportasi zat radio aktif secara *real-time*. Pada halaman ini juga terdapat tabel yang menampilkan data *update* perjalanan yang sedang berlangsung, serta memberikan informasi kepada pengambil keputusan apabila terjadi kebocoran zat radioaktif. Informasi kebocoran pada peta disimbolkan dengan *icon* berwarna kuning untuk status awas, merah untuk status bahaya, sedangkan jika berwarna hijau zat radioaktif dalam keadaan aman. Pada tabel, informasi tersebut ditandai dengan warna kolom hijau, kuning dan merah. Namun karena zat radioaktif yang digunakan memiliki paparan radiasi yang kecil, sehingga dalam penelitian ini tidak terjadi paparan di atas batas normal. Tampilan halaman Peta Perjalanan ditunjukkan pada Gambar 6.

3. Halaman Arsip Perjalanan

Halaman Arsip Perjalanan berguna bagi Administrator dan Supervisor untuk mengetahui perjalanan yang telah selesai dilakukan. Halaman arsip perjalanan dapat menampilkan arsip perjalanan dalam bentuk peta, tabel, dan data dalam format pdf. Gambar 8 menunjukkan tampilan halaman Arsip Perjalanan.



Gambar 8. Tampilan Halaman Arsip Perjalanan

4. Statistik Penerimaan SMS dari IVM ke CRM

Berdasarkan statistik pengujian yang dilakukan, IVM di-setting untuk mengirimkan SMS secara periodik setiap 1 menit sekali, namun CRM menerima SMS tersebut tidak tepat setiap 1 menit sekali. Hal ini dapat dikarenakan oleh beberapa faktor, seperti waktu komputasi yang diperlukan IVM untuk mengenkripsi SMS dan proses pengiriman SMS yang dapat dipengaruhi oleh kepadatan lalu lintas operator GSM yang terdapat pada IVM. Pada saat pengujian menggunakan IVM dengan GSM Indosat IM3 sebagai pengirim SMS pada siang hari, menghasilkan perbedaan waktu penerimaan SMS dengan rata-rata 69,071 detik sekali dengan standar deviasi 0,9972 detik. Pada penelitian ini tidak dibahas lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi variasi waktu penerimaan SMS pada CRM dan perbandingan pengiriman SMS dari IVM dengan menggunakan beberapa operator GSM dan waktu pengujian yang berbeda.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian, SMS terenkripsi yang dikirimkan IVM berhasil didekripsi dengan algoritme *hybrid* Vigenere dan Vernam yang dikembangkan pada perangkat lunak CRM. Sistem informasi ini dapat memantau transportasi secara *real-time* serta dapat memberikan peringatan kepada pihak pengambil keputusan apabila terjadi kebocoran. Jarak waktu penerimaan SMS oleh CRM mendekati waktu pengiriman periodik yang dilakukan IVM yaitu setiap 1 menit sekali, dengan rata-rata waktu penerimaan SMS setiap 69,071 detik sekali dengan standar deviasi 0,9972 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "UU Ketenaganukliran," in *Pasal 1 ayat 9*, ed. Indonesia, 1997.
- [2] Purwantoro, "Sistem Informasi Pemantau Pengangkutan Zat Radioaktif Berbasis Google Maps," *Elektronika Instrumentasi, STTN Yogyakarta*, Yogyakarta, 2013.
- [3] N. Adi Abimanyu, Jumari, "Implementasi Algoritma Vigenere Menggunakan Mikrokontroler Untuk Pengiriman SMS Pada Sistem Pemantau Pengangkutan Zat Radioaktif," *Prosiding Seminar* 2013.
- [4] A. Abimanyu, "Rancang Bangun Sistem Pemantau Pengangkutan Zat Radioaktif Menggunakan SMS Tersandi," Program Pascasarjana Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [5] R. Munir, "Algoritma Enkripsi Citra dengan Pseudo One-Time Pad yang Menggunakan Sistem Chaos," *KNIF*, 2011.
- [6] R. R. I. Raidah Hanifah, Yuli Christyono, "Simulasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Pemantauan Posisi Kendaraan Via SMS Gateway," *Online Jurnal TRANSMISI*, pp. 45-49, 2010.
- [7] D. Ariyus, *Kriptografi Keamanan Data dan Komunikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [8] D. P. Dhimas Novergust, Taufiqurrahman, "Sistem Online Untuk Keamanan dan Pelacakan Kendaraan Menggunakan GPS Tracker dan Google Map," *Politeknik Elektronika Negeri Surabaya* 2012.

Model Perhitungan Bobot Jalur Optimal pada Kasus Pencarian Jalur Tercepat

Slamet Wiyono, Teguh Bharata Adji, Hanung Adi Nugroho
Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia

Abstract – Route planning in *Dijkstra* algorithm is calculated based on weight. This weight is usually represented as a constant. However in many and most cases, consume time the density of road lanes are absolutely disparate. Thus, weight calculations which is based on road condition are required. The calculations are done by group in time to consume based on the mean of user's speed. If the arrival time (T_{finish}) belongs to the different group of time to consume with the departure time (T_{start}), then a detailed calculation is done by looking for an appropriate weight which fits with the remaining group of time to consume. The optimal calculation gained varies of time, while conventional calculation gained one single time to consume.

Key words - weight, optimal calculation, conventional calculation

Abstrak –Pemilihan rute pada algoritme *Dijkstra* dilakukan berdasarkan nilai bobot. Nilai bobot tersebut telah ditentukan dan bersifat tetap. Pada kenyataannya, waktu tempuh dan kepadatan suatu ruas jalur berbeda-beda. Dengan demikian diperlukan perhitungan bobot dengan menyesuaikan kondisi jalan. Perhitungan tersebut dilakukan dengan membuat kelompok waktu berdasarkan kecepatan pengguna jalan kemudian menghitung bobot waktu berdasarkan kelompok waktu tersebut. Apabila waktu sampai (T_{akhir}) masuk dalam kelompok waktu yang berbeda dengan waktu berangkat (T_{awal}), maka dilakukan perhitungan yang lebih detail dengan mencari nilai bobot sesuai dengan kelompok waktu yang ada. Hasil perhitungan menggunakan model optimal dan model biasa didapatkan hasil yang berbeda. Perhitungan optimal mendapatkan nilai bobot waktu yang bervariasi sedangkan perhitungan biasa mendapatkan nilai bobot waktu yang tetap.

Kata kunci – nilai bobot, model optimal, model biasa

I. PENDAHULUAN

Pencarian rute tercepat saat melakukan perjalanan merupakan hal yang perlu dilakukan. Pencarian rute tercepat tersebut bermanfaat untuk menghindari pusat keramaian [1], menjadikan waktu perjalanan lebih efektif seperti dalam mencari lokasi wisata [2] dan membantu mobil ambulans menuju rumah sakit [3]. Selain efektivitas waktu perjalanan, jalur tercepat juga bermanfaat untuk

meminimalkan biaya perjalanan karena semakin menghemat bahan bakar dan tenaga.

Penelitian tentang pencarian jalur tercepat telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian berusaha mencari algoritme terbaik dengan cara membandingkan algoritme yang sudah ada untuk mendapatkan jalur tercepat. Beberapa penelitian lain hanya mengaplikasikan algoritme yang sudah ada untuk mengatasi pencarian jalur tercepat. Selain itu, penelitian dengan menggabungkan beberapa algoritme juga telah dilakukan seperti penggabungan algoritme *fuzzy* dan *Dijkstra* [4].

Algoritma *Dijkstra* merupakan algoritma yang sering digunakan dalam kasus pencarian jalur tercepat [5]. Algoritma *Dijkstra* adalah algoritma untuk mendapatkan jalur terpendek dengan nilai bobot tiap jalur non-negatif [6]. Algoritma ini menyelesaikan suatu permasalahan pemilihan rute perjalanan dengan menghasilkan satu rute [7], dari lokasi awal menuju lokasi tujuan [8], untuk mendapatkan rute terdekat, tercepat ataupun termudah [9].

Pemilihan rute pada algoritme *Dijkstra* dilakukan berdasarkan nilai bobot tiap ruas jalan. Nilai bobot tersebut nilainya telah ditentukan dan bernilai tetap. Pada kenyataannya, untuk menempuh suatu ruas jalan didapatkan waktu tempuh yang berbeda-beda sesuai dengan kondisi jalan. Dengan demikian memungkinkan adanya waktu tempuh yang berbeda antara waktu pagi, siang dan sore hari ataupun pada saat waktu padat dan waktu longgar. Oleh sebab itu, nilai bobot waktu yang digunakan untuk perhitungan jalur tercepat tidak selamanya tetap namun harus menyesuaikan kondisi yang ada. Selain itu, bobot akhir algoritme *Dijkstra* didapatkan dengan melakukan penjumlahan nilai bobot antara ruas jalur terdekat dengan tanpa mempertimbangkan perubahan nilai bobot pada suatu ruas jalur. Pada kenyataannya, saat menempuh ruas jalur terkadang tingkat kepadatan jalur dapat berubah sewaktu-waktu. Dengan demikian terkadang pada saat waktu yang sama terdapat nilai bobot jalur yang berbeda-beda antara awal jalur, tengah jalur, ataupun akhir jalur. Oleh karena itu, perbedaan nilai bobot tersebut seharusnya menjadi pertimbangan dalam melakukan penjumlahan nilai bobot total.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu model perhitungan dalam mencari nilai bobot ruas jalur. Model perhitungan tersebut didasarkan dengan memperhatikan keadaan ruas jalur yang memiliki waktu tempuh dan nilai bobot ruas jalur yang berbeda-beda pada suatu ruas jalur. Dengan demikian penelitian ini bukan untuk mencari atau menghitung nilai bobot terkecil namun untuk menghitung nilai bobot ruas jalur sesuai dengan waktu keberangkatan.

II. LANDASAN TEORI

A. Algoritme

Algoritme adalah logika, metode, dan tahapan (urutan) sistematis yang digunakan untuk memecahkan suatu permasalahan. Algoritma dapat juga diartikan sebagai urutan langkah secara sistematis dan logis [10].

Secara spesifik, pengertian algoritme adalah suatu metode khusus yang tepat dan terdiri dari serangkaian langkah yang terstruktur dan dituliskan secara matematis, yang akan dikerjakan untuk menyelesaikan suatu masalah dengan bantuan komputer [10].

B. Algoritme Dijkstra

Algoritme Dijkstra bertujuan untuk menemukan jalur terpendek berdasarkan bobot terkecil dari satu titik ke titik lainnya. Langkahnya yaitu pertama-tama dengan menentukan titik yang akan dijadikan *node* awal, kemudian memberikan nilai bobot pada semua ruas jalur. Algoritma ini akan melakukan pengembangan pencarian dari satu titik ke titik lain dan ke titik selanjutnya tahap demi tahap. Inilah urutan logika dari algoritme *Dijkstra*:

- Beri nilai bobot (jarak) untuk *setiap* titik ke titik lainnya, lalu *set* nilai 0 pada *node* awal dan nilai tak hingga terhadap *node* lain (belum terisi).
- *Set* semua *node* “Belum terjamah” dan *set* *node* awal sebagai “*Node* keberangkatan”
- Dari *node* keberangkatan, pertimbangkan *node* tetangga yang belum terjamah dan hitung jaraknya dari titik keberangkatan. Sebagai contoh, jika titik keberangkatan A ke B memiliki bobot jarak 6 dan dari B ke *node* C berjarak 2, maka jarak ke C melewati B menjadi 6+2=8. Jika jarak ini lebih kecil dari jarak sebelumnya (yang telah terekam sebelumnya) hapus data lama, simpan ulang data jarak dengan jarak yang baru.
- Saat kita selesai mempertimbangkan *setiap* jarak terhadap *node* tetangga, tandai *node* yang telah terjamah sebagai “*Node* terjamah”. *Node* terjamah tidak akan pernah di cek kembali, jarak yang disimpan adalah jarak terakhir dan yang paling minimal bobotnya.
- *Set* “*Node* belum terjamah” dengan jarak terkecil (dari *node* keberangkatan) sebagai “*Node* Keberangkatan” selanjutnya dan lanjutkan dengan kembali ke step 3

C. Jalur Tercepat

Dalam menentukan jalur tercepat parameter *external* yang ikut menentukan pembobotan (*Cost Field*) adalah jarak dan kondisi laju kendaraan. Jarak dimodelkan dengan *l*. Kondisi laju kendaraan diwakili oleh kecepatan *v*. Untuk menentukan *cost field* tercepat dapat dimodelkan dengan (*CF*) = jarak / kecepatan, l/v [11].

III. METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data *dummy*. Penggunaan data tersebut dikarenakan penelitian yang akan dilakukan berupa pembuatan model sehingga tidak membutuhkan data nyata. Namun demikian, data yang digunakan dibuat seolah-olah mendekati nyata sesuai dengan kondisi jalan yang ada pada waktu-waktu tertentu.

Data yang dibutuhkan antara lain:

- a) data panjang jalan,
- b) data kecepatan rata-rata pengguna jalan.

Data panjang jalan dan kecepatan rata-rata pengguna jalan digunakan untuk mencari waktu tempuh perjalanan berdasarkan persamaan (1).

$$t = \frac{S}{v} \tag{1}$$

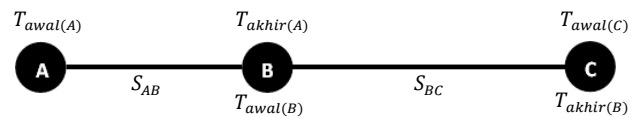
t = waktu tempuh (jam, detik)

S = panjang jalan (km, m)

v = kecepatan (km/jam, m/det)

Representasi Keadaan Jalan

Sebuah jalan memiliki beberapa parameter untuk pertimbangan dalam pemilihan jalur. Parameter panjang jalan dan kecepatan rata-rata pengguna jalan digunakan untuk menentukan waktu tempuh dari *node* awal ke *node* tujuan. Gambar 1 menunjukkan *graph* dua ruas jalur. Setiap ruas jalur memiliki T_{awal} dan T_{akhir} . $T_{awal(A)}$ menunjukkan keberangkatan *node* A sedangkan $T_{akhir(A)}$ menunjukkan waktu sampai *node* A. Panjang jalan ditunjukkan dengan huruf *S*. Panjang jalan dari *node* A ke *node* B dituliskan dengan simbol S_{AB} sedangkan panjang jalan dari *node* B ke *node* C dituliskan dengan simbol S_{BC} .



Gambar 1. *Graph* dua ruas jalur

1. Perbedaan Waktu Tempuh

Data kecepatan pengguna jalan setiap ruas jalur digunakan untuk mengidentifikasi adanya waktu tempuh yang dinamis. Waktu tempuh tersebut dapat diketahui dengan memperhatikan panjang jalan dan kecepatan pengguna jalan. Contoh data ruas jalur ditampilkan dalam Tabel I.

TABEL I
CONTOH KELOMPOK WAKTU BERDASARKAN KECEPATAN PENGGUNA JALAN

<i>n</i>	<i>t</i>		<i>v</i> (km/jam)
	<i>x</i>	<i>y</i>	
1	06.00	06.59	40
2	07.00	07.59	50
3	08.00	11.59	60
4	12.00	13.59	50
5	14.00	15.59	60
6	16.00	17.59	40
7	18.00	19.59	50
8	20.00	21.59	60
9	22.00	05.59	70

Simbol *n* menunjukkan kelompok waktu berdasarkan kecepatan rata-rata pengguna jalan. Sebagai contoh, n_1 berarti menunjukkan kelompok waktu pertama. Simbol *t* menunjukkan waktu, t_x menunjukkan batas waktu minimal dan t_y menunjukkan batas waktu maksimal. Sedangkan v (km/jam) menunjukkan kecepatan rata-rata pengguna jalan. Sehingga $t_{(n)x}$ menunjukkan batas minimal waktu pada kelompok waktu *n*, $t_{(n)y}$ menunjukkan batas maksimal waktu pada kelompok

waktu n , dan v_n menunjukkan kecepatan rata-rata pengguna jalan pada kelompok waktu n .

2. Perbedaan Bobot Jalur

Berdasarkan persamaan (1) maka dapat dicari waktu tempuh (bobot jalur) dengan membagi panjang jalan (S) dengan kecepatan pengguna jalan (v). Dengan melihat Gambar 2 dan Tabel I, untuk mendapatkan waktu tempuh dari node A ke node B dapat dicari dengan cara membagi S_{AB} dengan v pada saat n (v_n),

$$t_{AB} = \frac{S_{AB}}{V_n}$$

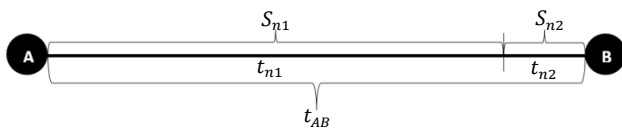
Waktu akhir node A ($T_{akhir(A)}$) dapat diketahui dengan menjumlahkan waktu keberangkatan dengan waktu tempuh dari node A ke node B.

$$T_{akhir(A)} = T_{awal(A)} + t_{AB}$$

Sebagai contoh, seseorang memulai perjalanan dari node A ($T_{awal(A)}$) pada pukul 06.00 (n_1) dan sampai pada ujung node A ($T_{akhir(A)}$) pada pukul 06.40 (n_1). Contoh tersebut menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata pengguna jalan dengan waktu keberangkatan pukul 06.00 pada ruas jalur A-B bernilai sama, hal ini karena pukul 06.00 dan pukul 06.40 masih dalam satu kelompok waktu yaitu n_1 . Dengan demikian bobot jalur A-B (t_{AB}) dengan waktu keberangkatan pukul 06.00 adalah sama, yaitu dari awal jalur sampai ujung jalur.

Permasalahan akan muncul apabila T_{awal} berada pada kelompok waktu yang berbeda dengan T_{akhir} , sebagai contoh T_{awal} berada pada pukul 06.00 (n_1) dan T_{akhir} berada pada pukul 07.10 (n_2). Permasalahan tersebut dikarenakan adanya dua kecepatan rata-rata yang digunakan untuk menghitung waktu tempuh, yaitu kecepatan pada saat n_1 dan pada saat n_2 . Dengan adanya dua kecepatan rata-rata tersebut maka mengharuskan untuk adanya dua waktu tempuh (bobot) dalam satu ruas jalur.

Gambar 2 menunjukkan contoh suatu ruas jalur yang memiliki bobot waktu yang berbeda dalam satu ruas. Simbol S_{n1} menunjukkan jarak yang ditempuh pada saat n_1 dan simbol S_{n2} menunjukkan jarak yang ditempuh pada saat n_2 . Simbol t_{n1} menunjukkan bobot waktu pada saat n_1 dan simbol t_{n2} menunjukkan bobot waktu pada saat n_2 . Simbol t_{AB} menunjukkan bobot total ruas jalur A-B.



Gambar 2. Simulasi jalur dengan bobot yang berbeda

Untuk menghitung bobot waktu dalam masalah tersebut dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

Langkah ke-1, mencari jarak yang telah ditempuh (S_{n1}) pada saat masih dalam kelompok waktu pertama (n_1).

$$S_{n1} = \frac{t_{(n2)x} - T_{awal(A)}}{60} \times v_{n1} \quad (2)$$

Langkah ke-2, mencari jarak yang belum ditempuh (S_{n2}) untuk kelompok waktu berikutnya (n_2).

$$S_{n2} = S_{AB} - S_{n1} \quad (3)$$

Langkah ke-3, mencari waktu tempuh (t_{n1}) untuk jarak yang telah ditempuh pada saat n_1 .

$$t_{n1} = \frac{S_{n1}}{v_{n1}} \quad (4)$$

Langkah ke-4, mencari waktu tempuh (t_{n2}) untuk jarak yang belum ditempuh pada saat n_2 .

$$t_{n2} = \frac{S_{n2}}{v_{n2}} \quad (5)$$

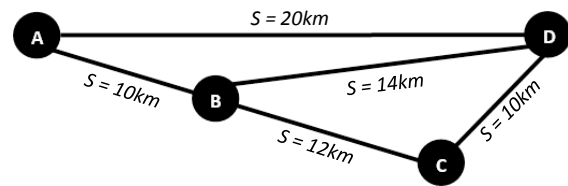
Langkah ke-5, langkah terakhir yaitu menghitung bobot jalur (t_{AB}).

$$t_{AB} = t_{n1} + t_{n2} \quad (7)$$

IV. PENGUJIAN MODEL

Pengujian dilakukan untuk membandingkan perhitungan yang diajukan dengan perhitungan biasa dalam menghitung bobot suatu ruas jalur. Gambar 3 menunjukkan graph simulasi dengan panjang ruas jalan yang telah diketahui. Gambar tersebut akan digunakan sebagai pengujian model. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. menghitung bobot waktu tempuh dari node A ke node D pada pukul 06.45
2. menghitung bobot waktu tempuh dari node A ke node D pada pukul 13.30
3. menghitung bobot waktu tempuh dari node A ke node D pada pukul 21.30
4. menghitung bobot waktu tempuh dari node A ke node D pada pukul 06.30 dengan menggunakan algoritme Dijkstra.



Gambar 3. Graph simulasi pengujian

Data kecepatan rata-rata pengguna jalan ditampilkan dalam Tabel II, III, IV, V, VI.

TABEL II
 DATA RUAS JALUR A-B

n	t		v(km/jam)
	x	y	
1	06.00	06.59	50
2	07.00	07.59	55
3	08.00	11.59	60
4	12.00	13.59	50
5	14.00	15.59	60
6	16.00	17.59	50
7	18.00	19.59	45
8	20.00	21.59	60
9	22.00	05.59	70

TABEL III
DATA RUAS JALUR A-D

n	t		v(km/jam)
	x	y	
1	06.00	06.49	40
2	06.50	11.59	55
3	12.00	13.59	50
4	14.00	15.59	55
5	16.00	17.59	50
6	18.00	19.59	40
7	20.00	21.59	55
8	22.00	05.59	70

TABEL IV
DATA RUAS JALUR B-C

n	t		v(km/jam)
	x	y	
1	06.00	06.30	60
2	06.31	07.29	50
3	07.30	08.59	55
4	10.00	11.59	60
5	12.00	13.59	50
6	14.00	15.59	60
7	16.00	17.59	45
8	18.00	21.59	50
10	22.00	05.59	70

TABEL V
DATA RUAS JALUR B-D

n	t		v(km/jam)
	x	y	
1	06.00	06.59	55
2	07.00	07.30	50
3	07.31	11.59	55
4	12.00	12.20	50
5	12.21	16.00	55
6	16.01	17.59	45
7	18.00	19.59	50
8	20.00	21.59	55
9	22.00	05.59	80

TABEL VI
DATA RUAS JALUR C-D

n	t		v(km/jam)
	X	y	
1	06.00	06.39	60
2	06.40	07.29	50
3	07.30	08.59	55
4	10.00	11.59	60
5	12.00	13.59	50
6	14.00	15.59	60
7	16.00	17.59	45
8	18.00	21.30	50
9	22.00	05.59	70

A. Perhitungan Optimal

1. node A ke node D pada pukul 06.45

Diketahui bahwa waktu $T_{awal(AD)}$ pukul 06.45 (n_1).

Waktu tempuh (t_{AD})= 30 menit

$T_{akhir(AD)} = 06.45 + 30 = 07.15$ (n_2).

Karena berada pada kelompok waktu yang berbeda maka digunakan perhitungan yang lebih detail sehingga diperoleh waktu tempuh,

- $S_{n1} = 0.667$ km

- $S_{n2} = 13.33$ km

- $t_{n1} = 1$ menit

- $t_{n2}(\text{saat } n_2) = 26.7$ menit

- Waktu tempuh (t_{AD})= 1 + 26.7 = 27.7 menit

Dengan demikian waktu tempuhnya adalah 27.7 menit.

2. node A ke node D pada pukul 13.30

Diketahui bahwa waktu $T_{awal(AD)}$ pukul 13.30 (n_3).

Waktu tempuh (t_{AD})= 24 menit

$T_{akhir(AD)} = 13.30 + 24 = 13.54$ ($n = 3$).

Dengan demikian waktu tempuhnya adalah 24 menit.

3. node A ke node D pada pukul 21.30

Diketahui bahwa waktu $T_{awal(AD)}$ pukul 21.30 (n_7).

Waktu tempuh (t_{AD})= 22 menit.

$T_{akhir(AD)} = 21.30 + 22 = 21.55$ (n_8).

Karena berada pada kelompok waktu yang berbeda maka digunakan perhitungan yang lebih detail sehingga diperoleh waktu tempuh,

- $S_{n7} = 0.917$ km

- $S_{n8} = 19.083$ km

- $t_{n7} = 1$ menit

- $t_{n8} = 16.36$ menit

- Waktu tempuh (t_{AD})= 1 + 16.36 = 17.36 menit

Dengan demikian waktu tempuhnya adalah 17.36 menit.

4. Perhitungan algoritme Dijkstra pukul 06.30

Proses perhitungan ditampilkan dengan Tabel VII dan Tabel VIII .

TABEL VII
PERHITUNGAN KE-1 METODE OPTIMAL

Visited	Node		
	B	D	C
A	12	36	-
Next node	B	D	
Time	06.42	07.06	-

Dengan melihat Tabel VI diketahui ruas jalur AB adalah ruas dengan bobot terkecil yaitu 12, maka ruas jalur AB dipilih sebagai rute sementara. Selanjutnya adalah menandai node B.

TABEL VIII
PERHITUNGAN KE-2 METODE OPTIMAL

Visited	Node		
	B	C	D
B	-	14	15
AB	12	26	27
Next node	<u>B</u>	C	D
Time	06.42	06.56	06.57

Pemilihan jalur A-D digantikan dengan jalur A-B-D karena memiliki waktu tempuh yang lebih cepat, sehingga nilai node D diganti dari 36 menjadi 27. Karena rute A-B-C memiliki waktu tempuh yang lebih cepat dari rute A-B-D, maka rute A-B-C dipilih sebagai rute terpilih sementara. Selanjutnya adalah menandai node C.

Dengan melihat Gambar 3 dan Tabel VI diketahui bahwa: $T_{akhir(BC)} = T_{awal(CD)} = \text{pukul } 06.56 (n = 2)$.
 Waktu tempuh (t_{CD}) = 12 menit
 $T_{akhir(BC)} = 06.56 + 12 = 07.06 (n = 2)$
 Dengan demikian maka bobot jalur C-D adalah 12 menit.

TABEL IX
 PERHITUNGAN KE-3 METODE OPTIMAL

Visited	Node	
	C	D
C	-	12
ABC	26	38
Next node	<u>C</u>	<u>D</u>
Time	06.56	07.06

Jalur A-B-D memiliki waktu tempuh lebih cepat yaitu dengan waktu sampai pukul 06.57 (bobot waktu = 27), sedangkan jalur A-B-C-D dengan waktu sampai pukul 07.06. Dengan demikian maka rute yang terpilih yaitu jalur A-B-D.

B. Perhitungan Biasa

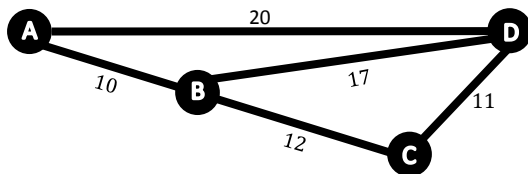
Perhitungan biasa dilakukan dengan tanpa memperhatikan waktu tempuh dan kepadatan jalan yang berbeda-beda. Misal untuk kecepatan rata-rata pengguna jalan ruas jalur A-D adalah 50km/jam , maka bobot waktunya adalah:

$$T_{akhir(AD)} = S_{AD}/v = 20/50 = 0.4\text{jam} = 24 \text{ menit}$$

Dengan demikian maka nilai bobot waktu pada pukul 06.45, 13.30, dan 21.30 adalah sama yaitu 24 menit.

Perhitungan algoritme Dijkstra pukul 06.30

Perhitungan biasa dilakukan dengan memberikan nilai tetap bobot pada masing-masing ruas jalur. Nilai tersebut ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 3.4. Graph dengan nilai bobot tetap

TABEL X
 PERHITUNGAN KE-1 METODE BIASA

Visited	Node		
	B	D	C
A	10	20	-
Next node	B	D	-
Time	06.40	06.50	

Dengan melihat Tabel X diketahui ruas jalur AB adalah ruas dengan bobot terkecil yaitu 12, maka ruas jalur AB dipilih sebagai rute sementara. Selanjutnya adalah menandai node B.

TABEL XI
 PERHITUNGAN KE-2 METODE BIASA

Visited	Node		
	B	C	D
B	-	12	17
AB	10	22	27
Next node	<u>B</u>	C	D
Time	06.40	06.52	06.57

Karena rute A-B-C dan A-B-D tidak lebih kecil dari rute sebelumnya (A-D) maka rute A-B-C dan A-B-D diabaikan dan tidak mengupdate bobot node D. Dengan demikian maka rute yang terpilih adalah rute A-D dengan waktu sampai pukul 06.50

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian 1, 2, dan 3 ditampilkan dalam Tabel XII dan Tabel XIII. Tabel XII menunjukkan hasil perhitungan dengan metode biasa dan Tabel XIII menunjukkan hasil perhitungan dengan metode optimal yang diajukan.

TABEL XII
 PERHITUNGAN BIASA

T_{awal}	Jarak (km)	Bobot (menit)	Total bobot (menit)
06.45	0 - 20	24	24
13.30	0 - 20	24	24
21.30	0 - 20	24	24

TABEL XIII
 PERHITUNGAN OPTIMAL

T_{awal}	Jarak (km)	Bobot (menit)	Total bobot (menit)
06.45	0 - 0.677	1	27.7
	0.678 - 20	26.7	
13.30	0 - 20	24	24
21.30	0 - 0.917	1	17.36
	0.918 - 20	16.36	

Pengujian dengan menggunakan perhitungan biasa didapatkan bobot waktu ruas jalur A-D yang sama yaitu 24 menit. Nilai tersebut bernilai sama sepanjang 20 km ruas jalur A-D. Nilai bobot bernilai tetap dikarenakan perhitungan bobot tidak memperhatikan keadaan laju kendaraan dan kepadatan jalan yang berbeda-beda.

Pengujian dengan menggunakan perhitungan optimal didapatkan bobot waktu yang bervariasi. Nilai bobot berbeda antara waktu satu dengan waktu lainnya. Selain itu, nilai bobot ruas jalur terkadang berbeda untuk jarak tertentu. Pada saat waktu berangkat pukul 13.30, nilai bobotnya bernilai sama yaitu 24 menit sepanjang 20 km ruas jalur A-D. Kemudian pada saat waktu berangkat pukul 06.45, nilai bobot untuk jarak 0 - 0.677 km bernilai 1 menit sedangkan jarak setelahnya sampai 20 km bernilai 26.7 menit. Dan pada saat waktu berangkat pukul 21.30, nilai bobot untuk jarak 0 - 0.917 km bernilai 1 menit sedangkan jarak setelahnya sampai 20 km bernilai 16.36 menit.

Pada umumnya, kondisi jalan pada pagi hari akan berbeda dengan kondisi pada siang hari atau malam hari. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan menggunakan metode optimal, nilai bobot pada pukul 06.45 berbeda dengan pukul 13.30 dan pukul 21.30. Perhitungan tersebut berbeda dengan perhitungan biasa. Perhitungan biasa menghasilkan nilai bobot yang sama pada pukul 06.45, pukul 13.30 dan pukul 21.30.

Pada saat sedang melakukan perjalanan, kondisi ruas jalur terkadang memiliki tingkat kepadatan yang berbeda

antara awal, tengah, ataupun akhir ruas jalur. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan menggunakan metode optimal, nilai bobot terkadang bernilai sama sepanjang ruas jalur dan terkadang berbeda. Nilai bobot yang berbeda dihasilkan seperti perhitungan pada saat waktu keberangkatan pukul 06.45 dan pukul 21.30. Perhitungan tersebut berbeda dengan perhitungan biasa. Perhitungan biasa menghasilkan nilai bobot yang sama sepanjang ruas jalur.

Tabel XIV menunjukkan kondisi nyata jalan dengan panjang 2 km, yang memiliki waktu tempuh bervariasi dan rata-rata laju kendaraan yang terkadang berbeda.

TABEL XIV
KONDISI NYATA SUATU RUAS JALUR

T_{awal}	Jarak (meter)	v (km/jam)	t (detik)	t_{total} (detik)
06.45	0 – 600	40	60	310
	601 – 2000	20	250	
13.30	0 – 900	40	80	160
	901 – 2000	50	80	
21.30	0 – 2000	60	200	200

Hasil perhitungan model optimal menunjukkan kesesuaian dengan kondisi nyata jalan. Kesesuaian perhitungan optimal dengan kondisi nyata yaitu adanya waktu tempuh (bobot total) yang bervariasi. Dengan perhitungan optimal, nilai bobot sepanjang ruas jalur terkadang tidak sama. Hal itu sesuai dengan kondisi nyata yang memperlihatkan rata-rata laju kendaraan yang terkadang tidak stabil. Laju kendaraan yang tidak stabil tersebut dikarenakan adanya kepadatan jalan yang berubah pada saat melakukan perjalanan. Perubahan kepadatan jalur tersebut mengakibatkan waktu tempuh yang berbeda pula. Sehingga untuk jarak tertentu waktu tempuhnya akan berbeda walaupun masih dalam ruas jalur yang sama.

Hasil dari pengujian 4 ditampilkan dengan Tabel XV.

TABEL XV
HASIL PENGUJIAN 4

Algoritme	T_{start}	T_{finish}
Dijkstra standar	06.30	06.50 (A-D)
Dijkstra optimal	06.30	06.57 (A-B-D)

Tabel XV menunjukkan bahwa hasil perhitungan menggunakan metode biasa memiliki waktu tempuh yang lebih cepat dari metode yang diusulkan. Hasil tersebut disebabkan karena penggunaan nilai bobot yang tetap pada metode biasa dan penggunaan nilai bobot yang tidak tetap pada metode yang diusulkan. Penggunaan nilai bobot yang tidak tetap memungkinkan terjadinya hasil perhitungan yang lebih besar, atau lebih kecil, ataupun sama dengan hasil perhitungan metode biasa. Dengan demikian, metode yang lebih baik antara perhitungan *Dijkstra* standar dan *Dijkstra* optimal bukan dilihat dari hasil waktu tercepat namun dari proses perhitungan bobot jalur.

VI. KESIMPULAN

Hasil perhitungan optimal lebih sesuai dengan kondisi nyata dibandingkan dengan perhitungan biasa.

1. Hasil perhitungan metode yang diusulkan menunjukkan kesesuaian dengan kondisi nyata jalan. Kesesuaian tersebut ditunjukkan dengan adanya waktu tempuh (bobot waktu) yang bervariasi. Perhitungan dengan metode yang diusulkan memiliki nilai bobot ruas jalur yang terkadang sama dan terkadang berubah menyesuaikan kondisi kepadatan jalan. Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan kecepatan rata-rata laju kendaraan pada saat waktu keberangkatan.
2. Hasil perhitungan metode biasa diperoleh nilai waktu yang selalu tetap dan nilai bobot yang selalu sama sepanjang ruas jalur. Perhitungan tersebut dilakukan dengan memberikan nilai bobot yang tetap dan bernilai sama untuk semua kondisi.

Dengan demikian, perhitungan bobot jalur dengan memberikan nilai yang tetap untuk semua waktu dan nilai yang sama sepanjang ruas jalur adalah kurang sesuai dengan kenyataan sehingga perhitungan ini perlu diganti dengan perhitungan optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alexandros Efentakis, Dimitris Theodorakis, and Dieter Pfoser, "Crowdsourcing Computing Resources for Shortest-Path Computation," presented at the ACM SIGSPATIAL GIS'12, Redondo Beach USA, 2012.
- [2] Diana Okta Pugas, Maman Somantri, and Kodrat Imam Satoto, "Pencarian Rute Terpendek Menggunakan Algoritma Dijkstra dan Astar (A*) pada SIG Berbasis Web untuk Pemetaan Pariwisata Kota Sawahlunto," *TRANSMISI*, vol. 13, no. 1, pp. 27–32, 2011.
- [3] Smitha Shekar B, Narendra Kumar G, Usha Rani, Divyashree C K, Gayatri George, and Aparajitha Murali, "GPS Based Shortest Path for Ambulances using VANETs," presented at the ICWN 2012, vol. 49.
- [4] Moch Hannats Hanafi Ichsan, Erni Yudaningtyas, and M. Aziz Muslim, "Solusi Optimal Pencarian Jalur Tercepat dengan Algoritma Hybrid Fuzzy-Dijkstra," *EECCIS*, vol. 6, no. 2, Dec. 2012.
- [5] Dong ZHANG, ZuKuan WEI, Jae-Hong KIM, and ShuGuang TANG, "An Optimized Dijkstra Algorithm for Embedded-GIS," presented at the ICCDA 2010, 2010.
- [6] Anca E Iordan, "DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE ENVIRONMENT USED FOR SIMULATION OF SHORTEST PATHS ALGORITHMS," vol. 3, 2012.
- [7] Liang Dai, "Fast Shortest Path Algorithm for Road Network and Implementation." Honours Project, 2005.
- [8] N Kesswani and D Gopalani, "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MULTI-PARAMETER DIJKSTRA'S (MPD) ALGORITHM: A SHORTEST PATH ALGORITHM FOR REAL-ROAD NETWORKS," *IJAER*, vol. 2, no. 3, Sep. 2011.
- [9] G Navratil, "Curviness as a Parameter for Route Determination," Berlin, 2012.
- [10] "Pengertian Algoritma," www.pengertianahli.com. [Online]. Available: <http://www.pengertianahli.com/2013/12/pengertian-algoritma-apa-itu-algoritma.html>.
- [11] Much Aziz Muslim, "Aplikasi Penentuan Rute Terbaik Berbasis Sistem Informasi Geografis," *DINAMIK*, vol. 10, no. 2, pp. 76–83, May 2005.

Teknik Pemberian Rekomendasi Menu Makanan dengan Pendekatan *Contextual Model* dan *Multi-Criteria Decission Making*

Robertus Adi Nugroho¹, Ridi Ferdiana²
Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
robertusadi84@gmail.com¹, ridi@ugm.ac.id²

Abstract- Culinary tour becomes very popular among society. Many restaurant raised offering various delicious foods. We can easily find a lot of information about them through electronic and print media. Unfortunately, this information sometimes doesn't help us. Too many information make us confuse and hard to decide which one is the best one. People need a recommendation system that can help them to decide which food is the suitable one. Many criterias is used to decide which food will be eaten. People do not always eat a food because its popularity. People choose one menu maybe because its calorie, its price, its location, or something else. This research try to find the better way to give a food recommendation. Based on Weighted Sum Model calculation, this research want to build a better tehnik using Contextual Model. Contextual model makes the system more understand and more friendly.

Intisari- Wisata kuliner merupakan aktivitas yang populer saat ini. Banyak restoran atau rumah makan menawarkan makanan yang menarik. Banyak informasi disediakan mengenai wisata kuliner, baik melalui media cetak maupun elektronik. Akan tetapi, banyaknya informasi ini tidak serta merta membantu seseorang dalam memilih menu makanan. Pengguna menjadi bingung dan semakin kesulitan untuk menemukan makanan yang sesuai dengan yang mereka butuhkan. Banyak kriteria digunakan dalam memilih makanan. Ada yang melihat kandungan kalornya, harganya, lokasinya, atau sesuatu yang lain. Penelitian ini mencoba untuk menemukan cara yang lebih baik dalam memberikan rekomendasi menu makanan. Berbasis pada metode *Weighted Sum Model*, penelitian ini ingin membuat suatu teknik yang lebih baik dengan menerapkan *Contextual Model*. *Contextual Model* membuat suatu sistem menjadi lebih mengerti penggunaanya dan mudah digunakan.

Kata kunci — sistem rekomendasi, multi-criteria decision making, contextual model, wisata kuliner, menu makanan

I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah restoran atau rumah makan terjadi di setiap provinsi di setiap tahunnya [1]. Peningkatan ini diikuti dengan berubahnya pola hidup masyarakat dalam hal makan. Makan di luar rumah sudah menjadi gaya hidup masyarakat, khususnya masyarakat perkotaan.

Informasi mengenai kuliner banyak disediakan oleh media cetak dan elektronik. Bahkan di media sosial banyak dijumpai berbagai macam *sharing* mengenai pengalaman kuliner setiap penggunaannya. Informasi mengenai kelebihan atau kekurangan suatu restoran atau menu makanan dengan mudah dapat diperoleh. Banyaknya informasi itu, tidak serta merta membuat masyarakat (penikmat kuliner) menjadi semakin mudah menemukan apa yang mereka inginkan. Alih – alih ingin mendapatkan sesuatu yang diinginkan,

masyarakat malah mendapatkan terlalu banyak informasi dan jauh dari yang diharapkan.

Untuk mengatasi informasi yang terlalu banyak ini, beberapa peneliti membuat suatu sistem rekomendasi yang dapat menyaring informasi – informasi tersebut untuk mempersempit pencarian. Beberapa sistem yang ditawarkan menggunakan *content-based filtering* dan *collaborative filtering*. Metode *content-based filtering* merekomendasikan beberapa objek berdasarkan kesamaan objek yang direkomendasikan itu dengan objek yang pernah dipilih[2]. Sedangkan metode *collaborative filtering* merekomendasikan beberapa objek berdasarkan *rating* yang diberikan orang lain terhadap objek yang direkomendasikan itu[5]. Semakin baik *rating* dari sebuah objek maka peluang sebuah objek direkomendasikan akan semakin besar.

Dalam hal kuliner, kedua metode di atas tidak dapat memberikan rekomendasi dengan maksimal. Setiap orang mempunyai kriteria sendiri dalam memilih makanan. Jika suatu makanan diberi *rating* yang bagus oleh seseorang belum tentu sesuai untuk yang lain. Sebagai contoh, A memberi *rating* bagus untuk makanan sate di restoran X karena rasanya enak, akantetapi B tidak suka makan sate di restoran X karena harganya terlalu mahal baginya. Contoh lainnya, C senang makan ayam goreng di restoran Y karena harganya murah dan rasanya pun sudah cukup enak, akan tetapi D lebih memilih makan ayam goreng di restoran Z karena lokasinya lebih dekat dengan rumah D. Dari contoh di atas, terlihat bahwa A lebih mementingkan rasa, B lebih mementingkan harga, C lebih mementingkan harga, dan D lebih mementingkan lokasi. Masing-masing mempunyai kriteria yang berbeda.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, metode *Multi-Criteria Decission Making* (MCDM) merupakan metode yang sangat tepat digunakan. MCDM menganalisis langkah – langkah pengambilan keputusan[3]. Dalam MCDM ada 2 komponen penting yang perlu diperhatikan, yaitu: *alternatives* dan *criterias* [3]. Dua hal itulah yang menyebabkan MCDM menjadi solusi yang tepat untuk digunakan dalam rekomendasi menu makanan.

Metode *Weighted Sum Model* (WSM) adalah salah satu metode MCDM yang paling banyak digunakan saat ini [3]. Metode ini memiliki keakuratan hasil yang baik [4]. Penelitian ini akan mengkombinasikan WSM dengan model kontekstual. Model kontekstual membuat sistem menjadi lebih personal. Personalisasi sebuah sistem rekomendasi dapat meningkatkan efektivitas dari sistem itu sendiri [5][6].

Kriteria pemilihan yang digunakan pada penelitian ini ada tiga, yaitu kalori, harga, dan jarak. Teknik pemberian menu makanan yang diusulkan dalam penelitian ini diperuntukkan bagi orang yang sehat atau tidak menjalani suatu terapi diet yang membutuhkan perhitungan kalori khusus.

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Rekomendasi

Sistem Rekomendasi adalah sebuah perangkat lunak dan teknik memberikan suatu saran atau usulan mengenai suatu *item* untuk digunakan oleh penggunanya [5]. Yang dimaksud *item* adalah segala sesuatu yang direkomendasikan oleh sistem kepada penggunanya. Saran yang diberikan dapat berkaitan dengan segala hal yang berhubungan dengan proses pembuatan keputusan seperti, barang yang akan dibeli, musik yang akan didengarkan, atau berita yang akan dibaca.

Ada beberapa pendekatan yang dapat digunakan untuk membuat sistem rekomendasi [7], antara lain:

- 1) *Content-based*
- 2) *Collaborative Filtering*
- 3) *Demographic*
- 4) *Knowledge-based*
- 5) *Community-based*
- 6) *Hybrid*

Selain itu beberapa peneliti juga mencoba memperkenalkan pendekatan baru beberapa di antaranya adalah *Context Aware Recommender System* [8] dan *Multi-Criteria Recommender System* [9]

Beberapa faktor yang menyebabkan sebuah sistem rekomendasi digunakan, antara lain [2]:

- 1) Meningkatkan penjualan
- 2) Meningkatkan keberagaman barang yang terjual
- 3) Meningkatkan kepuasan pengguna
- 4) Meningkatkan loyalitas pengguna
- 5) Semakin memahami keinginan pengguna

B. Contextual Model

Pada *Context Aware Recommender System*, dikenal tiga paradigma penggunaan informasi kontekstual untuk menentukan rekomendasi suatu obyek[8]. Tiga paradigma itu antara lain:

1) *Contextual Pre-Filtering*: Informasi kontekstual digunakan untuk menyeleksi data terlebih dahulu sebelum data – data itu diberi *rating* dengan metode rekomendasi tertentu.

2) *Contextual Post-Filtering*: Informasi kontekstual digunakan untuk menyeleksi data setelah data – data tersebut diberi *rating* oleh metode rekomendasi tertentu

3) *Contextual Modeling*: Informasi kontekstual memberi pengaruh langsung dalam proses pemberian rekomendasi. Informasi kontekstual menjadi salah satu bagian yang berperan dalam menentukan *rating* terhadap suatu data.

C. Multi-Criteria Decision Making

Analisis mengenai cara seseorang mengambil keputusan mungkin sudah ada sejak manusia ada dalam dunia ini. Banyak penelitian sudah diadakan untuk mengembangkan metode – metode pengambilan keputusan. Beberapa diantaranya adalah *Weighted Sum Model* (WSM), *Weighted Product Model* (WPM), dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) [3].

Dalam MCDM dikenal istilah *alternatives* dan *attributes* [3]. *Alternatives* merepresentasikan pilihan – pilihan tindakan (*action*) yang dapat diambil oleh pengambil keputusan (*decision maker*), sedangkan *attributes* merepresentasikan

kriteria – kriteria (*decision criteria*) atau dimensi – dimensi yang berbeda yang dapat dilihat dari sebuah *alternative*.

Pada umumnya ada tiga tahap penting yang harus dilalui dalam menggunakan MCDM [3], yaitu:

- 1) Menentukan kriteria dan alternatif yang dibutuhkan
- 2) Menentukan bobot kepentingan (*relative importance*) dari setiap kriteria dan dampaknya terhadap setiap alternatif
- 3) Melakukan perhitungan numeris untuk mendapatkan peringkat dari setiap alternatif.

D. Weighted Sum Model

Weighted Sum Model merupakan salah satu metode *Multi-Criteria Decision Making* yang populer. Sama seperti metode *Multi-Criteria Decision Making* lainnya, metode ini memberi satu set alternatif pilihan berdasarkan beberapa kriteria pengambilan keputusan.

$$A_i^{WSM-Score} = \sum_{j=1}^n w_j a_{ij} \quad (1)$$

, for $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, m$

$A_i^{WSM-Score}$ merupakan skor WSM dari setiap alternatif A_i . w_j merupakan bobot relatif dari kriteria C_j sedangkan a_{ij} merupakan nilai performa dari alternatif A_i dengan kriteria C_j . Alternatif terbaik adalah alternatif dengan nilai $A_i^{WSM-Score}$ terbesar atau maksimal.

E. Penilaian Status Gizi

Koup Devenport menggunakan cara penilaian status gizi dengan menghitung Indeks massa Tubuh (IMT) atau *Body Mass Index* (BMI). Cara ini digunakan untuk mengetahui status gizi orang dewasa berusia 18 tahun atau lebih. Pengukuran dengan Indeks Massa Tubuh memiliki kelebihan [10], yaitu :

- 1) Pengukuran sederhana dan mudah dilakukan.
- 2) Kelebihan dan kekurangan berat badan dapat ditentukan.

Kekurangannya antara lain:

- 1) Hanya bisa digunakan untuk menentukan status gizi orang dewasa (usia 18 tahun ke atas).
- 2) Tidak dapat diterapkan pada bayi, anak, remaja, ibu hamil, dan olahragawan.
- 3) Tidak dapat digunakan untuk menentukan status gizi bagi orang yang menderita edema, asites dan hepatomegali.

Tabel I. Status Gizi

Status Gizi	Pria	Wanita
Kurus	< 20,1	< 18,7
Normal	20,1 – 25,0	18,7 – 23,8
Obesitas	>30	> 28,6
Rata – rata	22,0	20,8

Cara penilaiannya adalah menggunakan formulasi berikut ini:

$$IMT = \frac{\text{berat badan (kg)}}{\text{tinggi badan}^2 (\text{m}^2)} \quad (2)$$

Untuk mengetahui status gizinya, nilai IMT selanjutnya dibandingkan dengan nilai Tabel I [10].

F. Kebutuhan Kalori Tubuh

Kalori merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan banyaknya energi yang dikeluarkan atau dibutuhkan. Kalori merupakan unit terkecil dari energi. Energi yang dikeluarkan selama aktifitas fisik dan terkandung dalam makanan diukur dalam kilokalori (kcal)[11].

Kebutuhan kalori setiap orang tergantung dari energi yang digunakan untuk beraktivitas setiap hari. Kebutuhan energi dihitung dengan memperhatikan komponen – komponen berikut ini[12]:

1) *Metabolisme Basal (Basal Metabolic Rate)*: Metabolisme Basal merupakan energi yang digunakan saat tubuh beristirahat. Besarnya energi basal pada pria dapat dilihat pada Persamaan 3, sedangkan untuk wanita dapat dilihat pada Persamaan 4 [13].

$$h = 66,4730 + 13,7516w + 5,003s - 6,7550a \quad (3)$$

$$h = 655,0955 + 9,5634w + 1,8496s - 4,6756a \quad (4)$$

Dengan,

- h = energi basal (kcal),
- w = berat tubuh (kilogram),
- s = tinggi badan (centimeter),
- a = umur (tahun)

2) *Specific Dynamic Action (SDA)*: SDA merupakan penggunaan energi sebagai akibat dari makanan itu sendiri. Energi ini digunakan untuk mengolah makanan dalam tubuh. Besarnya SDA dapat dihitung dengan Persamaan 5 [12].

$$sda = 0,1 \times h \quad (5)$$

Dengan,

- sda = energi SDA (kcal),
- h = energi basal (kcal)

3) *Aktivitas Fisik*: Aktivitas fisik merupakan aktivitas rutin yang dilakukan sehari – hari. Untuk mengetahui besarnya kalori yang dibutuhkan maka kebutuhan energi harian dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 6 [10].

$$kal = af \times (h + sda) \quad (6)$$

Dengan,

- kal = kebutuhan kalori harian (kcal),
- af = faktor aktivitas,
- h = energi basal (kcal),
- sda = energi SDA (kcal)

Besarnya faktor aktivitas tergantung dari berat atau ringannya aktivitas yang dilakukan. Tabel II berisi daftar faktor aktivitas berdasarkan berat atau ringannya kegiatan.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini melalui beberapa tahap (Gambar 1). Penelitian dimulai dari studi literatur mengenai sistem

rekomendasi, *multi-criteria decision making, weighted sum model*, kebutuhan kalori tubuh, dan wisata kuliner.

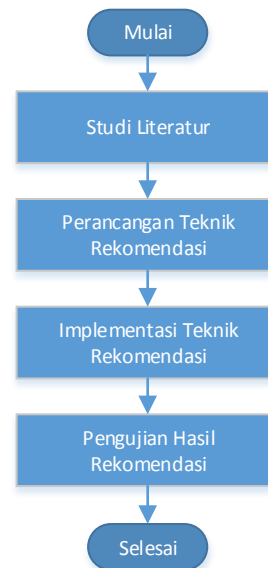
Materi yang didapat saat studi literature digunakan untuk melakukan perancangan teknik rekomendasi dengan menerapkan model kontekstual dan metode WSM.

Pada tahap implementasi, rancangan diterapkan pada rekomendasi pemilihan kuliner dengan kriteria yang digunakan adalah kalori, harga, dan jarak, sedangkan alternatif yang digunakan adalah menu makanan berbagai restoran di Yogyakarta.

Tabel II. Faktor Aktivitas [10]

Aktivitas	Jenis Aktivitas	Pria	Wanita
Istirahat	Tidur, berbaring, duduk	1,2	1,2
Ringan Sekali	Menulis, mengetik	1,4	1,4
Ringan	Menyapu, menjahit, mencuci piring, menghias ruang	1,5	1,5
Ringan – Sedang	Sekolah, kuliah, kerja kantor	1,7	1,6
Sedang	Mencangkul, menyabit rumput	1,8	1,7
Berat	Menggergaji pohon dengan gergaji tangan	2,1	1,8
Berat sekali	Mendaki gunung, manarik becak	2,3	2,0

Hasil yang diperoleh kemudian akan diujicobakan dengan memberikan input dua data kontekstual pengguna yang berbeda, lalu diobservasi dan dianalisis hasil rekomendasinya. Untuk mengetahui validitas hasil rekomendasi, dilakukan uji coba bobot kriteria ekstrim.

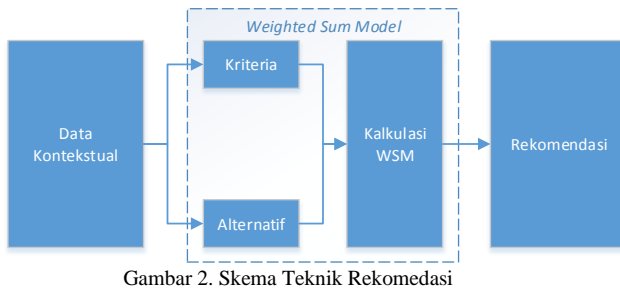


Gambar 1. Alur Penelitian

IV. PERANCANGAN SISTEM

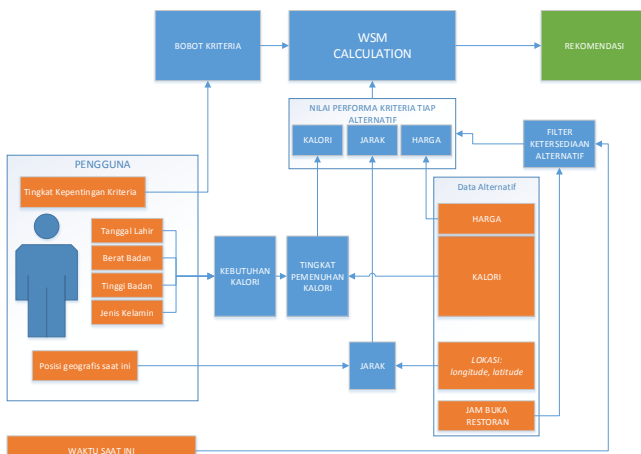
Dalam perhitungan WSM, variabel yang menentukan besarnya WSM Score adalah bobot kriteria dan nilai performa tiap alternatif untuk setiap kriteria. Oleh karena itu, dengan mengubah nilai kedua variabel tersebut diharapkan dapat mempengaruhi hasil perankingan. Skema rekomendasi yang diusulkan dalam penelitian ini menggunakan data kontekstual dari pengguna untuk mengubah nilai bobot

kriteria dan nilai performa tiap alternatif untuk setiap kriteria (Gambar 2).



Gambar 2. Skema Teknik Rekomedasi

Untuk melihat kinerjanya, teknik rekomendasi tersebut diterapkan untuk rekomendasi menu makanan. Idenya adalah pengguna bisa memberi input mengenai preferensi kriteria pemilihan dan sistem mampu mengenali kondisi penggunanya. Data kontekstual yang digunakan antara lain tanggal lahir, jenis kelamin, berat badan, tinggi badan, tingkat aktivitas, waktu, posisi pengguna, dan preferensi kriteria pemilihan. Preferensi kriteria digunakan untuk pembobotan kriteria, sedangkan data lainnya digunakan untuk menghitung nilai performa dari tiap alternatif untuk setiap kriteria. Proses pemberian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rekomendasi Menu Makanan

Perhitungan nilai performa kriteria harga untuk setiap alternatif didapatkan dengan Persamaan 7.

$$a_i^{harga} = \left(1 - \frac{h_i}{\sum_{j=1}^n h_j}\right) \times 100 \quad (7)$$

Dengan,

a_i^{harga} = nilai performa kriteria harga untuk alternative A_i
 h_i = harga untuk alternatif A_i

Semakin tinggi harga suatu menu makanan, maka menu makanan itu memiliki nilai performa semakin rendah.

Perhitungan nilai performa kriteria jarak untuk setiap alternatif didapatkan dengan Persamaan 8.

$$a_i^{jarak} = \left(1 - \frac{d_i}{\sum_{j=1}^n d_j}\right) \times 100 \quad (8)$$

Dengan,

a_i^{jarak} = nilai performa kriteria jarak untuk alternatif A_i
 d_i = jarak untuk alternatif A_i

Untuk mendapatkan jarak antara dua titik yang diketahui *latitude* dan *longitude*-nya, dapat digunakan fasilitas yang disediakan oleh [14].

Perhitungan nilai performa kriteria kalori untuk setiap alternatif didapatkan dengan Persamaan 9.

$$a_i^{kalori} = \left(1 - \frac{k_i}{\sum_{j=1}^n k_j}\right) \times 100 \quad (9)$$

Dengan,

a_i^{kalori} = nilai performa kriteria kalori untuk alternatif A_i
 k_i = besar selisih kalori alternatif A_i dengan kebutuhan kalori pengguna.

k_i dapat dihitung dengan mencari nilai absolut dari selisih antara kalori dalam makanan dengan kalori yang dibutuhkan tubuh (Persamaan 10).

$$k_i = |k_i^{makanan} - k^{butuh}| \quad (10)$$

Semakin besar perbedaan kalori antara makanan dan kebutuhan tubuh, maka nilai performa akan semakin kecil.

Setelah seluruh nilai performa dihitung, maka dapat dibentuk matrix pengambilan keputusan (Tabel III). Alternatif atau menu makanan yang terlibat dalam pengambilan keputusan disaring berdasarkan ketersediaan menu tersebut pada saat ini (*current time*). Maksudnya adalah memastikan apakah restoran yang menyediakan menu tersebut sudah buka atau belum.

Tabel III. Matrix Pengambilan Keputusan

Alternatif	Kalori	Harga	Jarak
Menu 1	w_1	w_2	w_3
Menu 2	a_{11}	a_{12}	a_{13}
Menu 3	a_{21}	a_{22}	a_{23}
Menu 4	a_{31}	a_{32}	a_{33}
...
Menu i	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}

Tabel IV. Data Kontekstual Pengguna

Nama	A	B
Tanggal Lahir	20 Januari 1984	1 Agustus 1970
Tinggi	1,65 m	1,60 m
Berat	68 kg	50 kg
Jenis Kelamin	Pria	Wanita
Tingkat Aktivitas	Ringan-sedang(kantor)	Ringan(Menjahit)
Posisi Saat ini		
latitude	-7,771206	-7,801820
longitude	110,377565	110,381256
Bobot Kriteria		
kalori	0,6	0,3
harga	0,3	0,1
jarak	0,1	0,6
Jam Mengakses	11:00	18:00

Dari matrix tersebut, dapat dilakukan perankingan dengan menggunakan formula WSM (Persamaan 1). Jika seluruh $A_i^{WSM-Score}$ untuk setiap menu sudah didapatkan, perankingan dapat dilakukan dengan mengurutkan menu makanan mulai dari menu makanan dengan nilai $A_i^{WSM-Score}$ paling besar ke paling kecil. Urutan ini akan dijadikan rekomendasi menu makanan kepada pengguna.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan rekomendasi menu makanan yang telah diusulkan di atas diujicobakan dengan menggunakan data kontekstual pada Tabel IV. Alternatif yang tersedia dapat dilihat pada Tabel V. Dalam daftar alternatif itu terdapat beberapa atribut data antara lain besarnya kalori yang terkandung, harga, lokasi restoran, dan jam buka atau tutup restoran.

Tabel V. Daftar Alternatif

Nama Menu	Kalori (kkal)	Harga (Rp)	Lokasi		Jam Buka	Jam Tutup
			Latitude	Longitude		
Nasi Gudeg Yu Djum	307	15000	-7,804924	110,36686	9:00	22:00
Bakmi Jawa Mbah Hadi	321	12500	-7,772992	110,37499	17:00	22:00
Tonseng Ayam Sidomoro	337	7500	-7,885217	110,33071	8:00	17:00
Udang Bakar Madu Mang Engking	97	69000	-7,791733	110,34697	10:00	17:00
Sate Ayam Samirono	272	20000	-7,776776	110,38119	10:00	23:00
Bakmi Jawa Kadin	321	17000	-7,802766	110,37239	17:00	21:00
Soto Ayam Kadipiro	500	10000	-7,799397	110,34547	7:00	13:00
Bebek Goreng H Slamet	214	20000	-7,783399	110,36675	10:00	21:00
Gado - gado Bu Ning	488	10000	-7,803478	110,37761	9:00	15:00
Tongseng Jamur Jejamuran Resto	365	10000	-7,700434	110,36962	9:00	17:00

Tabel VI. Hitung Nilai Performa Kalori

Alternatif	Kandungan (kkal)	Kebutuhan (kkal)	Lebih/Kurang (kkal)	Nilai Performa
Nasi Gudeg Yu Djum	307	1012,56	705,6	89,8
Bakmi Jawa Mbah Hadi	321	1012,56	691,6	90,0
Tonseng Ayam Sidomoro	337	1012,56	675,6	90,2
Udang Bakar Madu Mang Engking	97	1012,56	915,6	86,7
Sate Ayam Samirono	272	1012,56	740,6	89,3
Bakmi Jawa Kadin	321	1012,56	691,6	90,0
Soto Ayam Kadipiro	500	1012,56	512,6	92,6
Bebek Goreng H Slamet	214	1012,56	798,6	88,4
Gado - gado Bu Ning	488	1012,56	524,6	92,4
Tongseng Jamur Jejamuran Resto	365	1012,56	647,6	90,6
Total			6904	

Dari data kontekstual A, melalui perhitungan kebutuhan kalori (Persamaan 3,4,5,6), diketahui rata – rata satu kali

makan A membutuhkan asupan kalori sebesar 1012,559372 kkal

Dari kebutuhan asupan kalori itu, dapat dihitung besarnya nilai performa untuk kriteria kalori dari setiap alternatif. Dengan Persamaan 10, dapat diketahui besarnya kelebihan atau kekurangan kandungan kalori yang ada di setiap makanan. Dari kelebihan dan kekurangan itu dapat diketahui besarnya nilai performa untuk kriteria kalori dengan menggunakan Persamaan 9. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel VI. Untuk menghitung nilai performa harga, digunakan Persamaan 7. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel VII.

Tabel VII. Hitung Nilai Performa Harga

Alternatif	Harga (Rp)	Nilai Performa
Nasi Gudeg Yu Djum	15000	92,1
Bakmi Jawa Mbah Hadi	12500	93,5
Tonseng Ayam Sidomoro	7500	96,1
Udang Bakar Madu Mang Engking	69000	63,9
Sate Ayam Samirono	20000	89,5
Bakmi Jawa Kadin	17000	91,1
Soto Ayam Kadipiro	10000	94,8
Bebek Goreng H Slamet	20000	89,5
Gado - gado Bu Ning	10000	94,8
Tongseng Jamur Jejamuran Resto	10000	94,8
Total	191000	

Sedangkan untuk menghitung nilai performa jarak, terlebih dahulu harus diketahui jarak antara dua titik yang direpresentasikan oleh *latitude* dan *longitude*. Jarak ini adalah jarak antara posisi pengguna dengan lokasi restoran. Untuk mengetahui jarak antara dua titik ini, digunakan fasilitas layanan yang disediakan oleh [14]. Setelah jarak antara dua titik diketahui, perhitungan nilai performa jarak dapat dilakukan. Perhitungan nilai performa jarak menggunakan Persamaan 8. Perhitungannya dapat dilihat pada Tabel VIII. Setelah semua nilai performa didapatkan, perhitungan WSM dapat dilakukan. Bobot setiap kriteria yang telah ditentukan A yaitu kalori 0,6, harga 0,3, dan jarak 0,1. Hal ini menunjukkan bahwa A sangat memperhatikan kalori yang terkandung dalam makanan dibandingkan dengan dua kriteria lainnya. Untuk menghitung nilai WSM, dapat digunakan Persamaan 1. Contohnya untuk alternatif menu “Nasi gudeg Yu Djum”,

$$A_1^{wsm_score} = (0,6 \times 89,8) + (0,3 \times 92,1) + (0,1 \times 91,1) = 90,62$$

Tabel VIII. Hitung Performa Jarak

Alternatif	Jarak (km)	Nilai Performa
Nasi Gudeg Yu Djum	3,930	91,1
Bakmi Jawa Mbah Hadi	0,346	99,2
Tonseng Ayam Sidomoro	13,690	69,1
Udang Bakar Madu Mang Engking	4,071	90,8
Sate Ayam Samirono	0,737	98,3
Bakmi Jawa Kadin	3,555	92,0
Soto Ayam Kadipiro	4,725	89,3
Bebek Goreng H Slamet	1,805	95,9
Gado - gado Bu Ning	3,588	91,9
Tongseng Jamur Jejamuran Resto	7,918	82,2
Total	44,365	

Hasil perhitungan WSM untuk semua alternatif dapat dilihat pada Tabel IX.

Tabel IX. Matrix WSM Scoring untuk A

No	Alternatif	Kalori	Harga	Jarak	WSM
		bobot kriteria			
		0,6	0,3	0,1	
1	Nasi Gudeg Yu Djum	89,8	92,1	91,1	90,62
2	Bakmi Jawa Mbah Hadi	90,0	93,5	99,2	91,97
3	Tonseng Ayam Sidomoro	90,2	96,1	69,1	89,86
4	Udang Bakar Madu Mang Engking	86,7	63,9	90,8	80,27
5	Sate Ayam Samirono	89,3	89,5	98,3	90,26
6	Bakmi Jawa Kadin	90,0	91,1	92,0	90,53
7	Soto Ayam Kadipiro	92,6	94,8	89,3	92,93
8	Bebek Goreng H Slamet	88,4	89,5	95,9	89,48
9	Gado - gado Bu Ning	92,4	94,8	91,9	93,07
10	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	90,6	94,8	82,2	91,02

Rekomendasi untuk A diberikan dengan mengurutkan nilai WSM dari yang terbesar hingga terkecil dan dengan *filter* alternatif yang ditampilkan berdasarkan jam buka dan tutup restoran. Dalam kesempatan ini A mengakses sistem pada pukul 11:00 sehingga pada hasil rekomendasi "Bakmi Jawa Mbah Hadi" dan "Bakmi Jawa Kadin" tidak muncul (Tabel X).

Tabel X. Rekomendasi untuk A

No	Alternatif	WSM
1	Gado - gado Bu Ning	93,07
2	Soto Ayam Kadipiro	92,93
3	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	91,02
4	Nasi Gudeg Yu Djum	90,62
5	Sate Ayam Samirono	90,26
6	Tonseng Ayam Sidomoro	89,86
7	Bebek Goreng H Slamet	89,48
8	Udang Bakar Madu Mang Engking	80,27

Melalui proses yang sama dengan A, B menghasilkan rekomendasi yang berbeda dengan A (Tabel XI). Jumlah alternatif yang direkomendasikan hanya lima alternatif. Hal ini disebabkan karena B mengakses sistem pada jam 18:00. Pada jam tersebut restoran yang tersedia hanya lima. Dari bobot kriteria, B lebih mementingkan jarak daripada kalori. Sehingga sistem akan lebih merekomendasikan "Bakmi Jawa Kadin" karena jaraknya hanya 0.982 km, itu adalah jarak terdekat dari tempat B berada saat ini (Tabel XII).

Tabel XI. Rekomendasi untuk B

No	Alternatif	WSM
1	Bakmi Jawa Kadin	94,67
2	Nasi Gudeg Yu Djum	93,75
3	Bakmi Jawa Mbah Hadi	91,67
4	Sate Ayam Samirono	91,51
5	Bebek Goreng H Slamet	91,30

Tabel XII. Perbandingan Jarak Antar Alternatif

No	Alternatif	WSM	Jarak
1	Bakmi Jawa Kadin	94,67	0,982
2	Nasi Gudeg Yu Djum	93,75	1,623
3	Bakmi Jawa Mbah Hadi	91,67	3,279
4	Sate Ayam Samirono	91,51	2,785
5	Bebek Goreng H Slamet	91,30	2,598

Untuk menguji validitas hasil teknik rekomendasi ini, dilakukan pengujian terhadap satu data pengguna (A) dengan kondisi ekstrim bobot kriteria. Yang dimaksud dengan kondisi ekstrim adalah hanya ada satu bobot yang bernilai satu, yang lain nol. Kondisi – kondisi tersebut antara lain:

1) pengguna hanya menitikberatkan pada kriteria kalori ($w_{kalori} = 1, w_{harga} = 0, w_{jarak} = 0$),

2) pengguna hanya menitikberatkan pada kriteria harga ($w_{kalori} = 0, w_{harga} = 1, w_{jarak} = 0$), dan

3) pengguna hanya menitikberatkan pada kriteria jarak ($w_{kalori} = 0, w_{harga} = 0, w_{jarak} = 1$).

Pada skenario pertama, pengguna hanya focus pada kriteria kalori. Hasil yang diharapkan adalah sistem merekomendasikan menu makanan yang paling memenuhi kebutuhan kalori pengguna. Hasil rekomendasi dapat dilihat pada Tabel XIII.

Tabel XIII. Rekomendasi Titik Berat pada Kalori

No	Alternatif	lebih/kurang (kkal)	WSM
1	Soto Ayam Kadipiro	513	92,6
2	Gado - gado Bu Ning	525	92,4
3	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	648	90,6
4	Tonseng Ayam Sidomoro	676	90,2
5	Bakmi Jawa Mbah Hadi	692	90,0
6	Bakmi Jawa Kadin	692	90,0
7	Nasi Gudeg Yu Djum	706	89,8
8	Sate Ayam Samirono	741	89,3
9	Bebek Goreng H Slamet	799	88,4
10	Udang Bakar Madu Mang Engking	916	86,7

Hasil rekomendasi terlihat bahwa menu makanan yang paling memenuhi kebutuhan kalori direkomendasikan paling atas (Soto Ayam Kadipiro) sedangkan yang paling tidak memenuhi direkomendasikan terakhir (Udang Bakar Madu Mang Engking). Hasil ini sesuai dengan harapan.

Pada skenario kedua, pengguna hanya fokus pada kriteria harga. Hasil yang diharapkan adalah sistem merekomendasikan menu makanan dari yang termurah sampai yang termahal. Hasil rekomendasi dapat dilihat pada Tabel XIV.

Tabel XIV. Rekomendasi Titik Berat pada Harga

No	Alternatif	Harga (Rp)	WSM
1	Tonseng Ayam Sidomoro	7500	96,1
2	Soto Ayam Kadipiro	10000	94,8
3	Gado - gado Bu Ning	10000	94,8
4	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	10000	94,8
5	Bakmi Jawa Mbah Hadi	12500	93,5
6	Nasi Gudeg Yu Djum	15000	92,1
7	Bakmi Jawa Kadin	17000	91,1
8	Sate Ayam Samirono	20000	89,5
9	Bebek Goreng H Slamet	20000	89,5
10	Udang Bakar Madu Mang Engking	69000	63,9

Pada skenario ketiga, pengguna hanya fokus pada kriteria jarak. Hasil yang diharapkan adalah sistem merekomendasikan menu makanan yang memiliki jarak paling dekat dengan posisi pengguna saat ini. Hasil rekomendasi dapat dilihat pada Tabel XV.

Tabel XV. Rekomendasi Titik Berat pada Jarak

No	Alternatif	Jarak (km)	WSM
1	Bakmi Jawa Mbah Hadi	0,346	99,2
2	Sate Ayam Samirono	0,737	98,3
3	Bebek Goreng H Slamet	1,805	95,9
4	Bakmi Jawa Kadin	3,555	92,0
5	Gado - gado Bu Ning	3,588	91,9
6	Nasi Gudeg Yu Djum	3,930	91,1
7	Udang Bakar Madu Mang Engking	4,071	90,8
8	Soto Ayam Kadipiro	4,725	89,3
9	Tongseng Jamur Jejamuran Resto	7,918	82,2
10	Tonseng Ayam Sidomoro	13,690	69,1

Dari hasil ujicoba tiga skenario itu terlihat bahwa teknik rekomendasi ini mampu memberikan rekomendasi sesuai dengan kebutuhan pengguna.

VI. KESIMPULAN

Teknik rekomendasi ini memungkinkan pengguna mengubah bobot kriteria dan nilai performa yang ada pada metode MCDM. Hal ini terlihat dari uji data eksperimen A dan B. Data kontekstual keduanya berbeda sehingga memberikan nilai bobot dan nilai performa yang berbeda. Hasil rekomendasi untuk keduanya pun menjadi berbeda.

Berdasarkan ujicoba nilai bobot yang ekstrim, diketahui bahwa pendekatan model kontekstual dan metode MCDM mampu memberikan rekomendasi sesuai dengan harapan penggunaannya. Penggunaan teknik rekomendasi ini tidak terbatas pada pemilihan menu makanan saja. Selama pemilihan *item* membutuhkan personalisasi penggunaannya dan melibatkan banyak kriteria dan alternatif, teknik ini dapat digunakan. Pemilihan hotel, tempat pariwisata, pembelian mobil, pembelian rumah, dan lain – lain bisa mengimplementasikan teknik rekomendasi ini.

Dalam penelitian selanjutnya perlu dilakukan uji *usability* pada pengguna untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna terhadap teknik rekomendasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Pariwisata dan Ekonomi Kreatif Republik Indonesia, "Perkembangan usaha restoran / rumah makan berskala menengah dan besar menurut provinsi, 2007 - 2012," 2014.
- [2] F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, and P. B. Kantor, *Recommender Systems Handbook*. Boston, MA: Springer US, 2011.
- [3] E. Triantaphyllou, *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Springer, 2000.
- [4] K. Auliasari, "Pemfilteran dan Perankingan Informasi Menggunakan Pendekatan Multi Criteria Decision Making Untuk Sistem Rekomendasi Objek Wisata," Universitas Gadjah Mada, 2012.
- [5] M. Kenteris, D. Gavalas, and A. Mpitiopoulos, "A mobile tourism recommender system," *IEEE Symp. Comput. Commun.*, pp. 840–845, Jun. 2010.
- [6] T. Horozov, N. Narasimhan, and V. Vasudevan, "Using location for personalized POI recommendations in mobile environments," *Int. Symp. Appl. Internet*, p. 6 pp.–129, 2006.
- [7] F. Ricci, L. Rokach, and B. Shapira, "Introduction to Recommender Systems Handbook," in *Recommender Systems Handbook SE - 1*, F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, and P. B. Kantor, Eds. Springer US, 2011, pp. 1–35.
- [8] G. Adomavicius and A. Tuzhilin, "Context-Aware Recommender Systems," in *Recommender Systems Handbook SE - 7*, F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, and P. B. Kantor, Eds. Springer US, 2011, pp. 217–253.
- [9] G. Adomavicius, N. Manouselis, and Y. Kwon, "Multi-Criteria Recommender Systems," in *Recommender Systems Handbook SE - 24*, F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, and P. B. Kantor, Eds. Springer US, 2011, pp. 769–803.

- [10] D. P. Irianto, *Panduan Gizi Lengkap keluarga dan Olahragawan*. Penerbit Andi Yogyakarta, 2007.
- [11] P. D. Carole A. Conn, Ph.D., R.D.; Len Kravitz, "The Remarkable Calorie," *IDEA Personal Trainer*, 2003. [Online]. Available: [http://www.unm.edu/~lkravitz/Article folder/remarkablecalorie.html](http://www.unm.edu/~lkravitz/Article%20folder/remarkablecalorie.html).
- [12] D. Primana, *Perhitungan Energi pada Olahraga*. Jakarta, Indonesia: Kantor Menteri Pemuda dan Olahraga, 2000.
- [13] J. A. F. G. B. Harris, "A Biometric Study of Human Basal Metabolism," *Proc. Natl. Acad. Sci. United States Am.*, pp. 370–373, 1918.
- [14] "Calculate distance and bearing between two Latitude/Longitude points using haversine formula in JavaScript." [Online]. Available: <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>. [Accessed: 11-Aug-2014].

Kajian Teknik-teknik Data Mining untuk Diagnosis Penyakit Jantung Koroner

Dwi Normawati¹, Hanung Adi Nugroho², Noor Akhmad Setiawan³

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta – 55281, Indonesia

dwi.normawati@mail.ugm.ac.id¹, adinugroho@ugm.ac.id², noorwewe@ugm.ac.id³

Abstract— Coronary Heart Disease becomes most cases the cause of death in many developed countries. Based on WHO data in 2011 that heart disease is the number one cause of death in the world and 60% of all causes of death. Coronary heart disease occurs due to vascular disruption caused by a blockage or narrowing of blood vessels. Diagnosis of the disease is an important and complex job in medicine. Medical diagnosis is considered very important but complicated to be done accurately and efficiently. Patient medical records and physician knowledge of experts and computer technology can be utilized to explore knowledge with data mining techniques for the diagnosis of coronary heart disease. Several studies have linked the diagnosis of coronary heart disease by data mining techniques have been carried out. This paper presents some data mining techniques to the which could help diagnose coronary heart disease. The results of the exposure is known datamining techniques using Algoritme Back Propagation Neural Network based Method Adaboost produces the highest accuracy.

Keyword-Coronary Heart Disease; Datamining techniques; survey of literature

Abstrak— Penyakit jantung koroner menjadi kasus terbanyak penyebab kematian diberbagai negara maju. Berdasarkan data WHO tahun 2011 bahwa penyakit jantung merupakan penyebab kematian nomor satu didunia dan 60% dari seluruh penyebab kematian. Penyakit jantung koroner terjadi karena gangguan pembuluh darah yang disebabkan adanya penyumbatan atau penyempitan pembuluh darah. Diagnosis penyakit adalah hal penting dan pekerjaan yang rumit dalam dunia kedokteran. Diagnosis medis dianggap sangat penting namun rumit yang harus dikerjakan secara akurat dan efisien. Data rekam medis pasien dan pengetahuan dari tenaga ahli dokter serta teknologi komputer dapat dimanfaatkan untuk menggali pengetahuan dengan teknik data mining untuk diagnosis penyakit jantung koroner. Beberapa penelitian terkait diagnosis penyakit jantung koroner dengan teknik data mining telah banyak dilakukan. Makalah ini memaparkan beberapa teknik data mining yang dapat membantu untuk diagnosis penyakit jantung koroner. Hasil dari pemaparan diketahui teknik datamining menggunakan *Algoritma Back Propagation Neural Network* berbasis *Metode Adaboost* menghasilkan akurasi tertinggi.

Kata Kunci-Penyakit Jantung; Teknik Datamining; Survei literatur

I. PENDAHULUAN

Penyakit jantung koroner merupakan penyebab kematian nomor satu didunia dalam dua dekade terakhir. Berdasarkan hasil data studi Organisasi Kesehatan Dunia atau WHO 2011, 60 % dari seluruh penyebab kematian adalah penyakit jantung koroner dan sedikitnya 17,5 juta

atau setara dengan 30% kematian diseluruh dunia disebabkan oleh Penyakit Jantung Koroner. Diperkirakan tahun 2030, 23, 6 juta orang didunia akan meninggal dunia karena penyakit jantung koroner [1]. Di Indonesia penyakit jantung merupakan penyakit nomor satu yang mendorong angka kematian yang cukup tinggi, sehingga sampai sekarang penyakit tersebut ditakuti oleh manusia [16].

Penyakit jantung mempunyai beberapa jenis diantaranya adalah penyakit jantung koroner, angina, serangan jantung [2]. Gejala-gejala pasien terdiagnosa penyakit jantung diantaranya adalah jenis sakit dada (*chest pain*), tekanan darah tinggi (*tresbps*), kolesterol (*chol*), nilai tes EKG (*resting electrodiagraphic*), denyut jantung (*thalach*) dan kadar gula FBS (*fasting blood sugar*) [2]. Melihat banyaknya kasus pasien dengan penyakit jantung, maka diperlukan suatu langkah dini sebagai upaya penanganan dan pencegahan penyakit jantung, seperti melakukan prediksi awal penentuan penyakit jantung untuk mendiagnosis dengan tepat dan akurat.

Diagnosis medis masih dianggap sebagai tugas rumit yang signifikan dan perlu dilakukan secara tepat dan efisien [3]. Diagnosis medis diambil dari keputusan klinis yang sering dibuat berdasarkan intuisi dokter dan pengalaman pada data yang kaya pengetahuan tersembunyi dalam database pasien. Praktek ini menyebabkan bias yang tidak diinginkan, kesalahan dan biaya medis yang berlebihan yang mempengaruhi kualitas pelayanan yang diberikan kepada pasien.

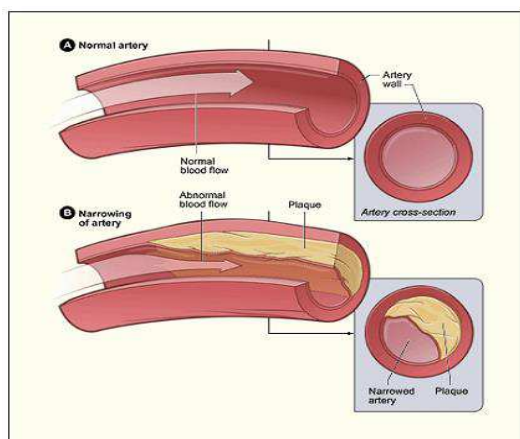
Data mining dengan algoritme cerdas dapat digunakan untuk mengatasi masalah diagnosis dengan dataset medis yang melibatkan beberapa inputan data [2]. Data mining dalam dunia medis memiliki potensi besar untuk mengetahui pola tersembunyi pada dataset medis. Pola tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengungkapkan ada atau tidak ada suatu penyakit [3]. Implementasi yang akurat dan efisien dibutuhkan teknik data mining yang tepat. Penentuan algoritme cerdas untuk menentukan diagnosis penyakit jantung koroner diperlukan kajian beberapa teknik data mining. Hal ini bertujuan untuk menganalisis data deskriptif yang berbeda pada data mining yang diusulkan beberapa tahun terakhir, khususnya untuk diagnosis penyakit jantung koroner. Oleh karena alasan tersebut, pada makalah ini akan mengkaji beberapa teknik-teknik datamining untuk mengetahui algoritme cerdas yang tepat dalam

mendiagnosis penyakit jantung koroner dengan akurat dan efisien.

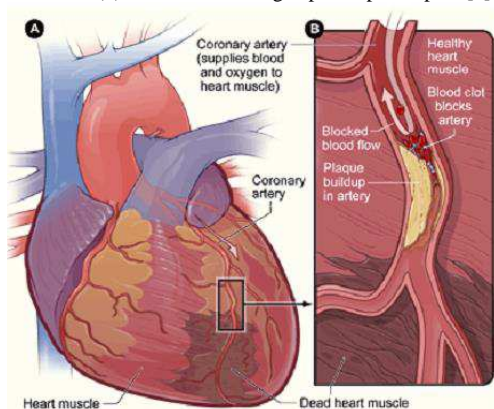
II. PENYAKIT JANTUNG KORONER

Jantung merupakan organ yang sangat penting bagi manusia. Jantung diperlukan untuk memompa darah keseluruh tubuh sehingga tubuh mendapatkan asupan oksigen yang diperlukan untuk metabolisme tubuh. Penyakit jantung memang sudah tidak asing lagi dikalangan masyarakat. Penyakit jantung memiliki berbagai jenis, mulai dari jantung koroner, serangan jantung, tekanan darah tinggi, stroke dan penyakit jantung rematik. Salah satu terbanyak yang diderita oleh manusia adalah penyakit jantung koroner.

Penyakit jantung koroner merupakan penyakit jantung yang diakibatkan penyempitan arteri koroner mulai dari terjadinya *atherosclerosis* (kekakuan arteri) maupun yang sudah terjadi penimbunan lemak atau plak (*plaque*) pada dinding arteri koroner baik disertai gejala klinis atau tanpa gejala sekalipun yang mengalirkan darah ke otot jantung [4]. Jika penyempitan ini menjadi parah dapat terjadi serangan jantung dapat digambarkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Penyebab penyempitan ini antara lain kebiasaan merokok, terkena diabetes, minuman beralkohol, kolesterol tinggi, tekanan darah tinggi, keturunan, sindrom metabolik, *sleep apnea*, dan juga ginjal akut.



Gambar 1. Atherosclerosis : (a) arteri normal dengan aliran darah normal, (b) sebuah arteri dengan penumpukan plak [5]



Gambar 2. Jantung dengan kerusakan otot dan arteri yang tersumbat [6]

Gambar 2.A. merupakan gambaran keadaan jantung dan arteri koroner yang mengalami kerusakan (otot jantung mati) disebabkan oleh serangan jantung. Sedangkan Gambar 2.B merupakan gambaran potongan melintang arteri koroner dengan penumpukan plak dan bekuan darah [6].

III. TEKNIK DATA MINING UNTUK DIAGNOSIS PENYAKIT JANTUNG KORONER

Pada makalah ini akan menjelaskan beberapa teknik-teknik data mining untuk mendiagnosis penyakit jantung koroner. Metodologi utama yang digunakan pada makalah ini adalah melalui survei jurnal dan publikasi di bidang kedokteran, komputer sains dan teknik. Penelitian pada makalah ini difokuskan pada publikasi lebih baru yang berkaitan dengan perkembangan teknik – teknik data mining untuk mendiagnosis penyakit jantung koroner.

Pada makalah ini, data yang digunakan adalah dataset *Cleveland* untuk mendiagnosis penyakit jantung koroner. Digunakan maksimum 14 dari 76 fitur yang dimiliki oleh *Cleveland* dataset [7-8]. Pada Tabel I menjelaskan atribut-atribut yang ada pada dataset *Cleveland* yang digunakan untuk mendiagnosis penyakit jantung koroner.

TABEL I. DATASET *CLEVELAND* [7-8]

No	Atribut Data	Keterangan
1.	<i>Age</i>	Usia dalam tahun (numerik)
2.	<i>Sex/Jenis Kelasmin</i>	Laki-laki (0); Perempuan (1).
3.	<i>Chest Pain Type (CP)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Typical Angina</i> (1 : <i>angina</i>) • <i>Atypical Angina</i> (2 : <i>abnang</i>) • <i>Non-anginal Pain</i> (3 : <i>notang</i>) • <i>Asymptomatic Pain</i> (4 : <i>asympt</i>)
4.	<i>Trestbps</i>	<i>Resting blood pressure</i> pasien dalam mm Hg pada saat masuk rumah sakit (numerik)
5.	<i>Chol</i>	Serum kolesterol dalam mg/dl (numerik)
6.	<i>Fbs</i>	Ukuran <i>boolean</i> yang menunjukkan apakah <i>fasting blood</i> sugar lebih besar dari 120 mg/dl atau tidak (1: <i>True</i> ; 0 : <i>False</i>)
7.	<i>Restecg</i>	Hasil ECG selama istirahat, 0: normal; 1: abnormal (memiliki kelainan gelombang ST-T); 2: <i>hipertrofi vertikel</i> .
8.	<i>Thalac</i>	Detak jantung maksimum yang dicapai (numerik)
9.	<i>Exang</i>	Ukuran <i>Boolean</i> yang menunjukkan apakah latihan angina induksi telah terjadi (1: Ya; 0: Tidak)
10.	<i>Oldpeak</i>	Segmen ST yang diperoleh dari latihan relatif terhadap istirahat (numerik)
11.	<i>Slope</i>	Kemiringan segmen ST untuk latihan maksimum (1: <i>Upsloping</i> ; 2: <i>Flat</i> ; 3: <i>Downsloping</i>)
12.	<i>Ca</i>	Jumlah vessel utama yang diwarnai oleh fluoroskopi (numerik)
13.	<i>Thal</i>	Status jantung (3: normal; 6: cacat tetap; 7: cacat reversibel)
14.	<i>The class attributes</i>	0: sehat atau sakit (tipe sakit : 1, 2, 3, dan 4)

Beberapa teknik-teknik data mining untuk mendiagnosis penyakit jantung koroner yang dikaji pada makalah ini adalah *Algoritme Back Propagation Neural Network* [2], *Algoritme C4.5* [9], *Naïve Bayes* [3], *Decision Tree* [3], *K-Nearest Neighbor's Network (K-NN)* [3][10][12], dan *Principal Component Analysis (PCA)* [11].

A. Naïve Bayes

Naïve Bayes adalah algoritme pengklasifikasian statistik yang mengasumsi tidak adanya ketergantungan antara atribut-atribut. *Naïve Bayes* mencoba untuk memaksimalkan probabilitas posterior dalam menentukan kelas. Keuntungan menggunakan *Naïve Bayes* adalah seseorang dapat bekerja dengan model *Naïve Bayes* tanpa menggunakan metode *Bayesian*. Pengklasifikasian *Naïve Bayes* mampu bekerja baik dalam banyak situasi dunia nyata yang kompleks [3].

B. Decision Tree

Decision Tree adalah algoritme pengklasifikasian yang populer yang sederhana dan mudah diterapkan, tidak membutuhkan pengetahuan domain atau parameter pengetahuan dan dapat menangani data dengan dimensional tinggi. Hasil yang diperoleh dari *Decision Tree* lebih mudah untuk membaca dan menafsirkan melalui fitur untuk mengakses data detail profil pasien yang tersedia dalam pohon keputusan [3].

C. K-Nearest Neighbor's Network (KNN)

KNN adalah metode untuk mengelompokkan objek berdasarkan data training terdekat dalam ruang fitur. KNN merupakan algoritme yang paling sederhana dari semua algoritme *machine learning*. Tapi keakuratan KNN dapat mengalami kerusakan parah karena hadirnya fitur yang tidak relevan atau fitur yang tidak konsisten dengan kepentingan data[3].

KNN merupakan salah satu algoritme yang digunakan untuk klasifikasi, meskipun juga dapat digunakan untuk estimasi dan prediksi [13]. KNN adalah contoh algoritme berbasis pembelajaran, di mana dataset pelatihan (*training*) disimpan, sehingga klasifikasi untuk *record* baru yang tidak diklasifikasi didapatkan dengan membandingkannya dengan *record* yang paling mirip dengan *training set* [13]. Langkah-langkah algoritme *K-Nearest Neighbor* adalah [12]:

1. Menentukan parameter k, misal k = 5.
2. Menghitung jarak (*similarity*) di antara semua *training records* dan objek baru.
3. Pengurutan data berdasarkan nilai jarak dari nilai yang terkecil sampai terbesar.
4. Pengambilan data sejumlah nilai k (misal k=5).
5. Menentukan label yang frekuensinya paling sering di antara k *training records* yang paling dekat dengan objek.

D. Algoritma Back Propagation Neural Network

Ada dua proses learning dalam *Algoritma Back Propagation Neural Network (BPNN)* yaitu *feedforward*

dan *proses backward*. Dalam proses *feedforward*, dataset diterapkan sebagai input dan jaringan menyebarkan pola input dari lapisan ke lapisan sampai output pola yang dihasilkan. Proses dalam lapisan input (*i*) ke lapisan hidden (*j*) ditunjukkan dengan [2]

$$O_j = f(net_j) = \frac{1}{1 + e^{-net_j}} \quad (1)$$

$$net_j = \sum_j w_{ij} o_i + \theta_j \quad (2)$$

output diperoleh dari penjumlahan beban input dari sebuah node dan peta ke fungsi aktivasi jaringan. Proses pada lapisan hidden (*j*) menuju lapisan output (*k*) ditunjukkan dengan

$$o_k = f(net_k) = \frac{1}{1 + e^{-net_k}} \quad (3)$$

$$net_k = \sum_k w_{jk} o_j + \theta_k \quad (4)$$

Kesalahan dihitung untuk mengukur perbedaan antara yang output diinginkan dan output aktual yang telah dihasilkan dalam fase *feedforward*.

$$error = \frac{1}{2} (output_{desire} - output_{actual})^2 \quad (5)$$

backpropagation diterapkan dari output (*k*) ke hidden (*j*) seperti yang ditunjukkan

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \Delta w_{kj}(t) \quad (6)$$

$$\Delta w_{kj}(t+1) = \eta \delta_k o_j + \alpha \Delta w_{kj}(t) \quad (7)$$

dengan

$$\delta_j = o_j(1-o_j) \sum_k \delta_k w_{kj} \quad (8)$$

selanjutnya

$$o_k = f(net_k) = \frac{1}{1 + e^{-net_k}} \quad (9)$$

$$net_k = \sum_k w_{kj} o_j + \theta_k \quad (10)$$

Proses ini diulang secara berulang-ulang sampai konvergensi tercapai [2].

E. Algoritma C4.5

Algoritma C4.5 digunakan untuk membangun sebuah pohon keputusan yang mudah dimengerti, fleksibel, dan menarik karena dapat divisualisasikan dalam bentuk gambar pohon keputusan [9]. Pohon keputusan adalah model prediksi menggunakan struktur pohon atau struktur berhirarki. Konsep dari pohon keputusan adalah mengubah data menjadi pohon keputusan dan aturan-aturan keputusan [9].

Ada beberapa tahap dalam membuat sebuah pohon keputusan dengan *algoritma C4.5*[13] yaitu:

1. Mempersiapkan data *training*, dapat diambil dari data histori yang pernah terjadi sebelumnya dan sudah dikelompokkan dalam kelas-kelas tertentu.
2. Menentukan akar dari pohon dengan menghitung nilai *gain* yang tertinggi dari masing-masing atribut atau berdasarkan nilai *index entropy* terendah. Sebelumnya

dihitung terlebih dahulu nilai *index entropy*, dengan rumus :

$$Entropy(i) = \sum_{j=1}^m f(i, j) \cdot 2f[(i, j)] \quad (11)$$

3. Hitung nilai *gain* dengan rumus :

$$gain = -\sum_{i=1}^p \frac{n_i}{n} \cdot IE(i) \quad (12)$$

4. Untuk menghitung *gain ratio* perlu diketahui suatu term baru yang disebut *Split Information* dengan rumus :

$$SplitInformation = -\sum_{t=1}^c \frac{s_1}{s} \log_2 \frac{s_1}{s} \quad (13)$$

5. Selanjutnya menghitung *gain ratio*

$$Gainratio(S, A) = \frac{Gain(S, A)}{SplitInformation(S, A)} \quad (14)$$

6. Ulangi langkah ke-2 hingga *record* terpartisi. Proses partisi pohon keputusan akan berhenti disaat :

- Semua tupelo dalam *record* dalam simpul *m* mendapat kelas yang sama
- Tidak ada atribut dalam *record* yang dipartisi lagi
- Tidak ada *record* didalam cabang yang kosong

F. *Principal Component Analysis* (PCA)

Principal component analysis (analisa komponen utama) adalah salah satu fitur ekstraksi (reduksi) variabel yang banyak digunakan dan merupakan analisa tertua dan paling terkenal dari teknik statistika *multivariate* [14].

Principal component analysis adalah kombinasi linear dari variabel awal yang secara geometris kombinasi linear ini merupakan sistem koordinat baru yang diperoleh dari rotasi sistem semula [15]. Metode *principal component analysis* sangat berguna digunakan jika data yang ada memiliki jumlah variabel yang besar dan memiliki korelasi antar variabelnya.

Perhitungan dari *principal component analysis* didasarkan pada perhitungan nilai *eigen* dan *vektor eigen* yang menyatakan penyebaran data dari suatu dataset. Tujuan dari analisa *principal component analysis* adalah untuk mereduksi variabel yang ada menjadi lebih sedikit tanpa harus kehilangan informasi yang termuat dalam data asli/awal. Dengan menggunakan *principal component analysis*, variabel yang tadinya sebanyak *n* variabel akan direduksi menjadi *k* variabel baru (*principal component*) dengan jumlah *k* lebih sedikit dari *n* dan dengan hanya menggunakan *k principal component* akan menghasilkan nilai yang sama dengan menggunakan *n* variabel [11]. Variabel hasil dari reduksi tersebut dinamakan *principal component* (komponen utama) atau bisa juga disebut faktor. Sifat dari variabel baru yang terbentuk dengan analisa *principal component analysis* nantinya selain memiliki jumlah variabel yang berjumlah lebih sedikit tetapi juga menghilangkan korelasi antar variabel yang terbentuk [11].

menjelaskan atribut-atribut yang ada pada dataset *Cleveland* yang digunakan untuk mendiagnosis penyakit jantung koroner.

IV. HASIL PENELITIAN

Penelitian terkait dengan diagnosis penyakit jantung koroner telah banyak dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian menggunakan teknik data mining dikaji untuk mengetahui algoritme data mining yang tepat untuk mendiagnosis penyakit jantung koroner dengan tepat dan akurat.

Penelitian [10] melakukan penelitian mendiagnosis penyakit jantung dengan metode KNN dengan menyelidiki apakah mengintegrasikan metode *Voting* dengan KNN dapat meningkatkan akurasi dalam diagnosis pasien penyakit jantung.

Hasil penelitian yang disajikan pada Tabel II dan Tabel III menunjukkan bahwa penerapan KNN dapat mencapai akurasi yang lebih tinggi daripada *esemble neural network* dalam mendiagnosis penyakit jantung, dan penerapan metode *Voting* tidak dapat meningkatkan akurasi KNN dalam diagnosis penyakit jantung [10].

Metode *Voting* adalah terknik agreasi yang digunakan untuk menggabungkan pengklasifikasian beberapa keputusan. Ide menerapkan beberapa pengklasifikasian *Voting* yaitu membagi data training dalam subset-subset yang sama yang lebih kecil dan membangun sebuah pengklasifikasian untuk setiap data subset [10]. Bentuk paling sederhana dari *Voting* didasarkan pada pluralitas, setiap pengklasifikasian tunggal memberikan kontribusi satu suara.

Keputusan akhir dipilih dengan menjumlahkan semua orang dengan memilih kelas yang memiliki agregat tertinggi [10]. Jumlah divisi suara yang digunakan dalam penelitian [10] berkisar antara 3-11 subset. Untuk mengevaluasi stabilitas dara dilakukan dengan 10 *fold cross validation* dan kemudian dihitung sensitifitas, spesifitas dan akurasi.

TABEL II. HASIL PERHITUNGAN DENGAN KNN [10]

	Sensitifitas	Specifitas	Akurasi
K=1	93,2%	93,1%	94%
K=3	93,4%	95,7%	96,7%
K=5	93,8%	97,6%	96,7%
K=7	93,8%	99%	97,4%
K=9	95,9%	98,2%	97,3%
K=11	92,5%	98,2%	96,4%
K=13	93,5%	98,7%	97,1%

TABEL III. HASIL PERHITUNGAN VOTING – KNN [10]

	Sensitifitas	Specifitas	Akurasi
3 Votes	89,8%	96,2%	95%
5 Votes	89,5%	98,7%	95,7%
7 Votes	91,9%	97,3%	95%
9 Votes	83,5%	99%	93%
11 Votes	84%	99%	92,7%

Hasil penelitian [10] yang disajikan pada Tabel II dan Tabel III menunjukkan bahwa penerapan KNN dalam mendiagnosis penyakit jantung mencapai akurasi 97,4% . Hasil juga menunjukkan bahwa *Voting* tidak dapat meningkatkan akurasi KNN dalam mendiagnosis penyakit jantung.

Penelitian [3] mendiagnosis penyakit jantung koroner dengan membedakan tiga algoritme *mechine learning* yaitu *Naïve Bayes*, K-NN, dan *Decision Tree*. Untuk mengklasifikasi data digunakan *software* Tanagra, dataset yang digunakan berasal dari website UCI *repository*. Data dievaluasi menggunakan *10-fold cross validation* dan hasilnya dibandingkan. Dengan menggunakan *software* Tanagra memudahkan peneliti dan mahasiswa untuk menganalisis data nyata maupun data sintetik[3].

Penelitian [3] dilakukan dengan menggunakan dataset *training* terdiri dari 3000 kasus dengan 14 atribut yang berbeda. Dataset dibagi menjadi dua bagian yaitu 70% data digunakan untuk *training* dan 30% digunakan untuk testing. Hasil eksperimen disajikan pada Tabel IV.

TABEL IV. HASIL KINERJA ALGORITME DENGAN TANAGRA [3]

Algoritme	Akurasi	Waktu yang dibutuhkan
<i>Naïve Bayes</i>	52,33 %	609 ms
<i>Decision Tree</i>	52%	719 ms
K-NN	45,67%	100 ms

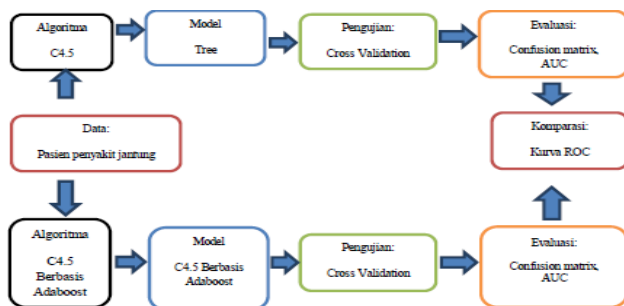
Selanjutnya dilakukan percobaan pada *Intelligent Heart Disease Prediction System* (IHDPS) menggunakan algoritme *Naïve Bayes*, *Decision Tree* dan K-NN yang diimplementasikan pada *platform.Net*. Hasil eksperimen disajikan pada Tabel V.

TABEL V. HASIL KINERJA ALGORITME DARI IHDPS [3]

Algoritme	Akurasi
<i>Naïve Bayes</i>	86,53 %
<i>Decision Tree</i>	89 %
K-NN	85,53 %

Penelitian [9] melakukan pendeteksian Penyakit Jantung dengan *Algoritma C4.5* yang kombinasikan dengan metode *Adaboost*. Setelah melakukan tahapan dalam membuat sebuah pohon keputusan dengan *Algoritma C4.5*, dilakukan pemberian bobot pada pohon tunggal sehingga menghasilkan hipotesa baru dan sebuah pohon keputusan baru. Penelitian ini menggunakan datasets UCI *repository* Penyakit Jantung.

Penelitian ini [9] merupakan eksperimen yang melibatkan penyelidikan perlakuan pada parameter dan variabel yang semuanya tergantung pada peneliti itu sendiri. Model yang diusulkan seperti yang dijelaskan pada Gambar 3, penelitian ini [9] adalah menggunakan *algoritma C4.5* dan *algoritma C4.5* berbasis *Adaboost*.



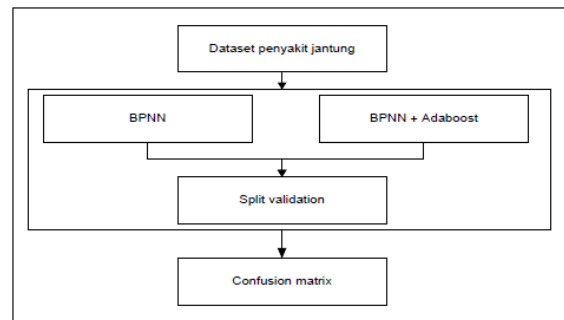
Gambar 3. Model yang diusulkan [9]

Dalam penelitian [9] dilakukan pengujian model dengan menggunakan *algoritma C4.5* dan *algoritma C4.5* berbasis *adaboost*. Model yang dihasilkan diuji untuk mendapatkan nilai *accuracy*, dan AUC dari setiap algoritme sehingga didapat pengujian dengan menggunakan *algoritma C4.5* didapat nilai *accuracy* adalah 86,59% dengan nilai AUC adalah 0,957. Sedangkan pengujian dengan menggunakan *C4.5* berbasis *adaboost* didapatkan nilai *accuracy* 92,24 % dengan nilai AUC adalah 0,982. Selain itu, peneliti juga mengkomparasi dengan *algoritma C4.5* berbasis *Bagging* didapat *accuracy* 91,89% dan nilai AUC 0,963.

Maka dapat disimpulkan pengujian model penyakit jantung dengan menggunakan *algoritma C4.5* berbasis *Adaboost* lebih baik dari pada *algoritma C4.5* sendiri, dengan peningkatan akurasi sebesar 6,42% dan peningkatan nilai AUC sebesar 0,26%. Hasil pengujian model [9] dapat disimpulkan bahwa *algoritma C4.5* berbasis *adaboost* memberikan pemecahan untuk permasalahan penyakit jantung lebih akurat.

Penelitian ini [2] melakukan prediksi awal penyakit jantung dengan menggunakan algoritme *Back Propagation Neural Network* (BPNN) dan menambahkan metode *Adaboost* untuk mengoptimalkan performa BPNN. Penerapan algoritme BPNN dengan penambahan metode *Adaboost* dilakukan dengan melakukan perulangan (*iteration*) dan pemberian bobot pada tiap atribut (*attribute weighting*) untuk meningkatkan akurasi.

Penelitian ini [2] menggunakan dataset UCI *repository* penyakit jantung. Langkah-langkah penerapan dataset untuk prediksi awal penyakit jantung koroner dengan algoritme BPNN dan BPPN dengan metode *Adaboost* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain Eksperimen [2]

Eksperimen penelitian [2] yang didesain seperti pada Gambar 4 dilakukan dengan mengimplementasikan dataset jantung terhadap algoritme BPNN dan BPPN dengan metode *Adaboost* menggunakan *10 x-validation* dan evaluasi menggunakan *confussion matrix* untuk mendapatkan keakurasian hasil prediksi.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai akurasi dengan BPNN adalah 96,65% dan nilai AUC adalah 0,968, sedangkan nilai akurasi BPNN dengan *adaboost* adalah 99,29% dan nilai AUC adalah 0,994. Dapat disimpulkan pengujian model prediksi awalpenyakit jantung menggunakan BPNN dengan *Adaboost* lebih

tinggi akurasi, dengan peningkatan akurasi sebesar 2,64% dan peningkatan nilai AUC sebesar 0,026%.

Penelitian [11] menggunakan data penyakit jantung koroner yang ada untuk mempelajari serta menemukan pola yang digunakan untuk mendeteksi penyakit jantung koroner yang disediakan di website UCI *repository*.

Penelitian [11] menggunakan metode *Principal Component Analysis* untuk mereduksi variabel yang ada pada dataset sehingga variabel yang tereduksi merupakan variabel pokok yang merupakan faktor yang mempengaruhi penyakit jantung koroner.

Peneliti [11] juga menggunakan metode *Decision Tree* yang digunakan untuk membuat aturan berbetuk *if-then* yang digunakan untuk mendiagnosis penyakit jantung koroner, dan menggunakan *software* data mining WEKA. Dari 14 variabel yang ada pada dataset, diketahui hanya Sembilan variabel yang mempengaruhi penyakit jantung koroner sedangkan variabel yang lain dianggap tidak terlalu mempengaruhi penyakit jantung koroner. Sembilan variabel tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan metode *Decision Tree* dan diperoleh 25 aturan yang dapat digunakan untuk membantu mendeteksi penyakit jantung koroner. Hasil eksperimen diperoleh nilai keakuratan sebesar 75,42% [11].

V. KESIMPULAN

Dari hasil kajian beberapa jurnal dan publikasi diatas memberikan gambaran beberapa algoritme data mining yang digunakan untuk mendiagnosis Penyakit Jantung. Masing-masing algoritme mempunyai kelebihan dan kekurangan sehingga tingkat akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang dihasilkan setiap penelitian berbeda-beda. Banyak faktor yang mempengaruhi diantaranya perbedaan tujuan dan pendekatan dalam penelitian, perbedaan dataset serta perbedaan *software* data mining yang digunakan dalam penelitian. Dari hasil penelitian diatas dan pembahasan yang telah dipaparkan dapat ditarik kesimpulan bahwa proses diagnosis penyakit jantung menggunakan teknik data mining memberikan hasil akurasi terbaik yaitu penelitian [2] dengan menggunakan *Algoritma Back Propagation Neural Network* yang berbasis metode *Adaboost* dengan tingkat akurasi 99.29%.

REFERENSI

- [1] W.H. Organization, Global Atlas on Cardiovascular Disease Preventin and Control, 1st ed. World Health Organization, 2012.
- [2] Ricardus AP, Ika ND, Hasan A (2013), "Penentuan Prediksi Awal Penyakit Jantung Menggunakan Algoritme *Back Propagation Neural Network* dengan Metode *Adaboost*", Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan, November 2013.
- [3] J. Soni, and others, "Predictive Data Mining for MedicalDiagnosis: An Overview of Heart Disease Prediction", International journal of Computer Application, volume17, No.8, March 2011.
- [4] "Sakit Jantung Koroner", [Available Online] www.sakitjantung.net diakses tanggal 10 Agustus 2014
- [5] "What Is Coronary Heart Disease? - NHLBI, NIH." [Online]. Available: <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/heartattact/>. Diakses tanggal02-May-2013.
- [6] "What Is Coronary Heart Disease? - NHLBI, NIH." [Online]. Available: <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/cad/>. Diakses tanggal02-May-2013.
- [7] UCI, "Heart disease dataset", 28-May-2013 [Online]. Available : <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/heart-disease/cleve.mod>. Diakses tanggal : 28-May-2013.
- [8] UCI, "Heart disease dataset", 28-May-2013 [Online]. Available : <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/heart-disease/heart-disease.names>. Diakses tanggal : 28-May-2013.
- [9] Rohman A, "*Penerpaan Algoritme C4.5 Berbasis Adaboost Untuk Prediksi Penyakit Jantung*". Jurnal, Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran, 2013.
- [10] Shouman Mai, dkk. "*Applying k-Nearest Neighbour in Diagnosing Heart Disease Patients*". International Journal of Information and Education Technology, Vol. 2, No. 3, June 2012..
- [11] Galih Hendro Martono, "*Penggunaan Pricipal Component Analysis dan Phon Keputusan untuk mendeteksi Penyakit Jantung Koroner*". Tesis Tidak Terpublikasi, Pascasarjana Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 2012.
- [12] Larose, D.T., (2007). "Datamining Method and Models", New Jersey, Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- [13] Florin Gorunescu, *Data mining concepts models and technique*. berlin: Springer, 2011.
- [14] Jolliffe, I.T. *Principal Component Analysis*. Edisi kedua. Springer-Verlag. New York. 2002.
- [15] Susetyoko, Ronny dan Purwantini, Elly. Teknik Reduksi Dimensi Menggunakan Komponen Utama Data Partisi Pada Pengklasifikasian Data Berdimensi Tinggi dengan Ukuran Sampel Kecil.
- [16] Destriyana.2013. "Kenali 11 jenis penyakit jantung yang berbahaya". [Availabel Online] <http://www.merdeka.com/sehat/kenali-11-jenis-penyakit-jantung-yang-berbahaya.html>. Diakses tanggal 23 Agustus 2013.

IDENTIFIKASI MARKA GARIS PEMBATAS JALAN DAN OBYEK PENGHALANG DI JALAN RAYA MELALUI TEKNIK DETEKSI KANDIDAT DAN PENGKLASIFIKASIAN

Sayidiman^{1,2,a}, Hanung Adi Nugroho^{2,b}, Rudy Hartanto^{2,c}

¹ *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram
Jln. Majapahit 62 Mataram 83125 INDONESIA*

² *Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA*

Email : sayidiman@gmail.com^a, adinugroho@ugm.ac.id^b, rudy@ugm.ac.id^c.

Abstract -- Safety driving on road is very influential on visual information received and processed by the driver, in general aims to keep vehicle on the lane and identifying there are objects barrier or not in front of vehicle.

In this research, method of voting used to find equation of lane boundaries road marker which then can be classified become markers intact or the dotted lines by using lines of sample and the peak detection. The lanes have been detected became the object detection area which begins with searching the object candidates through the vertical edge detection, all of the candidate objects which have detected finally verified using classification that's formed by Haar like features and Adaboost. In the voting method used 3 types limitation of the voting, two types on the first frame and the third type used on next frame so on. Restricted to 2 types of barrier objects is used, they are cars and motorbikes, where for each object type selected into 10 best features by Adaboost as classifier.

From testing in several variations condition of lighting and condition of the road got that a system formed can run well, which allows it to be applied to development aids driving safety system on the highway.

Intisari — Keamanan berkendara di jalan sangat berpengaruh pada informasi visual yang diterima dan diolah oleh pengemudi, yang secara umum bertujuan untuk menjaga kendaraan tetap pada lajur dan mengetahui ada tidaknya objek penghalang di depan.

Tujuan penelitian ini untuk menerapkan metode-metode deteksi seperti penguatan ciri, voting, dan pendeteksi puncak serta teknik pengklasifikasi menggunakan *haar like feature* dan *adaboost* untuk membentuk sistem identifikasi kondisi jalan di depan kendaraan yang merupakan informasi utama untuk pengendalian kendaraan di jalan raya. Penggunaan metode voting dengan 3 tipe pembatasan daerah, dua tipe pada frame pertama dan tipe ke-3 yang diperkecil digunakan pada frame seterusnya. Hasil voting berupa persamaan garis marka jalan, yang selanjutnya dapat diklasifikasikan menjadi marka utuh atau putus-putus, menggunakan garis-garis sampel dan deteksi puncak. Lajur yang telah terdeteksi menjadi daerah deteksi untuk pencarian kandidat objek menggunakan deteksi tepi vertikal, semua bakal objek yang terdeteksi akhirnya diverifikasi menggunakan pengklasifikasi yang terbentuk menggunakan *haar like feature* dan *adaboost*. Dibatasi hanya dua tipe objek penghalang yang digunakan yaitu mobil dan motor, dimana untuk tiap tipe objek dipilih 10 fitur terbaik oleh *adaboost* sebagai *klasifier*.

Dari pengujian dengan beberapa variasi kondisi pada pencahayaan dan kondisi jalan didapatkan bahwa sistem yang dibentuk dapat berjalan dengan baik, sehingga memungkinkan

untuk diaplikasikan pada pengembangan sistem alat bantu keamanan kendaraan di jalan raya.

Kata kunci : *Haar like feature, adaboost, voting, deteksi kandidat.*

I. Pendahuluan

Keselamatan transportasi jalan menjadi kajian penting karena tingginya tingkat kecelakaan dan menyebabkan korban meninggal dunia yang mencapai 30.364 orang per tahun, luka berat 450.000 orang, luka ringan 2.100.000 orang dan kerusakan properti sebanyak 13.515.000. Jika dihitung secara nasional diperkirakan mencapai 41,396 triliun rupiah per tahun [1].

Adapun faktor penyebab utama kecelakaan terdiri dari faktor manusia 90%, faktor kendaraan 7% dan faktor jalan 3% [1], hal ini berhubungan dengan informasi visual yang diperkirakan mencapai 90% dari mengendalikan kendaraan di jalanan. Informasi visual untuk menjaga kendaraan tetap berada pada lajurnya dan menjaga jarak yang aman dari objek penghalang yang ada didepannya untuk menghindari kecelakaan. Sehingga penting untuk mendeteksi jalan dan objek penghalang di depan.

Dengan makin pesatnya teknik pengolahan citra dan visi komputer, kamera menjadi sensor yang paling tepat untuk mendapatkan informasi visual [2], yang selanjutnya perlu diolah menggunakan teknik-teknik pengolahan citra dan visi komputer yaitu teknik deteksi kandidat dan pengklasifikasi

Tujuan penelitian ini untuk menerapkan metode-metode deteksi seperti penguatan ciri, voting, dan pendeteksi puncak serta teknik pengklasifikasi menggunakan *haar like feature* dan *adaboost* untuk membentuk sistem identifikasi kondisi jalan di depan kendaraan yang merupakan informasi utama untuk pengendalian kendaraan di jalan raya.

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Deteksi Jalan

Pemanfaatan teknologi visi komputer dan pengolahan citra pada transportasi jalan raya bertujuan untuk meningkatkan keamanan berkendara di jalan raya pada umumnya melibatkan dua tugas utama yaitu estimasi geometri jalan dan deteksi kendaraan atau penghalang secara otomatis [2].

Teknik berdasarkan model hanya menggunakan sedikit parameter untuk merepresentasikan jalan. Dengan asumsi bahwa tepi jalan dapat direpresentasikan dengan garis lurus [3], atau kurva parabola [3][4], proses untuk mendeteksi jalan sama dengan proses untuk menghitung parameter model. Pada umumnya teknik ini lebih baik terhadap gangguan dan hanya terfokus pada tepi jalan.

Beberapa penelitian lain yang dilakukan untuk mendeteksi jalan dengan mencari parameter-parameter model jalan diantaranya:

Menggunakan pendekatan *deformable template* dengan nama *LOIS (likelihood of image shape)*, yang menggunakan detektor tepi *canny* untuk mendapatkan gradien dan orientasi dari setiap piksel, tepi jalan biasanya memiliki gradien yang kuat dan orientasi yang tetap. Dengan mengoptimalkan fungsi *likelihood* berdasarkan model jalan yang digunakan [5]. Algoritme ini tidak dapat menjamin secara optimal dan akurat, tanpa menuntut sumber komputasi yang besar.

Marka garis pembatas jalan dideteksi melalui dua pendekatan yaitu pertama memisahkan marka tanda jalan dengan mencari range warna jalan. Kedua menggunakan *sobel operator* untuk memetakan gradien dan orientasinya dari marka garis jalan. Selanjutnya orientasi marka yang diterapkan pada transformasi Hough untuk mendapatkan parameter persamaan garis yang cocok untuk marka garis jalan. Tepi yang terdeteksi digunakan untuk melakukan penjejakan pada frame video yang berurutan menggunakan *linear-parabolic tracking model*. Dengan metode ini dapat mengurangi waktu komputasi [6].

Penggunaan model linear untuk mendapatkan informasi posisi kendaraan dan orientasinya yang dibandingkan dengan tepi jalan. Berdasarkan pada gambar skala keabuan, dengan adanya perbedaan kontras antara tanda batas jalan dan permukaan jalan digunakan transformasi *radon* untuk mengekstrak parameter persamaan yang cocok untuk tanda jalan [7].

Pengklasifikasian marka tanda jalan, dengan memberi nilai pada piksel yang dilalui garis yang didapatkan pada deteksi jalan. Jika merupakan bagian dari marka diberi nilai 1 dan -1 jika sebaliknya. Dengan menjumlahkan nilai dari semua piksel maka didapatkan suatu nilai maksimum. Berdasarkan nilai maksimum ini ditentukan marka yang terdeteksi tersebut adalah marka utuh atau putus-putus [8].

Penggunaan garis sampling horisontal dengan lebar dan jarak tertentu antar garis sampling. Setiap garis sampling digunakan untuk menentukan terdapat marka garis jalan atau tidak. Selanjutnya setiap garis sampling diberi simbol-simbol yang unik. Berdasarkan penggabungan simbol-simbol inilah akan ditentukan apakah marka garis yang terdeteksi adalah marka utuh atau putus-putus [9].

Mempercepat proses deteksi garis dengan membagi gambar atau daerah deteksi menjadi dua area yaitu area pembabatan (*pruning area*) dan area *voting* [10].

2.2 Deteksi Penghalang

Metode yang digunakan dalam deteksi penghalang bervariasi tergantung pada definisi dari penghalang. Jika penghalang adalah mobil, maka proses deteksi didasarkan pada pencarian menggunakan pola atau bentuk yang spesifik. Ciri-ciri lain yang mendukung pemrosesan dapat berdasarkan analisis dari satu gambar.

Menggunakan tiga ciri untuk mendeteksi kendaraan di depan yaitu bagian bawah kendaraan, tepi vertikal dan simetri. Algoritme pencari puncak mencari potensial daerah kendaraan [11].

Menggunakan ciri tepi, dengan memperkuat ciri tepi dengan menggunakan *Haar-like* [12]. Algoritme pendeteksian dibagi dalam dua langkah, pertama menentukan kandidat kendaraan dengan bayangan, intensitas dan tepi vertikal. Langkah kedua menentukan kandidat itu kendaraan atau bukan dengan menggunakan simetri tepi vertikal.

Mendeteksi bayangan dengan menggunakan daerah jalan hasil deteksi sebelumnya. Bayangan kendaraan hanya dideteksi pada daerah ini dan selanjutnya dibuat batasan daerah berdasarkan hasil deteksi bayangan tersebut serta rasio lebar daerah kendaraan dengan lebar jalan. Langkah selanjutnya yaitu melakukan verifikasi dengan deteksi simetri arah vertikal dan horizontal [6].

Sebaliknya, jika penghalang merupakan semua obyek yang dapat menghalangi jalur jalan kendaraan. Deteksi penghalang secara umum disederhanakan untuk mendeteksi daerah bebas pada jalan sebagai ganti penggunaan pola yang spesifik. Teknik yang berbeda dapat digunakan, seperti (1) menganalisis bidang aliran optis dan (2) pemrosesan gambar ganda; kedua teknik memerlukan dua atau lebih gambar, jadi memerlukan komputasi yang kompleks, dan semakin meningkat dengan kebutuhan mengatasi *noise* karena pergerakan obyek.

Penggunaan metode "*moving window*" pada lajur jalan yang terdeteksi untuk mendeteksi obyek penghalang pada frame tunggal. *Moving window* diperbaharui dan digerakan pada arah tertentu yang diprediksi oleh *kalman filter*. Selanjutnya jaringan saraf tiruan digunakan untuk pengenalan obyek penghalang berdasarkan histogram dari *moving window* [13].

Pendeteksian dengan metode titik sampel pada setiap lajur kendaraan, dimana dengan metode ini setiap titik sampel digunakan untuk mengecek apakah terjadi perubahan warna jika dibandingkan dengan warna jalan. Dimana jika kumpulan titik sampel yang dideteksi berubah warnanya mengindikasikan sebagai objek penghalang [14].

Melakukan pendeteksian objek dengan membagi daerah bidang gambar menjadi bagian-bagian kecil (*search stripes*) untuk arah vertikal maupun horisontal. Pada setiap strip dilakukan pencarian tepi vertikal dan horisontal objek menggunakan *Krosnos mask* yang berukuran 5x7. Pada objek yang terdeteksi dapat dilakukan penjejakan pada bidang gambar selanjutnya menggunakan strip-strip tempat objek terdeteksi [15].

Penggunaan metode untuk mendeteksi objek penghalang di jalan. Dengan membentuk jendela pencari (*searching windows*) untuk melakukan pencarian pada semua area bidang gambar. Posisi dan ukuran jendela pencari mengikuti perspektif mapping pemandangan ke bidang gambar. Untuk menentukan objek penghalang atau bukan setiap jendela pencari dievaluasi dengan pengklasifikasi yang dibentuk dari *haar like feature* dan *Adaboost* [16][17].

Pada penelitian ini digunakan 3 tipe batasan daerah *voting* sebagai batasan daerah pencarian yang dipersempit untuk mencari kemungkinan marka garis sehingga terbentuk batasan daerah pencarian obyek. Tahap pencarian kandidat obyek penghalang menggunakan ciri tepi pada daerah pencarian objek. Pada tahap verifikasi menggunakan pengklasifikasi yang dibentuk dari *haar like feature* dan algoritme *Adaboost*.

III. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian menggunakan kajian eksperimen dengan menggunakan alat bantu (*tools berbasis GUI*) yang dibentuk dari program matlab.

Beberapa sampel yang digunakan, direkam dari kondisi jalan yang sebenarnya menggunakan mobil merek Daihatsu tipe xenia dengan konfigurasi penempatan kamera untuk mendapatkan kondisi pengamatan jalan yang diinginkan berdasarkan hukum perspektif kamera.

Penelitian diawali dengan persiapan sampel dengan membagi sesuai kebutuhan pembentukan sistem, verifikasi dan pengujian.

Pembentukan sistem berupa alat bantu berbasis GUI berdasarkan pada hal pertama yaitu aturan jalan dan marka serta hukum perspektif untuk mendapatkan pembatasan area pada gambar yang akan diproses, yang kedua teknik deteksi garis dengan metode voting, dan ketiga yaitu teknik deteksi puncak, *haar like feature* serta *adaboost*.

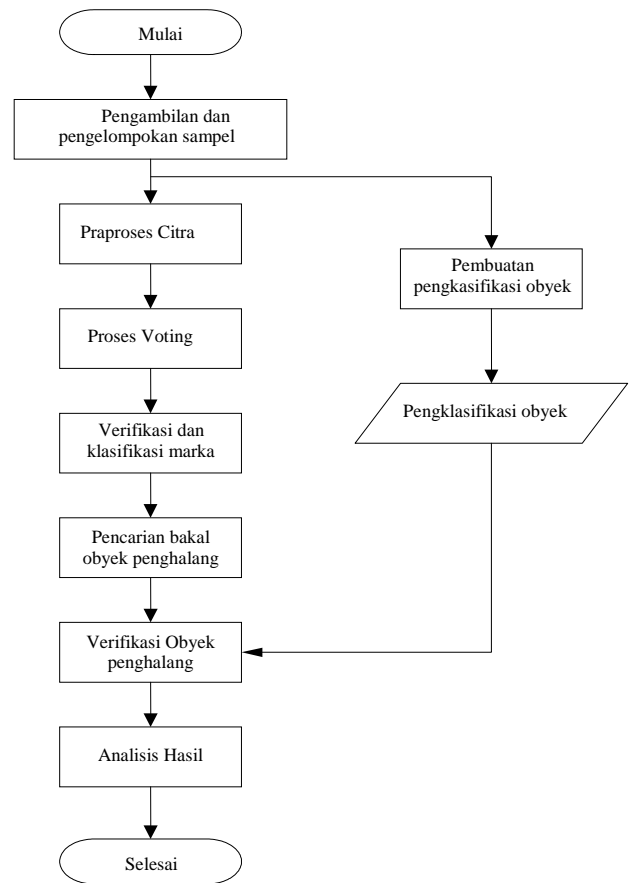
Secara garis besar akan dilakukan proses identifikasi dengan memperkecil daerah deteksi, menentukan kandidat daerah atau area jalan dan objek serta melakukan verifikasi dan klasifikasi. Seperti yang ditunjukkan pada diagram alir pada Gambar 1.

IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang dilakukan meliputi proses pengumpulan dan pengelompokan sampel, pra pengolahan citra, proses deteksi dan klasifikasi marka hingga deteksi dan verifikasi objek penghalang yang didapatkan dari pengujian sampel menggunakan alat bantu berbasis GUI.

Pengelompokan sampel terbagi untuk pengujian identifikasi marka, pengelompokan untuk pembentukan pengklasifikasi objek serta pengelompokan untuk pengujian identifikasi objek penghalang seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 dan Gambar 2.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Tabel 1. Pengelompokan Sampel

Kelompok	Penggunaan	Kondisi	keterangan
Marka Garis pembatas	Pengujian	Lurus	300 gambar berurutan
		Berbelok	200 gambar berurutan
		Cahaya langsung	200 gambar berurutan
		Jalan dengan bayangan	200 gambar berurutan
		Cahaya kurang	200 gambar berurutan
Objek Penghalang	Pembentukan dan pengujian Pengklasifikasi objek	Mobil	820 sampel (+) dan 1000 sampel (-)
		Motor	770 sampel (+) dan 1000 sampel (-)
	Pengujian	1 objek mobil atau motor	30 gambar
		Lebih dari 1 objek (mobil dan motor)	
Tanpa objek			



Gambar 2 (a)



Gambar 2 (b)



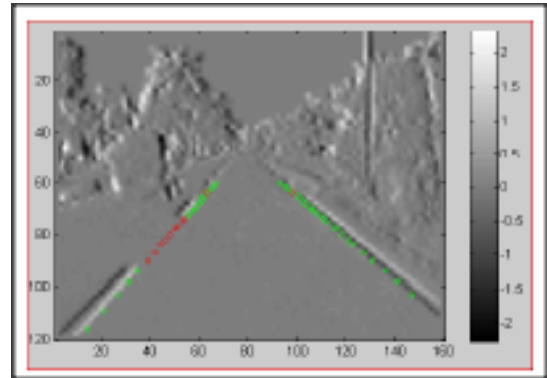
Gambar 2 (c)

Gambar 2. Pengelompokan sampel untuk (a) Pengujian identifikasi marka, (b) Pembentukan pengklasifikasi obyek, (c) Pengujian identifikasi obyek penghalang.

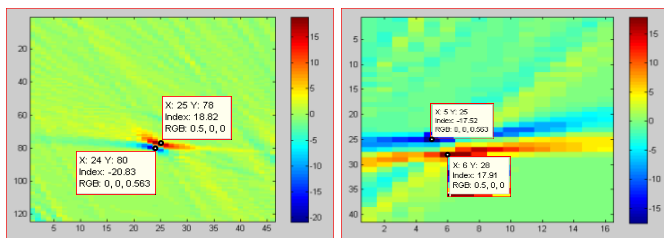
Tipe 1 mendapatkan matriks voting dengan ukuran 124 x 46 atau 5704 proses, tipe 2 mendapatkan matriks voting 41 x 16 atau 656 proses dan tipe 3 mendapatkan matriks voting 6 x 6 atau 36 proses.

Dari proses voting dapat dideteksi dan diklasifikasi garis marka yang membatasi daerah jalan. Hal ini ditunjukkan dengan posisi puncak pada setiap hasil matriks voting yang dapat menghasilkan persamaan garis sebagai representasinya.

Hasil klasifikasi marka menunjukkan marka garis utuh atau marka garis putus-putus, hal ini didapatkan dengan teknik pembagian sampel pada garis marka terdeteksi dan deteksi puncak, terlihat pada Gambar 4.

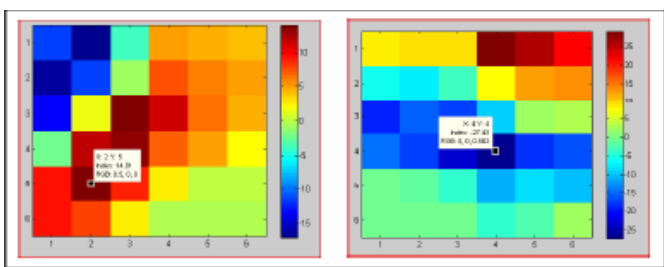


Gambar 4. Hasil Deteksi dan klasifikasi marka



(a)

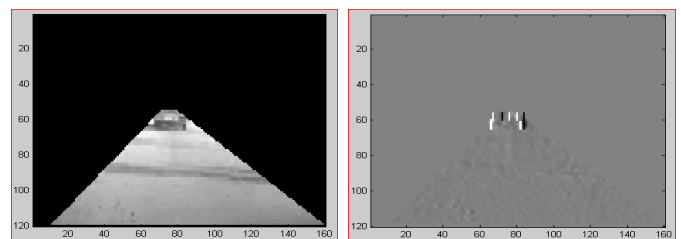
(b)



(c)

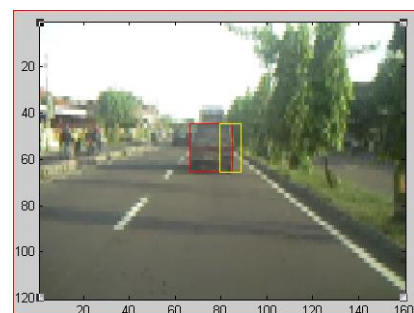
Gambar 3. Matriks voting untuk (a) hasil pembatas tipe 1, (b) hasil pembatas tipe 2, (c) hasil pembatas tipe 3.

Hasil deteksi marka dapat ditunjukkan melalui proses voting dan pembatasan daerah voting yang terbagi menjadi tipe 1 dan 2 untuk digunakan pada frame pertama serta tipe 3 untuk frame seterusnya, hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



(a)

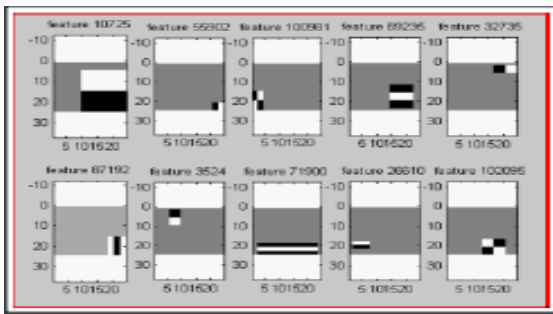
(b)



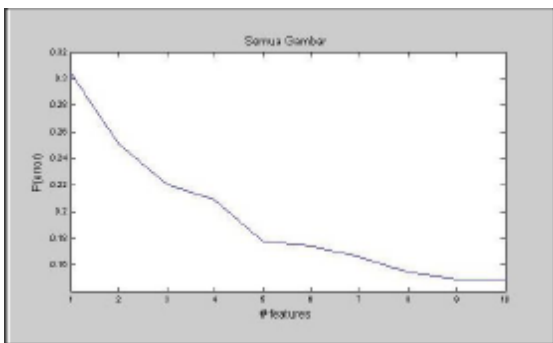
(c)

Gambar 5. Proses deteksi obyek untuk (a) Daerah deteksi obyek, (b) Deteksi puncak pembentukan deteksi obyek.

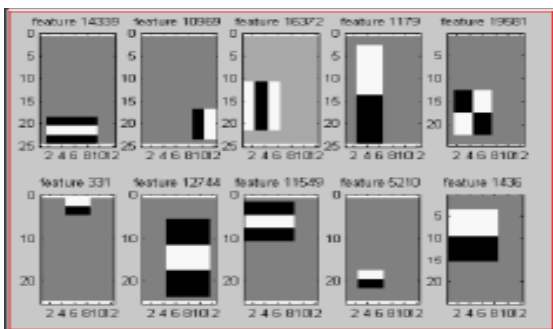
Setelah mendapatkan daerah jalan dapat dicari kandidat obyek penghalang melalui deteksi nilai puncak pada daerah jalan terdeteksi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



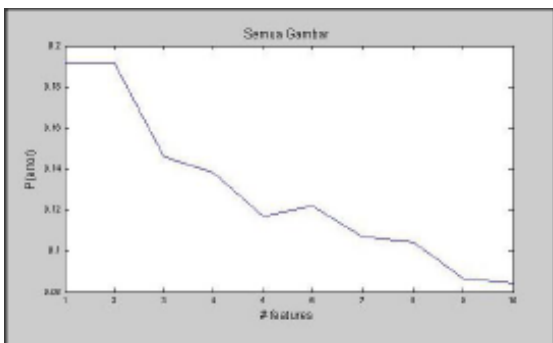
(a)



(b)



(c)

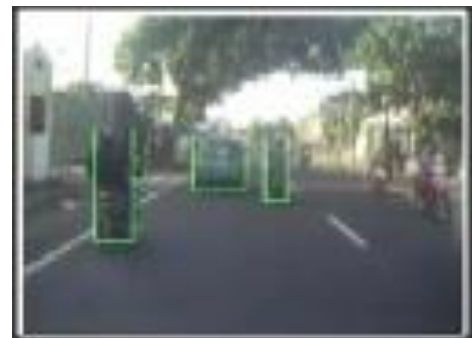


(d)

Gambar 6. Fitur dan performa pengklasifikasi untuk (a) Fitur terbaik mobil, (b) Performa pengklasifikasi mobil, (c) Fitur terbaik motor, (d) Performa pengklasifikasi motor.

Hasil deteksi obyek yang sebenarnya dilakukan melalui proses verifikasi menggunakan pengklasifikasi yang dibentuk dengan *haar like feature* dan *adaboost*. Obyek berupa mobil dan motor, dengan *haar like feature* dapat diekstrak 102883 fitur untuk mobil dan 21007 untuk motor. Dengan *adaboost* dipilih 10 fitur terbaik seperti ditunjukkan pada Gambar 6a dan 6c. Performa pengklasifikasi menunjukkan kesalahan pembacaan dari setiap sampel uji. Gambar 6b menunjukkan peluang kesalahan pengenalan motor dengan menggunakan 10 *feature* dibawah 0,1, serta pengenalan mobil dengan menggunakan 10 *feature* mempunyai peluang kesalahan mendekati 0,05, seperti ditunjukkan pada Gambar 6d.

Dengan menerapkan pengklasifikasi dapat dihasilkan pendeteksian dan pengklasifikasi obyek. Secara tidak langsung dapat ditentukan besar daerah halangan dan jarak obyek didepan kendaraan, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil verifikasi obyek

4.2. Pembahasan Hasil Penelitian

Gambar 3. memperlihatkan matiks voting untuk deteksi marka pembatas jalan, dengan penggunaan 3 tipe maka dapat dihasilkan waktu proses yang lebih cepat.

Dari hasil pengujian proses deteksi marka pembatas jalan dengan penggunaan 3 tipe mempunyai tingkat keberhasilan yang tinggi, walaupun pada kondisi pencahayaan dan bayangan.

Dengan penggunaan 3 tipe dihasilkan pencarian pada daerah yang sempit, sehingga pencarian terfokus pada pergeseran atau perubahan posisi hasil deteksi, sedangkan pembentukan daerah yang sempit berpeluang terjadi kesalahan deteksi, karena perubahan posisi yang jauh seperti terjadi pada saat perpindahan jalur dan berbelok tajam.

Pembentukan daerah deteksi obyek dari hasil deteksi marka membuat pencarian obyek penghalang terfokus pada bidang gambar yang memuat lajur.

Untuk deteksi obyek dengan menggunakan deteksi puncak masih menghasilkan kandidat obyek yang terlalu banyak, apalagi bila terdapat marka lain seperti sebrakros atau panah penunjuk jalan, sedangkan dengan 10 *feature* pengklasifikasi telah mampu melakukan verifikasi dengan tepat.

V. Kesimpulan

Dengan penggunaan 3 tipe pembatas daerah *voting* dapat dihasilkan proses deteksi yang lebih tepat dan cepat. Hal yang mempengaruhi keberhasilan deteksi yaitu kondisi jalan dan penentuan kandidat.

Secara keseluruhan sistem dapat melakukan identifikasi kondisi jalan didepan kendaraan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Keselamatan Transportasi Darat, 2007, "Pedoman Operasi Accident Blackspot Investigation Unit/Unit Penelitian Kecelakaan Lalulintas (ABIU/UPK)", Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Jakarta.
- [2] Kastrinaki, V., Zervakis, M., Kalaitzakis, K. 2003, "A survey of video processing technique for traffic applications", In Image and Vision Computing 21, january. 359-381.
- [3] Jung, C. R. and Kelber, C. R. 2005. "Lane following and lane departure using a linear-parabolic model. Image and Vision Computing", 23 pp. 1192-1202
- [4] Wang, Y., Teoh, E. K., Shen, D., 2004, "Lane detection and tracking using B-Snake". Image and Vision Computing 22 pp. 269-280.
- [5] Kreucher, C., Lakshmanan, S., and Kluge, K. 1998, "A Driver Warning System Based on the LOIS Lane Detection Algorithm", In IEEE Intelligent Vehicle, Symposium, October. 28-30. Stuttgart.
- [6] Lim, H. K., Ang, L., Seng, K. P., Chin, S. W., 2009 "Lane-Vehicle detection and Tracking", Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2009 Vol II, IMECS 2009, March 18 - 20, Hong Kong.
- [7] Nourine, R., Samia, F., K., 2006, "Vision-based lane boundaries following for autonomous vehicle guidance", National Computer Conference. 18, saudi Arabia.
- [8] Shen, X., Tseng, D., Lin, C., Hu, T., Liou, R. 2008 "Versatile Visual Detection Techniques for Advanced Safety Vehicles". In proceeding of IPCV. pp. 397-403.
- [9] Vacek, S., Schimmel, C. and Dillmann, R. 2007, "Road-marking analysis for autonomous vehicle guidance". Proceedings of the 3rd European Conference on Mobile Robots.
- [10] Chung, K., Huang, Y., 2008. "A Pruning and Voting Strategy to Speed up the Detection for Lines, Circles, and Ellipses". Journal of Information Science and Engineering 24, pp. 503-520.
- [11] Huang, S. S., Chen, C. J., Hsiao, P. Y. and L. C. Fu, 2004, "On-Board Vision System for Lane Recognition and Front-Vehicle Detection to Enhance Driver's Awareness", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2456-2461.
- [12] Han, S., Han, Y., Hahn, H., 2009. "Vehicle Detection Method using Haar-Like Feature on Real Time System". World Academy of Science, Engineering and Technology. 35.
- [13] Choi, S. Y., Jin, T. S., and Lee, J. M., 2003 "Optimal Moving Windows for Real-Time Road Image Processing". Journal of Robotic Systems Volume 20, Issue 2, pp. 65-77.
- [14] Graefe, V and Efenberger, W., 1996, "A Novel Approach for the detection of Vehicles on Freeways by Real-Time Vision", , Proceedings of the 1996 IEEE, Intelligent Vehicles Symposium, Tokyo 19-20 Sep, 363 - 368.
- [15] Thomanek, F. and Dickmanns, E.D., 1995. "Autonomous road vehicle guidance in normal traffic". Proceedings of ACCV.
- [16] Ger'onimo, D., Sappa, A., D., L'opez, A., and Ponsa, D., 2007. "Adaptive Image Sampling and Windows Classification for On-

board Pedestrian Detection", Proceedings of the 5th International Conference on Computer Vision Systems (ICVS).

- [17] Ponsa, D., L'opez, A., Lumbreras, F., Serrat, J. and Graf, T., 2005. "3D vehicle sensor based on monocular vision", IEEE Conf. on Intelligent Transportation Systems, pp. 1096-1101.

Peranan Fitur Kontur Dan *Slope* Dalam Pengenalan Tanda Tangan Offline Dengan *Dynamic Time Warping*

Ignatia Dhian Estu Karisma Ratri¹, Hanung Adi Nugroho², Teguh Bharata Adji³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281, Indonesia

Email : dhian.mti.18b@mail.ugm.ac.id¹, adinugroho@ugm.ac.id², adji@ugm.ac.id³

Abstract— Basically to distinguish between one person to another is one of identification process. In real world, this would be easy for human. But if computer want to perform identification process, then there are some capabilities that must be possessed by the computer first. Computer must have data about the person before the matching process in advance can identified person. This identification can be done by knowing and recognizing the particular characteristics of a person, such as signature. There are also models of signature identification by looking at the histogram variations of the signature patterns using *Dynamic Time Warping*(DTW). In this study will be seen the role of contour and slope in distinguishing between genuine and forgery signatures using DTW. Signature image will first had a preprocessing, feature extraction and then analyzed with DTW then performed an analysis for the role of contour and slope on the test results. After experiment, found that the recognition system without contour and slope obtain the level of accuracy of 98% for recognizing genuine signature, it proved to be better than the system that using the contour and slope which only performed 76%. However, in recognizing forgery signatures, DTW method that using contour and slope can recognize as many as 66% for random forgery, 26% for unskilled forgery and 58% for skilled forgery.

Pada dasarnya untuk membedakan antara satu orang dengan yang lainnya merupakan salah satu proses identifikasi. Secara kasat mata tentunya hal ini akan sangat mudah sekali untuk dilakukan oleh manusia, akan tetapi jika komputer melakukan proses identifikasi terhadap seseorang maka ada beberapa kemampuan yang harus dimiliki oleh komputer tersebut sebelum melakukan proses identifikasi. Antara lain komputer harus memiliki sebuah data mengenai orang tersebut sebelumnya kemudian melakukan proses pencocokan terlebih dahulu sehingga dapat dilakukan identifikasi terhadap orang tersebut. Identifikasi ini dapat dilakukan dengan mengetahui dan mengenali karakteristik tertentu dari seseorang tersebut, seperti tanda tangan orang tersebut. Terdapat juga model identifikasi tanda tangan dengan melihat variasi histogram dari pola tanda tangan tersebut menggunakan *Dynamic Time Warping*(DTW). Pada penelitian kali ini akan dilihat peranan dari kontur dan *slope* dalam membedakan antara tanda tangan asli dan palsu yang ada menggunakan DTW. Data citra tanda tangan terlebih dahulu akan dilakukan pra-proses, kemudian dilakukan ekstraksi fitur dengan DTW kemudian dilakukan analisa terhadap peranan kontur dan *slope* pada hasil pengujian tersebut. Setelah dilakukan penelitian didapatkan bahwa untuk pengenalan tanda tangan asli didapatkan tingkat akurasi system yang tidak menggunakan kontur dan *slope* sebesar 98% terbukti lebih baik dari sistem yang menggunakan kontur dan *slope* yang hanya sebesar 76%. Akan tetapi dalam mengenali tanda tangan palsu, pengenalan dengan metode DTW yang menggunakan kontur dan *slope* dapat mengenali *random*

forgery sebanyak 66%, *unskilled forgery* sebanyak 26% dan *skilled forgery* sebanyak 58%.

Keywords-*curvature, slope, Dynamic Time Warping, tanda tangan*

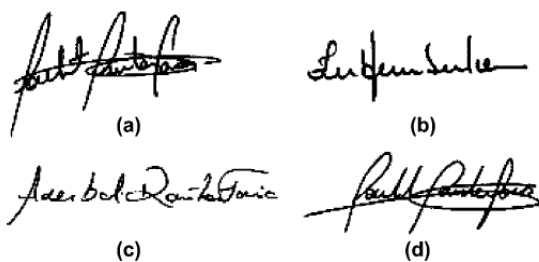
I. PENDAHULUAN

Pada dasarnya untuk membedakan antara satu orang dengan yang lainnya merupakan salah satu proses identifikasi. Secara kasat mata tentunya hal ini akan sangat mudah sekali untuk dilakukan oleh manusia, akan tetapi jika komputer melakukan proses identifikasi terhadap seseorang maka ada beberapa kemampuan yang harus dimiliki oleh komputer tersebut sebelum melakukan proses identifikasi. Antara lain komputer harus memiliki data mengenai orang tersebut sebelumnya kemudian melakukan proses pencocokan terlebih dahulu sehingga dapat dilakukan identifikasi terhadap orang tersebut. Identifikasi ini dapat dilakukan dengan mengetahui dan mengenali karakteristik tertentu dari seseorang tersebut. Pengembangan dari metode dasar identifikasi dengan menggunakan karakteristik alami manusia sebagai basisnya kemudian dikenal sebagai biometrik [1]. Terdapat banyak tipe biometrik antara lain sidik jari, pengenalan suara, retina dan tanda tangan.

Pada dasarnya setiap orang memiliki tanda tangan yang unik dan berbeda satu sama lain. Sekarang ini tanda tangan menjadi sebuah cara seseorang untuk memvalidasi autentifikasi seseorang antara lain jika seseorang akan melakukan pengambilan uang di bank atau validasi kehadiran pada saat ujian dan sebagainya. Terutama untuk dokumen yang penting seperti buku tabungan, ijasah, surat kuasa dan dokumen lainnya sangat ditentukan dibutuhkan autentifikasi tanda tangan pemilik. Melihat sejumlah besar tanda tangan diverifikasi secara visual setiap harinya secara manual maka memunculkan adanya potensi pembuatan sebuah sistem yang dapat melakukan verifikasi tanda tangan untuk memastikan keaslian tanda tangan dan mencegah adanya tindak pemalsuan tanda tangan. Teknologi identifikasi untuk pengenalan pola tanda tangan termasuk di dalam biometrik yang menggunakan karakteristik perilaku alami manusia [2]. Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan adanya dua tipe tanda tangan, yaitu tanda tangan *online* dan *offline*. Pada penelitian ini nantinya akan lebih banyak membahas mengenai pengenalan tanda tangan *offline*.

Pada pengenalan tanda tangan *offline* terdapat dua permasalahan utama, yaitu pengenalan tanda tangan dengan data sampel yang terbatas dan kemampuan sistem untuk mengenali tanda tangan seseorang dari beberapa model pemalsuan tanda tangan (*random*, *simpel*,

disimulasikan) [3]. Dalam kehidupan nyata, sangat sulit untuk mendapatkan data sampel untuk menguji kebenaran tanda tangan seseorang misalnya saja untuk pengujian terhadap ada tidaknya tindak kecurangan joki pada saat pembelian tiket kereta atau pada saat ujian masuk universitas karena data sampel yang ada hanya tanda tangan di kartu ujian mahasiswa. Terdapat beberapa macam tindak pemalsuan tanda tangan, ada model pemalsuan *random* atau yang biasa disebut *random forgery* biasanya pemalsu membuat sendiri tanda tangan tersebut tanpa mengetahui tanda tangan asli seperti apa, dapat dilihat pada gambar 1(b). Lalu ada model pemalsuan simpel (*unskilled forgery*), model pemalsuan ini lebih baik daripada pemalsuan *random* karena pemalsu diindikasikan sudah pernah melihat model tanda tangan asli dari tanda tangan yang akan dipalsu tersebut akan tetapi belum pernah melatih tanda tangan tersebut secara sengaja, model ini terdapat di gambar 1(c). Kemudian terdapat model pemalsuan disimulasikan atau terkadang disebut *skilled forgery*, yaitu pemalsu mempelajari terlebih dahulu tanda tangan asli dan memalsukan tanda tangan asli dengan hampir sempurna, model pemalsuan ini dapat terlihat pada gambar 1(d).



Gambar 1. Tipe pemalsuan tanda tangan, (a) tanda tangan asli; (b) pemalsuan random; (c) pemalsuan simpel; (d) pemalsuan disimulasikan [3]

Terdapat banyak teknik untuk pengenalan tanda tangan, antara lain *Pattern Matching*, *Backpropagation Network*, *Hidden Markov Model (HMM)*, *Support Vector Machine (SVM)* dan masih banyak lagi [4]. Pada beberapa penelitian yang ada HMM telah menjadi metode yang banyak digunakan untuk penelitian antara lain dalam pengenalan tulisan (*handwriting*), suara, tanda tangan [5]. Terdapat juga model pengenalan tanda tangan dengan melihat variasi histogram dari pola tanda tangan tersebut menggunakan DTW, dengan menggunakan statistik dan berdasarkan *skeleton* dari penulisan tanda tangan [6]. Kemudian juga dilakukan penelitian untuk menggunakan kontur luar dari tanda tangan dan fitur bentuk dari tanda tangan [7]. Oleh karena pada penelitian sebelumnya, telah dilihat kelebihan penggunaan kontur dan *slope* dengan menggunakan DTW untuk melihat kemampuan sistem untuk mengenali tanda tangan asli dan palsu yang diujikan. Pada penelitian kali ini akan dilihat peranan dari kontur dan *slope* dengan menggunakan algoritme DTW dalam membedakan antara tanda tangan asli dan palsu yang telah dikategorikan dengan beberapa tingkat pemalsuan yang ada, yaitu *random forgery*, *unskilled forgery* dan *skilled forgery*.

II. METODOLOGI

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah 250 data tanda tangan yang diperoleh dari 40 responden yang berbeda. Untuk 10 responden pertama yang ada akan memberikan masing-masing 10 tanda tangan asli. Pada pengujian, nantinya 10 tanda tangan dari masing-masing responden dibagi menjadi dua bagian, 5 tanda tangan asli pertama sebagai data pelatihan dan 5 lainnya nanti digunakan sebagai data uji. Kemudian 10 responden kedua membuat pemalsuan *random (random forgery)* dengan membuat masing-masing 5 tanda tangan palsu sehingga dihasilkan 50 data. Kemudian 10 responden ketiga melakukan *unskilled forgery* dan didapatkan 50 data. Dan yang terakhir 10 responden lainnya memalsukan tanda tangan dengan simulasi terlebih dahulu, hal ini disebut *skilled forgery*, dari sini didapatkan 50 data.

Data tanda tangan ini dikumpulkan dengan cara responden membuat tanda tangan tersebut pada sebuah kotak yang telah disiapkan pada kertas. Alat tulis yang digunakan dalam pengumpulan tanda tangan untuk masing-masing responden dengan tipe yang sama. Setelah tanda tangan dikumpulkan maka dilakukan *scanning* pada tanda tangan tersebut sehingga didapatkan tanda tangan tersebut dalam bentuk digital.

Setelah mendapatkan data tanda tangan secara digital maka akan dilakukan pemrosesan secara lebih lanjut untuk dapat melakukan proses identifikasi pada tanda tangan yang ada. Berikut ini adalah langkah yang dilakukan untuk melakukan proses identifikasi pada tanda tangan yang ada:

A. Praproses

Teknik praproses adalah teknik yang cukup penting dalam penelitian ini, karena dalam proses ini data digital yang masih mentah setelah dilakukan proses *scanning* akan diolah terlebih dahulu sebelum diproses lebih lanjut. Adapun langkah-langkah yang dilakukan antara lain adalah :

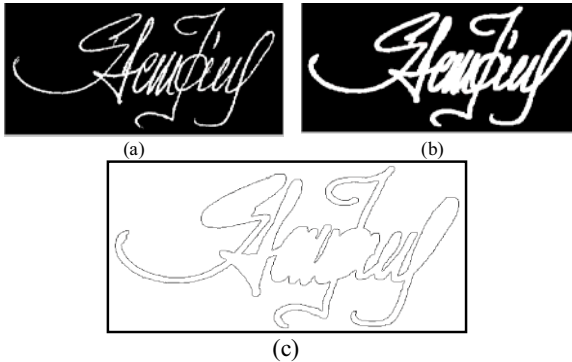
1) *Binarization*: Data tanda tangan pada awalnya masih berbentuk data gambar RGB, untuk memudahkan dalam proses pengujian maka data tanda tangan tersebut diubah menjadi data gambar biner yang hanya terdiri dari warna hitam dan putih saja. Untuk mengubah data gambar RGB menjadi data gambar biner maka terlebih dahulu data gambar RGB dikonversikan menjadi *grayscale*. Kemudian langkah yang dilakukan selanjutnya adalah melakukan konversi menjadi data gambar biner dengan menggunakan metode Otsu. Metode Otsu ini dapat memilih threshold paling optimal yang secara otomatis dan lebih stabil, karena didasarkan pada histogram gambar tersebut [8]

2) *Dilasi*: Pada beberapa gambar tanda tangan beberapa di antaranya terdapat garis yang terputus, hal ini dapat disebabkan beberapa hal, antara lain karena proses tidak sempurna pada saat *binarization*. Beberapa hal lain yang mungkin terjadi adalah pada saat melakukan tanda tangan pena yang digunakan mengalami kehabisan tinta, atau beberapa hal lainnya yang mungkin terjadi. Oleh

karena itu untuk memperbaiki hal tersebut maka dilakukan dilasi pada garis yang terputus.

3) *Median Filter*: Median filter digunakan untuk mengurangi gangguan atau penyimpangan pada data gambar yang ada [9]. Matriks yang digunakan pada *median filter* adalah matrik 15x15.

4) *Contour extraction*: Pada proses ini gambar yang telah melalui proses *binarization* dan dilasi akan dilakukan *scanning* secara menyeluruh untuk didapatkan titik yang membentuk bagian terluar dari gambar tanda tangan tersebut. Kemudian setelah didapatkan kumpulan titik tersebut, maka titik akan diurutkan mulai dari titik yang berada di paling kiri menuju titik yang berada di paling kanan dan diteruskan kembali menuju titik yang berada paling kiri sehingga nantinya akan dibentuk menjadi satu buah loop dari pola tanda tangan tersebut. Kemudian setelah itu dilakukan perhitungan untuk mengetahui posisi setiap titik, *slope* dan *curvature*. Hal ini nantinya diperlukan pada saat perhitungan menggunakan DTW.



Gambar 2. Hasil Praproses, (a) *Binarization*, (b) Dilasi dan Median Filter, (c) *Contour Extraction*

B. Ekstraksi Fitur

Untuk membuat sebuah kontur yang membuat bentuk bagian terluar dari gambar tanda tangan maka yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan algoritme pelacakan kontur Moore [9]. Berikut ini adalah algoritme yang digunakan untuk melacak kontur.

Algoritme untuk pelacakan kontur [9]
Input : $f(m,n)$: citra inputan berukuran m baris dan n kolom
Output : kontur(s): larik yang berisi piksel-piksel kontur sebanyak s buah

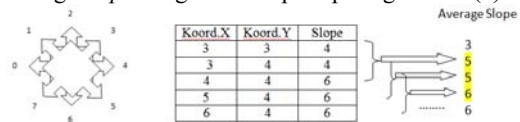
1. Dapatkan piksel yang berada pada paling kiri dan paling atas yang bernilai 1. Selanjutnya posisi piksel dicatat pada variabel b_0 dan posisi untuk memperoleh piksel berikutnya dicatat pada c_0 , yang mula-mula diisi dengan 4 (untuk menunjukkan arah barat)
2. Periksa 8 piksel tetangga pada b_0 searah jarum jam dimulai dari c_0 . Piksel pertama yang bernilai 1 dicatat pada b_1 . Adapun posisi yang mendahului b_1 dicatat pada c_1 .
3. Kontur(1) $\leftarrow b_0$, kontur(2) $\leftarrow b_1$, $jum \leftarrow 2$
4. $b \leftarrow b_1$ dan $c \leftarrow c_1$
5. WHILE true
 - a. Cari piksel pada 8 piksel tetangga yang pertama kali bernilai 1 dengan pencarian awal dimulai dari arah c dengan menggunakan pola arah jarum jam
 - b. Catat posisi piksel tersebut ke b

- c. Catat posisi yang mendahului piksel tersebut ke c
- d. Tambahkan b sebagai bagian kontur: $jum \leftarrow jum + 1$; kontur(jum) $\leftarrow b$
- e. IF $b=b_0$
 - Keluar dari WHILE
 - END-IF
- END-WHILE

Gambar 3. Algoritme Moore[9]

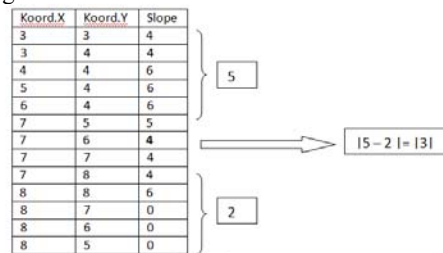
Kemudian setelah dilakukan pelacakan kontur maka langkah berikut yang dilakukan adalah membagi kontur tersebut menjadi dua, bagian atas dan bagian bawah. Dimulai dari titik yang berada di bagian paling kiri menuju titik yang berada di bagian kanan, kemudian dilanjutkan kembali dari titik paling kanan tersebut menuju titik yang berada di paling kiri. Sehingga nantinya membentuk satu buah loop kontur dari pola tanda tangan tersebut. Kemudian setelah membentuk sebuah kontur tanda tangan maka dari kontur tersebut dihitung nilai *slope* dan *curvature* dari titik-titik tersebut dengan cara perhitungan sebagai berikut

1) Untuk mendapatkan *slope* suatu titik, maka perlu dilihat posisi titik tersebut terhadap titik sebelumnya dengan menggunakan panduan pada gambar 4(a) di bawah ini. Kemudian setelah didapatkan *slope* dari masing-masing titik dalam kontur tersebut maka dicari *average slope* dengan cara seperti pada gambar 4(b).



Gambar 4. (a) Panduan Orientasi *Slope*; (b) Cara Perhitungan *average Slope*

2) Kemudian setelah diketahui rata-rata nilai *slope* dari masing-masing titik maka dilakukan perhitungan untuk *curvature* masing-masing titik, dengan cara seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 5. Cara perhitungan *curvature*

Setelah didapatkan perhitungan rata-rata nilai *slope* dan *curvature* seperti ilustrasi di atas maka langkah yang perlu dilakukan selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan menggunakan DTW dengan kontur dan *curvature* yang telah didapatkan pada perhitungan sebelumnya.

C. Dynamic Time Warping(DTW)

Setelah didapatkan dua buah pola kontur dari tanda tangan asli yang menjadi referensi dan tanda tangan yang akan diujikan untuk melihat kesamaan dari kedua pola tersebut dengan menggunakan DTW. Pada dasarnya

DTW yang digunakan dalam percobaan ini berbeda dengan DTW yang digunakan pada pengenalan suara [10]. Pada DTW percobaan ini akan digunakan *slope* serta *curvature* dari setiap pola tanda tangan yang ada untuk kemudian dimasukkan ke dalam fungsi DTW.

Sebuah pola perhitungan baru digunakan untuk menghitung parameter lokal dan *slope* untuk memenuhi kebutuhan dalam perhitungan ini. Berikut ini adalah algoritme yang digunakan dalam percobaan kali ini.

- *Inisialisasi*, $DA(0,0) = d(0,0)$ dan didapatkan nilai

$$d(i_x, i_y) = [f_s^2(\text{slope}(i_x) - \text{slope}(i_y)) + f_c^2(\text{curvature}(i_x), \text{curvature}(i_y))]^{1/2} \quad (1)$$

Dan

$$f_s(x) = \begin{cases} x, & x < 5 \\ 8 - x, & x \geq 5 \end{cases} \quad (2)$$

$$f_c(x_1, x_2) = (x_1 + 3)\%8 + (x_2 + 3)\%8 \quad (3)$$

- *Rekursi*, untuk $1 \leq i_x \leq T_x, 1 \leq i_y \leq T_y$, dengan ketentuan bahwa nilai i_x dan i_y selalu berada dalam grid yang ada. Maka dilakukan komputasi terhadap rumus berikut ini :

$$D_A(i_x, i_y) = \min_{i'_x, i'_y} [D_A(i'_x, i'_y) + \xi((i'_x, i'_y), (i_x, i_y))] \quad (4)$$

- *Termination*,

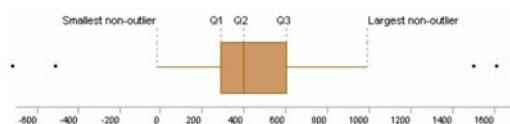
$$D(X, Y) = \frac{D_A(T_x - 1, T_y - 1)}{M_\Phi} \quad (5)$$

dengan $M_\Phi = T_x + T_y$

D. Teknik Validasi dan Evaluasi

Data yang ada nantinya akan diujikan dengan melihat berapa banyak data tanda tangan asli yang diujikan dapat terdeteksi oleh sistem dan berapa banyak data tangan palsu yang dapat dideteksi oleh sistem. Untuk memudahkan dalam menampilkan pola dari data yang ada maka digunakan model pengujian dengan *Boxplot*.

Boxplot adalah sebuah model analisa statistik yang dapat digunakan untuk melihat sebaran data [11]. Pada dasarnya *boxplot* terdiri dari kotak atau "box" dari kuartil pertama(Q1) sampai kuartil ketiga(Q3). Kelebihan dari *boxplot* adalah model analisa ini dapat menampilkan rentang dari nilai sebaran data yang ada mulai dari data dengan nilai terendah hingga tertinggi, termasuk *outlier* yang ada.



Gambar 6. Contoh ilustrasi *boxplot* [11]

Boxplot membagi himpunan data yang ada ke dalam kuartil, dan menampilkan *outlier* dari data tersebut. Oleh

karena itu dengan *boxplot* maka data uji yang ada dapat diujikan untuk menentukan data tersebut termasuk data tanda tangan asli atau palsu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari 250 data tanda tangan yang ada, cara pelatihan dan pengujian pada eksperimen ini adalah sebagai berikut, yaitu dengan menggunakan 5 data latih dari data tanda tangan asli dari 10 responden yang ada sehingga untuk data latih terkumpul 50 data citra tanda tangan asli. Kemudian nantinya data latih ini digunakan sebagai acuan menggunakan *boxplot* untuk mengetahui data uji yang nanti akan diujikan termasuk dalam rentang data tersebut atau tidak.

Berikut ini adalah tabel hasil pengujian dari data yang ada, tabel I adalah tabel pelatihan dari data latih yang telah disiapkan sebelumnya dibandingkan dengan data tanda tangan asli yang diujikan sebagai data uji.

TABLE I. TABEL HASIL PENGUJIAN DATA UJI

Metode	Pengenalan tanda tangan(%)
DTW	98
DTW dengan Kontur*	76

(*) metode baru yang diujikan

Dapat terlihat pada tabel I, bahwa hasil pengenalan tanda tangan asli yang diujikan sebagai data uji pada sistem menghasilkan hasil yang cukup baik untuk metode DTW yang standar tanpa menggunakan prinsip kontur karena hampir 98% data uji masih berada di dalam rentang *boxplot* yang ada. Hal ini berarti sebaran data yang didapatkan pada metode DTW standar dapat digunakan untuk mengenali tanda tangan asli. Sedangkan metode baru yang diujikan ternyata hanya memberikan hasil 76%. Nilai ini didapatkan karena ada 10 tanda tangan asli yang diujikan tidak dapat dikenali oleh sistem sebagai tanda tangan asli. Hal ini disebabkan pada tanda tangan uji tersebut terjadi perubahan posisi tanda tangan dan perubahan ukuran tanda tangan menjadi lebih besar. Sehingga nilai DTW dengan kontur dan *slope* yang didapatkan pada data pelatihan memiliki rentang yang lebih kecil dan semua data tanda tangan uji tidak masuk dalam *outlier boxplot* yang telah didapatkan dari data latih yang ada.

Pengujian berikutnya menggunakan model sama seperti pada tabel I, hanya saja data uji yang digunakan adalah data tanda tangan palsu. Terdapat 3 macam model pemalsuan yaitu *random forgery*, *unskilled forgery* dan *skilled forgery*. Pada pengujian ini, akan dilakukan pengujian dengan menggunakan 3 model pemalsuan tersebut.

TABLE II. TABEL HASIL PENGUJIAN DATA PEMALSUAN TANDA TANGAN

Metode	Random Forgery (%)	Unskilled Forgery (%)	Skilled Forgery (%)
DTW	30	6	12
DTW dengan Kontur*	66	26	58

(*) metode baru yang diujikan

Pada tabel II, didapatkan bahwa hasil pengenalan tanda tangan palsu di antara tanda tangan asli yang diujikan sebagai data uji pada sistem menghasilkan hasil yang cukup baik untuk metode DTW yang menggunakan kontur dan *slope* untuk pengujian dengan data *random forgery*. Hal ini disebabkan karena metode DTW dengan kontur dapat mengenali perbedaan bentuk dari tanda tangan asli dan tanda tangan *random forgery* cukup dengan menggunakan perhitungan *slope* dan *curvature* seperti yang tertulis pada persamaan Eq. (1). Hal ini juga terjadi pada pengujian untuk pemalsuan tanda tangan model *unskilled* dan *skilled forgery*, dapat terlihat bahwa dengan menggunakan perhitungan *slope* dan *curvature* hasil yang diberikan lebih baik dibandingkan hanya melakukan perhitungan dengan melihat jarak antar titik saja.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian untuk identifikasi data tanda tangan asli untuk sebagai data uji, model pengujian DTW dengan kontur dan *slope* belum memberikan hasil yang baik dibandingkan dengan model pengujian DTW biasa karena data uji mengalami perubahan posisi tanda tangan dan perubahan ukuran tanda tangan. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya perlu ditambahkan metode untuk mengatasi perubahan posisi dan perubahan ukuran tanda tangan tidak akan mempengaruhi hasil pengujian tanda tangan. Walaupun begitu dalam pendeteksian tanda tangan palsu, DTW kontur dan *slope* memberikan hasil yang baik dibandingkan DTW biasa. Hal ini disebabkan karena pada proses perhitungan DTW dengan kontur dan *slope* memperhatikan nilai *slope* dan *curvature* dalam perhitungan. Sehingga dari hal ini dapat ditarik kesimpulan bahwa peranan kontur dan *slope* sangat diperlukan dalam pendeteksian tanda tangan palsu dan asli. Akan tetapi nilai pendeteksian yang didapatkan belum begitu baik, hal ini dikarenakan pada data uji juga terjadi perubahan posisi dan ukuran dari tanda tangan uji.

Beberapa kekurangan dalam penelitian ini adalah karena data citra yang digunakan belum dapat menangani data gambar yang mengalami rotasi ataupun translasi akibat proses pengambilan data. Sehingga pada penelitian berikutnya dapat ditambahkan parameter untuk menangani hal tersebut.

REFERENCES

- [1] A. Hidayatno, R. R. Isnanto, D. K. W. Buana, "Identifikasi Tanda-Tangan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Perambatan-Balik (Backpropagation)", Jurnal Teknologi, Vol.1, No.2, pp 100-106, Desember 2008.
- [2] A. Jariah, M.I. Irawan dan I. Mukhlash, "Pengenalan Pola Tanda Tangan Menggunakan Metode Moment Invariant dan Jaringan Syaraf Radial Basis Function (RBF)", Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Yogyakarta, 2011
- [3] E.J.R. Justino, F. Bortolozzi dan R. Sabourin, "A comparison of SVM and HMM classifiers in the off-line signature verification", Journal Pattern Recognition Letters, Vol.26 Issue 9, pp. 1377 – 1385, 2005
- [4] D. Impedovo and G. Pirlo, "Automatic signature verification: The state of the art", IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS—PART C: APPLICATIONS AND REVIEWS, Vol. 38, No. 5, 2008
- [5] A.L. Elms, "The representation and recognition of text using hidden Markov models: Ph.D. Thesis", University of Surrey, UK, 1996
- [6] B.Fang, C.H. Leung et al, "Offline-Signature verification by the tracking of feature and stroke position", Pattern Recognition, pp. 91-101, 2003
- [7] S.Chen and S.Srihari, "Use of Exterior Contours and Shape Features in Offline Signature Verification", Proceeding of the Eight ICDAR, 2005
- [8] N.Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray Level Histogram", IEEE Transactions on Systems, Man dan Cybernetics, Vol. SMC-9, No.1, 1979
- [9] A.Susanto dan A.Kadir, "Pengolahan Citra Digital: Teori dan Aplikasi", 2012
- [10] L.Rabiner dan B-H. Juang, "Fundamentals of Speech Recognition", Prentice Hall, 1993
- [11] Statistical Method, downloaded at lecturer.eepis-its.edu/~iwanarif/kuliah/dm/4Statistical%20Methods.pdf

Klasifikasi Jalur Minat Siswa Menggunakan Algoritme *Support Vector Machine (SVM)* (Kasus: SMA Negeri 1 dan SMA Negeri 2 Sragen)

Indriana Hidayah, Adhistrya Erna Permanasari, Theopilus Bayu Sasongko

*Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA*

indriana.h@ugm.ac.id, astya_00@yahoo.com, theopilus.27@gmail.com

Abstract— Guiding students to choose their interest is important in a learning process. In this research we determined a major classification model in high school by applying Support Vector Machines (SVM). Two cases were used, i.e. case in SMA Negeri 1 Sragen and SMA Negeri 2 Sragen. The classification model was constructed by analyzing the effect of changes in the kernel of SVM, especially on the penalty factor (C) to SVM classification performance in mySVM library available in Rapidminer application. There were dot kernel, radial, polynomial, neural, anova, epanechnikov, gaussian combination, and multiquadric kernel. Training data in SMA Negeri 1 Sragen academic year 2013-2014 were used. Evaluation of the classifiers performance included accuracy, precision, recall, and ROC curve (AUC value) to define four best kernels. There are anova kernel, radial, gaussian, and dot. Using ANOVA statistical test, significant difference in anova, radial, gaussian, and dot kernel was observed. Furthermore, based on the hoc test result on accuracy, precision, recall and ROC curve (AUC value), we found that anova kernel perform the best in parameter C 5.0 with accuracy rate was 98.62%, precision rate 98.77%, recall rate 98.66%, and AUC value 0.9998. Finally, anova kernel used in the data testing of SMA Negeri 2 Sragen and get accuracy rate 88.6%, precision class IPA 73.8%, precision class IPS 98.2%, recall class IPA 96.5%, recall class IPS 85.1%.

Keywords: SVM, kernel, Student's major classification.

Abstrak— Membimbing peserta didik untuk memilih jalur peminatan yang tepat sangat penting dalam jenis pembelajaran apapun. Pada penelitian ini dibangun suatu model sistem klasifikasi perminatan SMA kurikulum 2013 dengan menggunakan metode *Support Vector Machines* di SMA Negeri 1 dan SMA Negeri 2 Sragen. Pembangunan model klasifikasi dilakukan dengan menganalisis pengaruh perubahan berbagai fungsi kernel dan faktor pinalti (C) terhadap kinerja klasifikasi SVM pada *library mySVM* yang terdapat pada aplikasi *Rapidminer* meliputi kernel *dot*, *radial*, *polynomial*, *neural*, *anova*, *epanechnikov*, *gaussian combination*, dan *multiquadric*. Data pelatihan yang digunakan sebagai eksperimen pembentukan model klasifikasi adalah data peminatan siswa-siswi SMA Negeri 1 Sragen tahun ajaran 2013-2014. Model yang telah terbentuk dievaluasi menggunakan parameter akurasi, presisi, *recall*, kurva ROC (nilai AUC) hingga diperoleh empat kernel terbaik yaitu kernel *anova*, *radial*, *gaussian combination*, dan *dot*. Dengan menggunakan uji statistik ANOVA ditunjukkan bahwa terdapat perbedaan

signifikansi antara kernel *anova*, *radial*, *gaussian combination* dan *dot*. Dilanjutkan dengan uji *post hoc test* didapatkan rata-rata akurasi performansi terbaik diperoleh pada kernel *anova* dengan parameter C 5.0 dengan tingkat rata-rata akurasi sebesar 98.62%. Model yang telah dibangun kemudian digunakan dalam proses prediksi pada data pengujian peminatan peserta didik di SMA Negeri 2 Sragen. Hasil menunjukkan bahwa model yang dibentuk mampu mengklasifikasikan data peminatan peserta didik SMA Negeri 2 Sragen dengan tingkat akurasi sebesar 88.6%.

Kata kunci – SVM, kernel, klasifikasi peminatan siswa.

I. PENDAHULUAN

Membimbing peserta didik untuk memilih jalur peminatan yang tepat sangat penting dalam jenis pembelajaran apapun. Baik itu pembelajaran konvensional maupun pembelajaran jarak jauh.

Peminatan pada lembaga sekolah dijenjang SMA saat ini berstandar pada prosedur peminatan kurikulum 2013 yang telah ditetapkan oleh kementerian pendidikan dan kebudayaan. Pada standar peminatan kurikulum 2013 ini peserta didik dari SMP yang akan mendaftar ke jenjang SMA/SMK langsung diarahkan untuk memilih peminatan yang sesuai dengan standar peminatan dan bakat minat peserta didik yang telah ditetapkan oleh kementerian pendidikan nasional dan kebudayaan [1].

Sistem untuk melakukan pengklasifikasian peminatan pada kasus di SMA Negeri 1 dan SMA Negeri 2 Sragen masih menggunakan pengklasifikasian secara *manual*, artinya sekolah masih menentukan pengklasifikasian peminatan pada peserta didik kelas X dengan mengumpulkan nilai UN, rata-rata nilai raport pada jenjang sebelumnya dan rekomendasi guru BK melalui hasil nilai tes psikologi peminatan sebagai standar umum kurikulum 2013 [1].

Setelah data dikumpulkan, guru bimbingan konseling menganalisis dan menghitung hasilnya secara manual serta mencocokkannya dengan kriteria peminatan tertentu sesuai dengan standar kurikulum peminatan SMA tahun 2013. Namun pada praktiknya banyak sekolah yang memiliki perbedaan standar kebijakan atau rambu-rambu yang sesuai dengan kriteria peminatan kurikulum 2013

yang telah ditetapkan. Salah satu faktor penyebab perbedaan kebijakan sekolah dengan prosedur peminatan kurikulum 2013 yang telah ditetapkan oleh kementerian pendidikan dan kebudayaan adalah masalah tentang pemenuhan kuota kelas peminatan.

Tetapi pada kenyataannya pengklasifikasian peminatan secara *manual* yang diterapkan oleh masing-masing pihak sekolah seringkali merepotkan, mengingat prosedur dan standar peminatan yang terkadang berubah.

Sudah terdapat alat bantu untuk melakukan penentuan jurusan pada tingkat SMA, seperti yang pernah peneliti lakukan sebelumnya dengan menerapkan metode SVM pada standar peminatan kurikulum 2004-2012 (KBK-KTSP) dengan *dataset* yang hanya berjumlah 40 siswa[2]. Penelitian terkait pernah dilakukan juga oleh Bahar dengan menerapkan metode *Fuzzy C-Means* guna penjurusan SMA pada standar peminatan kurikulum 2004-2012 (KBK-KTSP) dengan *dataset* berjumlah 81 siswa[3]. Penelitian lain dilakukan oleh Purwanto, dkk pada tahun 2013 menerapkan metode LR-SVM guna penentuan penjurusan SMA pada standar peminatan kurikulum 2004-2012 (KBK-KTSP) dengan *dataset* berjumlah 150 siswa[4].

Pada penelitian ini kontribusi peneliti dimulai dari proses pengumpulan data, *data pre-processing*, serta menentukan kernel dan nilai faktor pinalti C yang paling sesuai bagi metode SVM guna klasifikasi jalur minat berbasis kurikulum 2013 yang memiliki atribut dan standar yang berbeda dari kurikulum yang lama.

II. METODOLOGI

A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah perangkat keras komputer, dan perangkat lunak Microsoft office word 2013 yang digunakan untuk menuliskan penelitian yang dilakukan, Microsoft office excel 2013 digunakan untuk melakukan pengolahan data awal dan melakukan analisis hasil beserta evaluasinya pada data pengujian, perangkat lunak SPSS digunakan untuk analisa ANOVA dan *post hoc test*, dan perangkat lunak Rapidminer community edition 5.3 untuk melakukan analisis dan pengklasifikasian peminatan menggunakan algoritme *Support vector machine* (SVM).

Bahan yang digunakan adalah nilai peserta didik saat mendaftar di SMA Negeri 1 Sragen tahun pelajaran 2013-2014 yang meliputi nama, nilai UN pada jenjang sebelumnya, nilai rata-rata *raport*, dan nilai tes psikologi peminatan. Data peserta didik SMA Negeri 1 Sragen tahun pelajaran 2013-2014 ini sebanyak 288 siswa dengan peminatan IPA sebanyak 149 dan peminatan IPS sebanyak 139 siswa. Kemudian nilai peserta didik saat mendaftar di SMA Negeri 2 Sragen tahun pelajaran 2013-2014 yang meliputi nilai UN pada jenjang sebelumnya, nilai tes akademik, dan nilai tes psikologi peminatan. Data peserta didik SMA Negeri 2 Sragen tahun pelajaran 2013-2014 ini sebanyak 280 siswa dengan peminatan IPA sebanyak 111 siswa dan peminatan IPS sebanyak 169 siswa.

B. Algoritma SVM

Support vector machine adalah suatu metode atau algoritme untuk melakukan klasifikasi maupun prediksi[2]. Prinsip kerja dari metode ini adalah mencari ruang pemisah yang paling optimal dari suatu *dataset* dalam kelas yang berbeda. Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering diperhadapkan pada persoalan-persoalan yang tidak *linear* / data yang tidak dapat benar-benar dipisahkan secara *linear* yaitu suatu kondisi dimana tidak ada sebuah garis atau bidang yang dapat dibuat untuk menjadi pemisah antar kelas data. Pada permasalahan ini ada 2 langkah yang dapat dilakukan, yaitu[5].

1. Menggunakan *soft margin hyperplane*.

Tujuan dari *soft margin hyperplane* adalah mengubah data yang bersifat *nonlinear* ke dalam bentuk *linear* dengan tetap mempertahankan bidang pembatas tetap fleksibel[3].

Formulasi pada *soft margin hyperplane* yang menggunakan variabel slack (ζ) dirumuskan dengan Persamaan (1)[3].

$$\begin{aligned} x_i \cdot w + b &\geq 1 - \zeta \text{ untuk } y_i = \text{kelas 1} \\ x_i \cdot w + b &\leq -1 + \zeta \text{ untuk } y_i = \text{kelas 2} \end{aligned} \quad (1)$$

Dengan (1), maka pencarian bidang pemisah terbaik dapat diformulasikan menjadi (2)[3].

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \left(\sum_{i=1}^n \xi_i \right) \quad (2)$$

Dengan fungsi pemisah $y_i(x_i \cdot w + b) \geq 1 - \xi \forall i = 1, \dots, n$

C adalah parameter yang menentukan besarnya pinalti yang dikarenakan oleh kesalahan pengklasifikasian data.

2. Mencari *hyperplane* pemisah *linear* dalam ruang dimensi yang baru (*feature space*).

Mengubah *input space* (*dot product*) kedalam bentuk *feature space* sering dikenal dengan teknik kernel *trick* $\Phi(\bar{x}_i) \cdot \Phi(\bar{x}_j)$ yang kemudian berkembang menjadi fungsi Kernel $K(x_i, x_j)$ [6]. Mengubah dari *input space* ke *feature space* mengakibatkan komputasi yang sangat besar, karena ada kemungkinan dimensi *feature space* yang sangat banyak bahkan tak terhingga[5]. Oleh karena itu SVM menjembatani hal ini dengan menerapkan fungsi Kernel.

Pada Penelitian ini digunakan delapan kernel meliputi kernel *dot*, *radial*, *polynomial*, *neural*, *anova* (*analysis of variable*), *epanechnikov*, *gaussian combination*, dan *multiquadric* kernel.

C. Jalan Penelitian

Jalan penelitian diawali dengan pengumpulan data yang digunakan untuk bahan penelitian yaitu data nilai peserta didik tahun ajaran 2013-2014 saat mendaftar pada lembaga sekolah yang bersangkutan. Data didapat dari lembaga sekolah SMA Negeri 1 dan SMA Negeri 2 Sragen. Data nilai peserta didik di SMA Negeri 1 Sragen digunakan sebagai pelatihan sistem dan data peserta didik di SMA Negeri 2 Sragen digunakan sebagai data pengujian model.

Data pelatihan dinormalisasi menggunakan *min-max normalization* dan dibagi menjadi dua bagian dengan menggunakan pendekatan *k-fold cross validation* dengan jumlah k sebanyak 10[7]. Data pelatihan yang telah dibagi kemudian dilakukan berbagai percobaan proses klasifikasi menggunakan pelatihan sistem SVM (*support vector machines*) dengan berbagai kernel dan variasi faktor pinalti (C). Setiap percobaan dengan berbagai model SVM kemudian dievaluasi menggunakan evaluator akurasi, presisi, *recall*, dan kurva ROC (nilai AUC) guna menguji performansi. Empat model paling baik kemudian dikomparasikan dengan menggunakan uji statistik ANOVA dan *post hoc test* guna mendapatkan model yang paling baik.

Model terbaik yang telah diperoleh kemudian digunakan untuk mengklasifikasikan data nilai peserta didik di SMA Negeri 2 Sragen yang digunakan sebagai pengujian model. Data nilai peserta didik SMA Negeri 2 Sragen yang telah terklasifikasi kemudian dianalisa dan dievaluasi. Hasil evaluasi yang diperoleh digunakan sebagai proses pelaporan.

III. EKSPERIMEN DAN HASIL

Pada makalah ini digunakan data pelatihan guna pembentukan model klasifikasi yaitu nilai peserta didik saat mendaftar di SMA Negeri 1 Sragen tahun pelajaran 2013-2014. Model klasifikasi yang terbaik yang telah terbentuk kemudian digunakan untuk proses pengujian. Proses pengujian menggunakan data nilai peserta didik saat mendaftar di SMA Negeri 2 Sragen tahun pelajaran 2013-2014.

Faktor pinalti (C) yang digunakan pada penelitian ini adalah faktor pinalti dengan parameter C sebesar 0.0, 5.0, 10.0, 25.0, 50.0, dan 100.0. Setiap percobaan dengan berbagai model SVM kemudian dievaluasi menggunakan evaluator akurasi, presisi, *recall*, dan kurva ROC (nilai AUC) guna mendapatkan empat model terbaik. Empat model paling baik kemudian dikomparasikan dengan menggunakan uji statistik ANOVA dan *post hoc test* guna mendapatkan model yang paling baik.

Hasil akurasi klasifikasi model yang dihasilkan berdasarkan atribut mata pelajaran dan beberapa atribut psikologi peminatan berdasarkan kepentingannya ditampilkan pada Tabel 1. Sedangkan nilai presisi ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, serta nilai *recall* dan AUC, dapat dilihat bahwa empat model terbaik yang memiliki tingkat performansi yang tinggi diperoleh pada kernel *anova* dengan parameter C sebesar 5.0, 10.0, 25.0, 50.0, dan 100.0, kernel *radial* dengan parameter C sebesar 5.0, 10.0, 25.0, dan 100.0, kernel *gaussian combination* dengan parameter C sebesar 5.0, 10.0, 25.0, 50.0, dan 100.0, dan kernel *dot* dengan parameter C sebesar 10.0, 25.0, 50.0, dan 100.0.

Selanjutnya, keempat kernel tersebut dievaluasi menggunakan uji statistik ANOVA (*analysis of variance*) berdasarkan aspek akurasi, presisi, *recall*, dan nilai AUC untuk membuktikan apakah terdapat perbedaan signifikan diantara keempat kernel yang diujikan atau tidak. Tabel 4 menunjukkan hasil uji statistik ANOVA berdasarkan aspek akurasi.

TABEL 1. AKURASI KLASIFIKASI MODEL SVM

Par-C	Tipe Kernel			
	Dot (%)	Radial (%)	Polinomial (%)	Neural (%)
0.0	85.07	88.93	79.89	65.67
5.0	83.20	89.27	73.57	63.93
10.0	85.09	89.27	76.39	63.60
25.0	85.09	89.27	77.77	64.98
50.0	85.09	89.27	68.37	66.20
100.0	85.09	89.27	78.49	66.37
Par-C	Anova (%)	Epanechenikov (%)	Gaussian combination (%)	Multiquadric (%)
0.0	97.93	57.65	88.93	51.75
5.0	99.66	57.65	89.27	51.75
10.0	99.66	57.65	89.27	51.75
25.0	99.66	57.65	89.27	51.75
50.0	99.66	57.65	89.27	51.75
100.0	99.66	57.65	89.27	51.75

TABEL 2. PRESISI KLASIFIKASI MODEL SVM UNTUK KERNEL DOT, RADIAL, POLINOMIAL, DAN NEURAL

Par-C	Tipe Kernel				Kelas
	Dot (%)	Radial (%)	Polinomial (%)	Neural (%)	
0.0	86.30	97.56	73.82	67.12	IPA
	83.80	82.42	91.75	64.08	IPS
5.0	83.33	97.58	76.64	65.10	IPA
	82.61	82.93	70.86	62.59	IPS
10.0	85.33	95.65	73.96	64.67	IPA
	84.78	88.00	79.83	62.32	IPS
25.0	85.33	95.65	77.42	66.00	IPA
	84.78	88.00	78.20	63.77	IPS
50.0	85.33	95.65	69.33	67.59	IPA
	84.78	88.00	67.39	64.34	IPS
100.0	85.33	95.65	77.2	68.06	IPA
	84.78	88.00	80.31	64.58	IPS

TABEL 3. PRESISI KLASIFIKASI MODEL SVM UNTUK KERNEL ANOVA, EPANECHENIKOV, GAUSSIAN COMBINATION, DAN MULTIQUADRIC

Par-C	Tipe Kernel				Kelas
	Anova (%)	Epanec henikov (%)	Gaussian combinat ion (%)	Multi Quadric (%)	
0.0	96.13	54.98	97.56	51.74	IPA
	100.00	100.00	82.42	0.00	IPS
5.0	99.33	54.98	97.58	51.74	IPA
	100.00	100.00	82.93	0.00	IPS
10.0	99.33	54.98	95.65	51.74	IPA
	100.00	100.00	88.00	0.00	IPS
25.0	99.33	54.98	95.65	51.74	IPA
	100.00	100.00	88.00	0.00	IPS
50.0	99.33	54.98	95.65	51.74	IPA
	100.00	100.00	88.00	0.00	IPS
100.0	99.33	54.98	95.65	51.74	IPA
	100.00	100.00	88.00	0.00	IPS

TABEL 4. PENGUJIAN ANOVA BERDASARKAN ASPEK AKURASI

Dependent Variable: AKURASI

Sumber Varians	Jumlah kuadrat	Derajat bebas	Rata-rata kuadrat	Nilai F	Signifikansi
Corrected	2244.746 ^a	3	748.249	1743.632	0.000
Intercept	653550.435	1	653550.435	15229.58	0.000
KERNELSVM	2244.746	3	748.249	1743.632	0.000
Error	32.614	76	.429		
Total	655827.795	80			
Corrected Total	2277.360	79			

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai akurasi diantara kernel yang diuji (nilai Sig < nilai α (0.05)).

Kemudian digunakan *post hoc test* untuk membandingkan tingkat akurasi keempat kernel yang diujikan sekaligus untuk memetakan kernel kedalam beberapa *subset* berdasarkan tingkat akurasi yang diperoleh. Berikut adalah hasil pengelompokan performansi akurasi performansi kernel dengan menggunakan uji *post hoc test* Tukey HSD ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL 5. POST HOC TEST TUKEY HSD BERDASARKAN ASPEK AKURASI

(I) KERNEL SVM	(J) KERNEL SVM	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
ANOVA	DOT	14.7065 [*]	.20746	.000
	GAUSSIAN	9.2630 [*]	.20746	.000
	COMBINATION	9.1875 [*]	.20746	.000
	RADIAL	-14.7065 [*]	.20746	.000
DOT	GAUSSIAN	-5.4435 [*]	.20746	.000
	COMBINATION	-5.5190 [*]	.20746	.000
	ANOVA	-9.2630 [*]	.20746	.000
GAUSSIAN COMBINATION	DOT	5.4435 [*]	.20746	.000
	RADIAL	-.0755	.20746	.983
	ANOVA	-9.1875 [*]	.20746	.000
RADIAL	DOT	5.5190 [*]	.20746	.000
	GAUSSIAN COMBINATION	.0755	.20746	.983

Pada Tabel 5 dilihat bahwa kernel *gaussian combination* dengan kernel *radial* ataupun kernel *radial* dengan *gaussian combination* memiliki kesamaan karakteristik performansi dalam aspek akurasi, hal ini dapat dilihat pada kolom Sig (signifikansi) yang menampilkan hasil Sig lebih dari nilai α (0.05). Selanjutnya pengelompokan akurasi performansi dari tiap kernel dan hasil kernel paling baik ditunjukkan pada Tabel 6.

TABEL 6. PENGELOMPOKAN AKURASI PERFORMANSI KERNEL

Tukey HSD

KERNEL SVM	N	Subset		
		1	2	3
DOT	20	83.9585		
GAUSSIAN COMBINATION	20		89.4020	
RADIAL	20		89.4775	
ANOVA	20			98.7005

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa terdapat 3 *subset*. Tiga *subset* ini terbentuk dari rata-rata akurasi tiap observasi. Subset pertama adalah kernel dot, Subset kedua adalah kernel gaussian combination dan radial, dan subset ketiga adalah kernel anova. Kernel yang memberikan rata-rata akurasi paling baik adalah pada kernel anova parameter C 5.0 dengan rata-rata akurasi tiap observasi sebesar 98.7005%. Kemudian dilakukan uji statistik ANOVA dan *post hoc test* berdasarkan aspek presisi.

Hasil uji statistik ANOVA berdasarkan aspek presisi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai presisi diantara kernel yang diuji (nilai Sig < nilai α (0.05)). Selanjutnya digunakan *post hoc test* untuk membandingkan tingkat presisi keempat kernel yang diujikan sekaligus untuk memetakan kernel kedalam beberapa kelompok (*subset*) berdasarkan tingkat presisi yang diperoleh. Hasil menunjukkan bahwa kernel *gaussian combination* dengan kernel *radial* ataupun kernel *radial* dengan *gaussian combination* memiliki kesamaan karakteristik performansi dalam aspek presisi, hal ini dapat dilihat pada kolom Sig (signifikansi) yang menampilkan hasil Sig lebih dari nilai α (0.05). Selanjutnya, akurasi performansi dari tiap kernel dan hasil kernel paling baik ditunjukkan pada Tabel 7.

TABEL 7. PENGELOMPOKAN PRESISI PERFORMANSI KERNEL

Tukey HSD

KERNEL SVM	N	Kelompok		
		1	2	3
DOT	20	83.9505		
GAUSSIAN COMBINATION	20		90.4225	
RADIAL	20		90.6225	
ANOVA	20			98.7780

Tabel 7 menunjukkan bahwa kernel yang memberikan rata-rata presisi paling baik adalah pada kernel anova parameter C 5.0 dengan rata-rata presisi tiap observasi sebesar 98.7780%. Kemudian juga dilakukan uji statistik ANOVA dan *post hoc test* juga dilakukan pada aspek *recall* dan AUC.

Pengujian statistik ANOVA dan *post hoc test* pada keempat kernel yang diujikan berdasarkan aspek akurasi, presisi, *recall*, dan nilai AUC, memperlihatkan model kernel terbaik yaitu pada kernel anova dengan parameter C sebesar 5.0. Model terbaik yang telah terbentuk ini kemudian digunakan untuk mengklasifikasikan data nilai

peserta didik di SMA Negeri 2 Sragen yang digunakan sebagai pengujian sistem. Data nilai peserta didik SMA Negeri 2 Sragen yang telah terklasifikasi kemudian dicocokkan dengan label aslinya, dianalisis dan dievaluasi menggunakan tiga parameter evaluator yaitu akurasi, presisi, dan *recall* yang disajikan kedalam bentuk *confusion matrix*. Tabel 8 memperlihatkan *confusion matrix* dari model SVM kernel *anova* parameter C 5.0 yang diterapkan pada data peminatan siswa SMA Negeri 2 Sragen tahun ajaran 2013-2014.

TABEL 8. *CONFUSION MATRIX* DARI MODEL SVM KERNEL ANOVA PARAMETER C 5.0 PADA DATA PENGUJIAN SMA NEGERI 2 SRAGEN

KERNEL ANOVA (C=5.0)	true IPA	true IPS	class precision
pred. IPA	82	3	73.8%
pred. IPS	29	166	98.2%
class recall	96.5%	85.1%	Akurasi : 88.6%

Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa tingkat akurasi pada data pengujian mencapai 88.6%, presisi untuk kelas IPA 73.8%, presisi untuk kelas IPS 98.2%, *recall* untuk kelas IPA 96.5%, dan *recall* untuk kelas IPS sebesar 85.1%. Dengan tingkat akurasi sebesar 88.6%, hal ini berarti bahwa sistem klasifikasi yang digunakan dapat mengklasifikasikan label IPA secara benar sebesar 82 siswa dari 111 siswa IPA (TPR), sistem klasifikasi juga mampu mengklasifikasikan label IPS secara benar sebesar 166 siswa dari 169 siswa IPS (FPR). Dengan kata lain jika TPR (true IPA=pred IPA) tinggi dan FPR (true IPS=pred IPS) tinggi maka sistem klasifikasi memiliki performansi yang baik[8]. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem klasifikasi jalur minat siswa kurikulum 2013 menggunakan metode SVM dengan kernel *anova* parameter C (faktor penalti) 5.0 memiliki performansi dan tingkat generalisasi yang baik.

IV. KESIMPULAN

Pada *makalah* ini dipaparkan mengenai klasifikasi jalur minat siswa menggunakan metode Support vector machines (SVM). Digunakan kasus peminatan 2013 di SMA Negeri 1 dan SMA Negeri 2 Sragen. Pembangunan model klasifikasi dengan menganalisis metode terutama pada pengaruh perubahan berbagai fungsi kernel dan faktor penalti (C) terhadap performansi klasifikasi SVM

pada library mySVM yang terdapat pada aplikasi Rapidminer meliputi kernel *dot*, *radial*, *polynomial*, *neural*, *anova*, *epanechnikov*, *gaussian combination*, dan *multiquadric* kernel.

Data pelatihan yang digunakan sebagai eksperimen pembentukan model klasifikasi adalah data peminatan siswa-siswi SMA Negeri 1 Sragen tahun ajaran 2013-2014. Diperoleh empat kernel terbaik yaitu *anova*, *radial*, *gaussian combination*, dan *dot*. Dengan menggunakan uji statistik ANOVA didapatkan hasil bahwa pada keempat terdapat perbedaan akurasi, presisi, *recall*, dan nilai AUC yang signifikan diantara keempat kernel yang diujikan. Dengan uji lanjut *post hoc test* yang ditinjau berdasarkan aspek akurasi, presisi, *recall*, dan nilai AUC didapatkan rata-rata performansi terbaik diperoleh pada kernel *anova* dengan parameter C (faktor penalti) 5.0 dengan tingkat rata-rata akurasi sebesar 98.7005%, rata-rata presisi sebesar 98.7780%, rata-rata *recall* sebesar 98.6680%, dan rata-rata nilai AUC sebesar 0.9998. Model yang telah dibangun kemudian digunakan sebagai proses prediksi pada data pengujian peminatan peserta didik di SMA Negeri 2 Sragen. Hasil menunjukkan kernel *anova* dengan parameter C (faktor penalti) 5.0 mampu mengklasifikasikan data peminatan peserta didik SMA Negeri 2 Sragen dengan tingkat akurasi sebesar 88.6%, presisi untuk kelas IPA 73.8%, presisi untuk kelas IPS 98.2%, *recall* untuk kelas IPA 96.5%, dan *recall* untuk kelas IPS sebesar 85.1%.

REFERENSI

- [1] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, "Peminatan Peserta Didik", pp.21, 2013.
- [2] T. Bayu, "Komparasi Kernel pada Algoritme Support Vector Machine Studi Kasus Klasifikasi Jalur Minat SMA", Prosiding Semnas Teknomedia 2014, Amikom, pp.1.03-7-9, Yogyakarta, 2014.
- [3] Bahar, "Penentuan Jurusan Sekolah Menengah Atas dengan Algoritma Fuzzy C-Means", M. Eng, Thesis, Program Pasca Sarjana Magister Teknik Informatika UDINUS, Semarang, 2011.
- [4] Purwanto, O. Dharma, and P. Anggi "Model Hibrida Untuk Penjurusan Siswa SMA", Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan (SEMANTIK), Semarang, 2013.
- [5] J. Agustinus, "Sistem Deteksi Intrusi Jaringan dengan Metode Support Vector Machine", M. Eng, Thesis, Jurusan Ilmu Komputer FMIPA UGM, Yogyakarta, 2012.
- [6] S. Krisantus, "Penerapan Teknik Support Vector Machine untuk Pendeteksian Intrusi pada Jaringan", S. Kom, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro dan Informatika ITB, Bandung, 2007.
- [7] A.B. Hur, and J. Weston, "A User's Guide to Support Vector Machines", Humana ress, 2010.
- [8] I.H. Witten, E. Frank, and M.A. Hall, "Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques", Third Edition, Elsevier Publisher, USA, 2011.

Rekomendasi Obyek Pariwisata Indonesia berbasis Analisis Sentimen Sosial Media Terkini

Bimo Sunarfri Hantono, Guntur Dharma Putra

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Indonesia

bhe@ugm.ac.id, guntur.dharma@mail.ugm.ac.id

Abstract—The increase of mobile phone usage recently has caused information explosion, which has been started since the Internet era, to rise even higher. This phenomenon caused a collection of redundant amount of data gathered in the server from plentiful Internet users. Actually, those collected data is having a high potential to be used for particular purposes.

This research proposes an implementation of sentiment analysis to calculate a rating of a specific tourist attraction. With utilizing the combination of POS-tagger to generate classification model by training process, Support Vector Machine to build classification model from the training data, and TF-IDF for weighting the model, the proposed system will be able to analyze public opinion data extracted from popular social network sites in Indonesia. Eventually, the result will be a strong recommendation for any local tourists to decide appropriate tourism destination within a certain time.

Keywords – sentiment analysis; tourism; POS-tagging; support vector machine; TF-IDF; social network

Intisari—Peningkatan penggunaan telepon selular cerdas akhir-akhir ini menyebabkan ledakan informasi yang sudah dimulai sejak era Internet dimulai kian meningkat. Hal ini menyebabkan banyak informasi terkumpul yang sumbernya berasal dari pengguna internet. Beranjak dari hal ini, data tersebut sesungguhnya sangat potensial untuk dimanfaatkan guna kepentingan tertentu.

Penelitian ini mengusulkan penggunaan konsep analisis sentimen untuk mendapatkan rating dari suatu obyek wisata. Dengan menggunakan kombinasi POS tagger untuk menghasilkan model klasifikasi melalui proses pelatihan, Support Vector Machine untuk membangun model klasifikasi atas data pelatihan, dan TF-IDF untuk pembobotannya, sistem yang dibangun akan menganalisis opini publik dari data yang diekstraksi dari situs jejaring sosial yang populer di Indonesia. Diharapkan hasil dari analisis sentimen ini dapat menjadi rekomendasi bagi para wisatawan untuk menentukan tujuan rekreasi yang tepat pada kurun waktu tertentu.

Kata kunci - analisis sentimen; pariwisata; POS-tagging; support vector machine; TF-IDF; jejaring sosial

I. PENDAHULUAN

Ledakan informasi yang terjadi akibat maraknya penggunaan telepon selular cerdas, mengakibatkan data yang tersimpan di dunia maya baik teks, gambar, video, dan audio kian masif. Data tersebut sejatinya dapat diolah untuk mendapatkan manfaat di berbagai bidang. Salah satu contohnya, ada penelitian yang memanfaatkan log yang tersimpan di dalam proxy server untuk mendapatkan informasi dari preferensi user [1], [2].

Lebih jauh lagi, data yang tersimpan di dunia maya dapat diolah lebih mendalam lagi untuk mendapatkan informasi yang bermanfaat untuk kemudian dijual atau digunakan sebagai acuan dalam sebuah sistem rekomendasi.

Salah satu teknik untuk mengolah data masif yang tersimpan adalah *opinion mining*, atau yang lebih dikenal dengan analisis sentimen. *Opinion mining* bisa dianggap sebagai kombinasi dari penggalian data teks dengan pengolahan bahasa natural (*Natural Language Processing*, NLP) [3]. Dalam penggalian data teks, salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Naïve Bayes Classifier* (NBC). Sedangkan salah satu metode dari NLP yang kerap digunakan adalah *Part-of-Speech Tagging* (POS-Tagging).

Analisis sentimen merupakan sektor yang menjanjikan karena banyak pihak dari dunia industri dan pemasaran yang membutuhkan data-data berkaitan dengan usahanya. Bahkan di Amerika Serikat sendiri terdapat sekitar 20-30 perusahaan yang memfokuskan pada layanan analisis sentimen [4].

Berkaitan dengan analisis sentimen, dunia kepariwisataan Indonesia sejatinya memiliki peluang yang besar untuk dijadikan sebagai target dalam implementasinya. Menurut data yang dirilis oleh Kementerian Pariwisata dan Ekonomi Kreatif Republik Indonesia, jumlah perjalanan wisatawan domestik mencapai angka 248 juta di tahun 2013 [5]. Hingga total pengeluaran mencapai nilai 176 triliun Rupiah.

Walaupun demikian, acap kali para wisatawan mengeluh tentang tempat wisata yang mereka kunjungi. Hal tersebut dapat berupa keramaian pengunjung, kebersihan lokasi, ketersediaan sarana prasarana, dan kondisi jalan menuju tempat lokasi. Akan lebih baik jika para wisatawan dapat terlebih dahulu mengetahui tempat apa yang tepat untuk dikunjungi pada saat tertentu. Hal ini dapat diketahui dengan menganalisis data-data terkini yang ada di dunia maya sehingga rating dari tempat tersebut dapat diketahui. Sehingga para wisatawan dapat menentukan tempat wisata yang tepat pada waktu tertentu.

Berdasarkan kedua temuan di atas, dengan kombinasi POS tagger untuk menghasilkan model klasifikasi melalui proses pelatihan [6], Support Vector Machine untuk membangun model klasifikasi atas data pelatihan, dan TF-IDF untuk pembobotannya [7], penelitian ini ingin memanfaatkan data tekstual yang terkumpul dari dunia maya untuk memberikan rekomendasi bagi para wisatawan. Diharapkan rekomendasi yang diberikan akan

membantu para wisatawan untuk memilih tempat wisata yang tepat pada waktu yang tepat pula.

Untuk selanjutnya, makalah ini disusun sebagai berikut: Bab II membahas penelitian-penelitian terkait yang sudah membahas tentang topik terkait. Bab III lebih jauh membahas tentang rancangan sistem yang diusulkan. Bab IV menjelaskan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Pada akhirnya, implementasi dari sistem akan dipaparkan di Bab V sedangkan kesimpulan dari penelitian ini dituliskan pada Bab VI.

II. PENELITIAN TERKAIT

Pada umumnya, sudah banyak penelitian yang membahas implementasi analisis sentimen di Indonesia. Namun demikian, masih sedikit penelitian yang mencoba untuk mengujikan dan mengimplementasikan analisis sentimen untuk mengekstrak informasi dalam konteks pariwisata.

Salah satu penelitian yang diusung oleh Khodra dkk. [8], membahas ekstraksi informasi pada transaksi jual beli di Twitter yang berbahasa Indonesia. Penelitian ini mengembangkan aplikasi SaFE-F yang akan melakukan pencarian dan penapisan *tweet*, penggalian informasi, dan menyimpan hasilnya. Dengan menggunakan pendekatan ekstraksi informasi berbasis klasifikasi, dilakukan klasifikasi tweet dan klasifikasi token. Oleh karena itu, korpus tweet bahasa Indonesia dikonstruksi untuk pembangunan model klasifikasi.

Claster dkk., di dalam penelitiannya [9], membahas penggunaan analisis sentimen dalam pemodelan sentimen pengguna Twitter tentang turis dan konflik yang terjadi di Thailand. Penelitian ini menggunakan metode *Naïve Bayes* and *Unsupervised Artificial Neural Nets William* untuk memodelkan *sentiment user*.

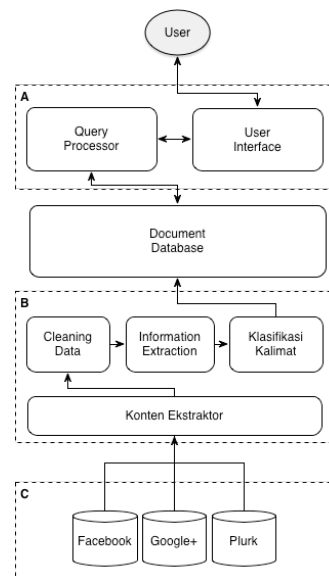
Pemanfaatan analisis sentimen yang terfokus guna turisme atau pariwisata sudah dilakukan oleh Shimada, dkk. pada penelitian-pelitiannya [10], [11]. Penelitian [10] menunjukkan penggunaan analisis sentimen yang dikombinasikan dengan geolokasi untuk menganalisis informasi turisme. Sedangkan penelitian [11] lebih menganalisis secara umum tentang informasi turisme lokal melalui media sosial Twitter.

Penelitian lain yang berkaitan dengan penelitian ini adalah penelitian yang digawangi oleh Palakvangsa-Na-Ayudhya dkk. Penelitian ini ditujukan untuk membangun sebuah sistem yang dinamakan Nebular [12]. Sistem ini dirancang untuk dapat mengklasifikasikan sentimen-sentimen yang terkumpul dari beberapa sumber, seperti TripAdvisor, Virtual Tourist, dan Yahoo Travel.

Analisis sentimen tidak harus selalu digunakan untuk mendapatkan informasi dari suatu kumpulan data. Sebagai contoh, penelitian [13] mencoba untuk memodelkan pengguna yang mengakses sebuah situs turisme di Spanyol dengan menggunakan metode-metode dalam penggalian penggunaan dan konten web (*web usage and content mining*).

III. RANCANGAN DESAIN SISTEM

Mengacu pada skema sistem yang dikembangkan pada penelitian [1], [2], [12], dan dengan tambahan perbaikan dan modifikasi, sistem dikembangkan dengan dibagi ke dalam beberapa modul-modul yang memiliki



Gbr 1. Blok diagram rancangan sistem yang dibangun.

tugasnya masing-masing. Blok diagram rancangan sistem dapat dilihat pada Gbr 1.

Seperti yang dapat dilihat pada Gbr 1, secara garis besar sistem dibagi dalam tiga blok dan ditambah dengan *document database*.

A. Ekstraksi Data Sosial Media

Dalam blok diagram rancangan sistem, semua sumber data tekstual dari situs jejaring sosial dimodelkan ke dalam grup C. Seperti yang dilihat pada Gbr 1, tiga sosial media yang digunakan adalah Facebook, Google+, dan Plurk. Kemudian data tersebut akan ditarik oleh modul-modul yang dikelompokkan dalam grup C. Sebelum disimpan ke dalam *document database*, data akan dilakukan perlakuan khusus terlebih dahulu.

B. Penyajian Data ke Pengguna

Pengguna akan memasukkan kata kunci ke dalam antarmuka yang tersedia. Kemudian, dibantu oleh *query processor* kata kunci tersebut akan diolah untuk kemudian diteruskan ke dalam *document database*. Kemudian setelah dilakukan kalkulasi dan analisis, data akan kembali ke dalam modul *user interface* dan disajikan kembali ke pengguna.

C. Alur Pemakaian Sistem

Aplikasi dirancang untuk memberikan jawaban atas kueri yang diinputkan oleh pengguna. Kueri yang dimasukkan berupa kata kunci tentang pariwisata yang dapat berupa nama tempat rekreasi ataupun nama daerah tempat lokasi itu berada.

Pengguna hanya tinggal memasukkan kueri ke dalam halaman utama sistem. Kemudian setelah pengguna memasukkan kueri tersebut, maka sistem akan memberikan rekomendasi hasil dari analisis sentimen berupa rating dari kueri yang dimasukkan.

IV. METODOLOGI

A. Data yang Digunakan

Penelitian ini memanfaatkan data tekstual berbahasa Indonesia yang diekstraksi dari beberapa situs jejaring sosial yang populer di Indonesia, seperti Facebook, Google+, dan Plurk. Semua data tekstual dapat disarikan dari situs jejaring sosial dengan bantuan antarmuka pemrograman aplikasi (*Application Programming Interface*, API) yang tersedia. Untuk keperluan analisis, data sebelumnya akan mengalami proses *preprocessing* terlebih dahulu.

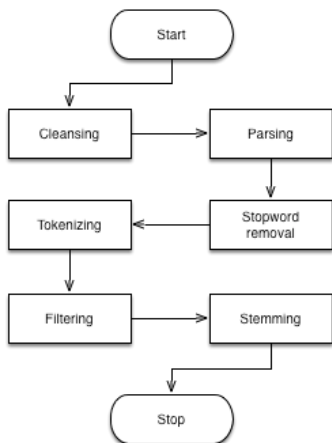
Untuk saat ini, penelitian ini tidak diarahkan untuk menggunakan situs penyedia informasi pariwisata, seperti TripAdvisor, karena data yang terakumulasi pada situs-situs tersebut kurang menggambarkan situasi waktu nyata (*realtime*). Padahal, penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan data tekstual dalam satuan waktu nyata untuk memberikan rekomendasi yang kekinian.

B. Preprocessing

Pengolahan data tekstual tersusun atas proses menggali, mengolah, dan mengatur informasi yang dilakukan dengan cara menganalisis relasi dan aturan-aturan baik pada data semi terstruktur atau tidak terstruktur. Karena data tekstual yang didapatkan langsung dari sumbernya acap kali mengandung informasi yang tidak berguna, perlu perlu melakukan tertentu untuk mengatasinya. Langkah ini dinamai *document preprocessing*. Dengan proses ini, nantinya data yang sudah dibersihkan akan lebih mudah untuk diolah lebih lanjut. Proses *preprocessing* pada penelitian ini sendiri dapat dilihat pada Gbr 2.

Seperti yang tertera pada Gbr 2., proses *preprocessing* secara terperinci dijelaskan sebagai berikut:

1. *Cleaning* dilakukan untuk membersihkan dokumen dari kata-kata yang tidak diperlukan sehingga dapat mengurangi *noise* pada proses klasifikasi.
2. *Parsing* adalah proses yang dimulai dengan memecah-mecah dokumen menjadi kata-kata dengan melakukan pemisahan kata tersebut dan menentukan struktur sintaksis dari tiap kata tersebut.

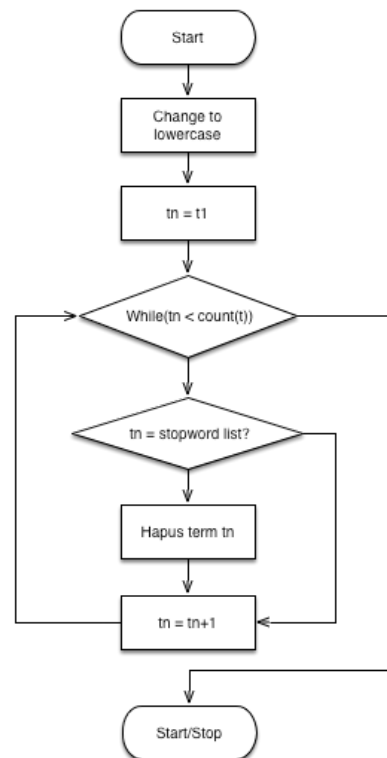


Gbr 2. Diagram alir proses *processing*.

3. *Stop Words removal* adalah proses untuk menyeragamkan karakter-karakter serta penghapusan karakter yang tidak digunakan seperti tanda baca. Kemudian kata-kata yang tidak memiliki makna dihilangkan, seperti kata *hubung*. Diagram alir untuk proses *stop words removal* dapat dilihat pada Gbr. 3.
4. Tokenisasi adalah pemotongan kata dalam tiap kalimat. Hal ini dilakukan agar tiap kata dapat diketahui frekuensi kemunculan pada suatu dokumen.
5. Filter bahasa dilakukan untuk menentukan mana data berbahasa Indonesia dan mana yang bukan. Hal ini perlu dilakukan mengingat sistem yang dibangun difokuskan ke dalam bahasa Indonesia. Selain itu, kata-kata yang tidak baku juga diubah ke dalam bentuk yang baku.
6. *Stemming* adalah proses pemotongan atau pemangkasan kata untuk mendapatkan bentuk dasar (kata dasar) dari kata tersebut.

C. Data Training POS-Tagging

POS *tagging* digunakan untuk memberikan kelas atau tag pada sebuah kata dalam suatu kalimat. Hal ini dilakukan dengan *parsing* terlebih dahulu, kemudian menentukan kelas dari kata tersebut dengan bantuan kamus tertentu. Dalam penelitian ini, proses POS *tagging* dibagi ke dalam tiga proses, yaitu pemisahan tiap token dalam dokumen dengan cara mengecek tiap kata di dokumen, pengidentifikasian tiap kata dalam dokumen atau kalimat, dan mengecek kata yang belum teridentifikasi dengan cara mengekstrak kata dasarnya.



Gbr 3. Diagram alir penapisan *stopwords*.

Dengan didasarkan aturan-aturan *linguistic* pada kata, sentimen sementara akan diperoleh. Penentuan sentimen dilakukan dengan mendeteksi adanya kata positif berpolaritas positif dan negatif dari data yang sudah terlabeli kelas katanya. Berdasarkan penelitian [4], empat jenis kata yang paling banyak mengandung sentiment adalah kata sifat, kata keterangan, kata benda, dan kata kerja. Oleh karena itu keempat kelas kata tersebut dipilih dalam penelitian ini. Sebagai contoh, jika pada suatu kalimat atau dokumen terdapat kata benda (NN) pada sebelum atau sesudah kata sifat (JJ) atau kata keterangan (RB), kemudian kata benda tersebut memiliki polaritas yang berlawanan dengan kata sifat atau kata keterangan maka polaritas diperoleh berdasarkan kata sifat atau kata keterangan, karena kata sifat atau kata keterangan memberikan penegasan terhadap kata benda.

Penelitian ini menggunakan data POS *tanggung* berupa *tagged corpus* yang memiliki beberapa kumpulan kalimat yang tiap-tiap katanya sudah diberikan *tag* atau kelas kata. Data ini disarikan dari hasil penelitian dari Universitas Indonesia sebagai salah satu perwakilan Indonesia dalam proyek *Pan Localization* (PANL10N) [14]. *Tagged corpus* tersebut adalah hasil adaptasi dari *tagged corpus* berbahasa Inggris, Penn Treebank. Contoh data POS Tag tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

TABEL I. Contoh POS Tag Bahasa Indonesia.

POS Tag	Arti	Contoh
OP	Kurung Buka	{[
CP	Kurung Tutup	}]
GM	Garis Miring	/
;	Titik Koma	;
:	Titik Dua	:
"	Tanda Kutip	"
.	Tanda Titik	.
,	Tanda Koma	,
-	Garis	-
...	Tanda Pengganti	...
JJ	Kata Sifat	Baik, Bagus
RB	Kata Keterangan	Sementara, Nanti
NN	Kata Benda	Kursi, Kulkas
NNP	Benda Bernama	Toyota, Sony
NNG	Benda Berpemilik	Motornya
VBI	Kata Kerja Intransitif	Pergi
VBT	Kata Kerja Transitif	Membeli
IN	Preposisi	Di, Dari, Ke
MD	Modal	Bisa
CC	Kata Sambung Setara	Dan, Atau, tetapi
SC	Kata Sambung Tidak Setara	Jika, Ketika
DT	Determiner	Para, Ini, Itu
UH	Interjection	Wah, Aduh, Oi
CDO	Kata Bilangan Berurut	Pertama, Kedua, Ketiga
CDC	Kata Bilangan Kolektif	Berdua
CDP	Kata Bilangan Pokok	Satu, Dua, Tiga
CDI	Kata Bilangan Tidak Biasa	Beberapa
PRP	Kata Ganti Orang	Saya, Mereka
WP	Kata tanya	Apa, Siapa, Dimana
PRN	Kata Ganti Bilangan	Kedua-duanya
PRL	Kata Ganti Lokasi	Sini, Situ
NEG	Negasi	Bukan, Tidak
SYM	Simbol	#,%,^,&,*
RP	Particle	Pun, Kah
FW	Kata Asing	Word

D. Pembobotan

Pembobotan dilakukan untuk mendapatkan nilai dari kata atau term yang telah diekstraksi. Salah satu metode yang paling populer digunakan adalah *Term Frequency – Inverse Document Frequency* (TF-IDF). Metode ini banyak diterapkan dalam pencarian teks (*text retrieval*) dan pemrosesan teks (*text preprocessing*) [15].

1) TF-IDF

Metode TF-IDF adalah metode pembobotan yang merupakan gabungan dari *term frequency* (TF) dan *inverse document frequency* (IDF). Perumusan formula TF-IDF yang digunakan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut [2]:

$$weight(i, j) = \begin{cases} (1 + \log(tf_{i,j})) \log \frac{N}{uf_i}, & \text{jika } tf_{i,j} > 0 \\ 0, & \text{if } tf_{i,j} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

dimana $tf_{i,j}$ kemunculan kata i pada dokumen j , N adalah jumlah dokumen pada kumpulan dokumen, dan uf_i adalah jumlah dokumen yang mengandung *term* i . Fungsi metode ini adalah untuk mencari representasi nilai dari tiap-tiap dokumen dari suatu kumpulan data training yang nantinya akan dibentuk suatu vektor antara dokumen dengan kata yang nantinya untuk kesamaan antar dokumen dengan cluster akan ditentukan oleh sebuah *prototype* vektor yang disebut juga dengan *cluster centroid*.

2) Cosine Similarity

Metode *cosine similarity* digunakan untuk menghitung kesamaan antara dua dokumen atau kalimat. Penentuan kesamaan antara dokumen dengan sebuah *query* dilihat sebagai penghitungan *similarity measurement* antara *document vector* dengan *query vector*. Semakin sama suatu *document vector* dengan *query vector* maka dokumen dapat dipandang semakin sesuai dengan *query*. Perumusan formula *cosine similarity* yang digunakan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut [6]:

$$sim(X, d) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot d_i}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2} \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n d_i\right)^2}} \quad (2)$$

dimana X adalah dokumen uji, d dokumen training, X_i dan d_i adalah nilai bobot yang diberikan pada setiap term pada dokumen. Kedekatan *query* dan dokumen ditandai dengan sudut yang terbentuk. Nilai cosinus yang relatif besar menandakan bahwa dokumen cenderung sesuai dengan *query*.

E. Klasifikasi

Proses *training* dilakukan menggunakan *Support Vector Machine* diawali dengan membaca data yang sudah melalui proses *preprocessing* dan telah dilabeli

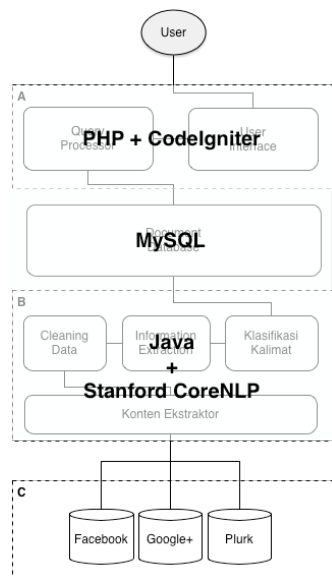
kelas sentimennya secara otomatis melalui proses POS tagging. Selanjutnya dilakukan proses ekstraksi kata unik yang muncul dalam keseluruhan data tersebut. Berdasarkan proses ekstraksi kata unik tersebut, diperoleh jumlah kosa katanya. Kemudian penghitungan jumlah dokumen pada keseluruhan data tersebut. Jumlah dokumen pada masing-masing kelas sentimen dihitung pada tahapan pembobotan. Operasi *kernel* dikerjakan terhadap semua data pelatihan sebagai model klasifikasi. Untuk memperoleh hasil klasifikasi terbaik, data diujikan dengan menggunakan fungsi linear dan tiga *kernel* yang berbeda, yaitu polinomial, RBF dan sigmoid. Dengan memanfaatkan model klasifikasi yang tersebut, dilakukan pencocokan *term* tiap data dengan *term* pada model klasifikasi. Kemudian dilakukan penghitungan bobot dari tiap *term* pada setiap kelas sentimen menggunakan *Feature Frequency (FF) Feature Presence (FP)* atau *Term Frequency – Inverse Document Frequency (TFIDF)*.

V. IMPLEMENTASI SISTEM

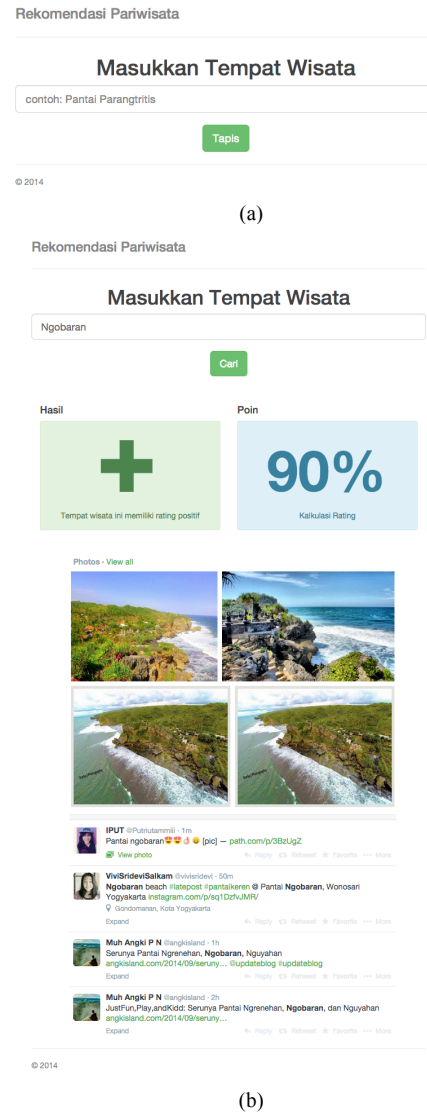
A. Pemetaan Teknis Algoritma Web

Pemodelan sistem dan penjelasan algoritma yang digunakan sudah dijelaskan pada Bab III dan IV secara konseptual, penjelasan secara teknis akan dijelaskan pada bab ini. Gbr 5 menjelaskan pemetaan teknis dari sistem yang dibangun.

Pada implementasinya, pengguna sistem ini akan langsung berinteraksi dengan aplikasi web yang ditulis dan dikembangkan menggunakan bahasa PHP dengan kerangka kerja (*framework*) CodeIgniter. Bahasa dan kerangka kerja ini dipilih karena dinilai sesuai untuk implementasi sistem yang berbasis web. Namun demikian, PHP memiliki unjuk kerja yang relatif lambat dan kurang sesuai untuk pengolahan data tekstual yang massif. Oleh karena itu, aplikasi inti yang mengolah data tekstual dengan metode analisis sentimen ditulis dengan bantuan pustaka *Stanford Core NLP* [16] yang ditulis dan dikembangkan dengan bahasa Java. Pustaka ini memiliki



Gbr 4. Pemetaan teknis sistem yang dikembangkan.



Gbr 5. Halaman aplikasi rekomendasi pariwisata.
(a) halaman homescreen
(b) halaman hasil kueri

performa yang relatif baik dan alat-alat (*tools*) yang lengkap, seperti POS-tagger, *Named Entity Recognizer (NER)*, *parser*, dan *sentiment analysis tool*. Kedua modul web dan Java tersebut dihubungkan dengan *document database* yang dikembangkan dengan teknologi basis data MySQL.

B. Implementasi Sistem

Aplikasi yang dikembangkan dapat diakses melalui antarmuka web sehingga mudah diakses dengan komputer yang saat ini sudah terpasang *web browser* secara default. Antarmuka dari *homescreen* sistem yang dibangun dapat dilihat pada Gbr. 5.

Sebagai tambahan informasi terkini, sistem yang dibangun juga akan memberikan gambar-gambar terkini dari kata kunci yang dimasukkan. Gambar disarikan dari situs jejaring sosial berbasis gambar, Instagram dan Facebook, menggunakan antarmuka pemrograman aplikasi (*Application Programming Interface*) yang disediakan.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini, kami telah menunjukkan metode yang dapat digunakan untuk menerapkan konsep analisis sentimen pada konteks pariwisata. Penelitian ini menggunakan beberapa metode seperti POS *tagger*, *Support Vector Machine*, dan *Term Frequecny – Inverse Document Frequency* (TF-IDF).

Dalam antarmuka hasil kueri seperti yang terlihat pada Gbr. 5 (b), pengguna dapat memperoleh informasi berupa rating dari suatu tempat wisata, *post* terkini dari beberapa sosial media, dan gambar-gambar yang berkaitan juga dengan kueri tersebut. Informasi tersebut dapat mencerminkan keadaan terkini dari obyek wisata, apakah ramai sesak, jalan macet, atau nyaman untuk dikunjungi. Dengan informasi tersebut, pengguna dapat memperkirakan apakah obyek wisata tersebut layak untuk dikunjungi atau tidak pada kurun waktu tertentu.

Karena penelitian ini belum sempat mengujikan nilai akurasi serta pendapat pengguna langsung terhadap kinerja aplikasi ini, penelitian selanjutnya dapat secara komprehensif membahas masalah kinerja sistem serja analisisnya.

Penelitian ini hanya memberikan rekomendasi *rating* dari kata kunci obyek wisata yang dimasukkan ke sistem. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan fitur untuk memberikan saran obyek wisata lain yang berkaitan dengan obyek wisata tersebut.

Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan lebih dalam menganalisis sentimen dengan menggunakan metode lain yang kerap digunakan dalam analisis sentimen, seperti *Hidden Markov Model* (HMM) *based POS Tagging* dan *Naïve Bayes Classifier* (NBC).

Lebih jauh lagi, penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan data yang lebih luas, misalnya menggali data lebih dalam dari situs-situs pariwisata seperti TripAdvisor guna meningkatkan data yang diharapkan akan memberikan rekomendasi lebih baik.

REFERENSI

- [1] G. D. Putra, F. A. Saputra, and K. Watanabe, "Community Driven Search Engine Based on Community's Proxy Server Log," in *The 26th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence Proceeding*, 2012.
- [2] B. S. Hantono and G. D. Putra, "Generating customized web search result through community driven search engine," in *Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 127–130.
- [3] I. F. Rozi, S. H. Pramono, and E. A. Dahlan, "Implementasi Opinion Mining (Analisis Sentimen) untuk Ekstraksi Data Opini Publik pada Perguruan Tinggi," *J. EECCIS*, vol. 6, no. 1, p. pp–37, 2013.
- [4] N. Indurkha and F. J. Damerau, *Handbook of natural language processing*, vol. 2. CRC Press, 2012.
- [5] Pusdatin Kemenparekraf & BPS, "Perkembangan Jumlah Perjalanan Wisatawan Nusantara, Rata-Rata Perjalanan, Pengeluaran per Perjalanan Total Pengeluaran 2009-2013." [Online]. Available: <http://www.parekraf.go.id/asp/detil.asp?c=111&id=1191>. [Accessed: 08-Aug-2014].
- [6] Y. Y. Luhulima, M. T. Marji, L. Muflikhah, and S. Kom, "Sentiment Analysis Pada Review Barang Berbahasa Indonesia Dengan Metode K-Nearest Neighbor (K-NN)."
- [7] N. D. Putranti and E. Winarko, "Analisis Sentimen Twitter untuk Teks Berbahasa Indonesia dengan Maximum Entropy dan Support Vector Machine," *IJCCS-Indonesian J. Comput. Cybern. Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 91–100, 2014.
- [8] M. L. Khodra and A. Purwarianti, "Ekstraksi Informasi Transaksi Online pada Twitter," *J. Cybermatika*, vol. 1, no. 1, 2013.
- [9] W. B. Claster, M. Cooper, and P. Sallis, "Thailand -- Tourism and Conflict: Modeling Sentiment from Twitter Tweets Using Naïve Bayes and Unsupervised Artificial Neural Nets," *Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM), 2010 Second International Conference on*. pp. 89–94, 2010.
- [10] K. Shimada, S. Inoue, and T. Endo, "On-site Likelihood Identification of Tweets for Tourism Information Analysis," *Advanced Applied Informatics (IIAIAI), 2012 IIAI International Conference on*. pp. 117–122, 2012.
- [11] K. Shimada, S. Inoue, H. Maeda, and T. Endo, "Analyzing Tourism Information on Twitter for a Local City," *Software and Network Engineering (SSNE), 2011 First ACIS International Symposium on*. pp. 61–66, 2011.
- [12] S. Palakvangsa-Na-Ayudhya, V. Sriarunrungreung, P. Thongprasan, and S. Porcharoen, "Nebular: A sentiment classification system for the tourism business," *Computer Science and Software Engineering (JCSSE), 2011 Eighth International Joint Conference on*. pp. 293–298, 2011.
- [13] O. Arbelaitz, I. Gurrutxaga, A. Lojo, J. Muguerza, J. M. Pérez, and I. Perona, "Web usage and content mining to extract knowledge for modelling the users of the Bidasoa Turismo website and to adapt it," *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, no. 18, pp. 7478–7491, 2013.
- [14] PAN Localization Project, "PAN Localization." [Online]. Available: <http://www.pan110n.net/>. [Accessed: 13-Aug-2014].
- [15] S. Robertson, "Understanding inverse document frequency: on theoretical arguments for IDF," *J. Doc.*, vol. 60, no. 5, pp. 503–520, 2004.
- [16] C. D. Manning, M. Surdeanu, J. Bauer, J. Finkel, S. J. Bethard, and D. McClosky, "The Stanford CoreNLP Natural Language Processing Toolkit," in *Proceedings of 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations*, 2014, pp. 55–60.

Seleksi Aturan Menggunakan *Rough Set Theory* Untuk Diagnosis Gangguan Transformator Daya Berbasis *Dissolved Gas Analysis* (DGA)

Hendra Marcos¹, Noor Akhmad Setiawan², Suharyanto³

Email: ¹hendra.marcos@mail.ugm.ac.id, ²noorwewe@ugm.ac.id, ³suharyanto@ugm.ac.id
Jurusan Teknik Elektro dan Teknik Informasi, Universitas Gadjah Mada

Abstrak - Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan metode seleksi aturan (rule) dari sejumlah rule yang dihasilkan dari metode induksi rule menggunakan *Rough Set Theory* (RST). Aturan yang terseleksi digunakan untuk diagnosis gangguan transformator daya dari dataset berbasis *Dissolved Gas Analysis* (DGA). Seleksi aturan berdasarkan batasan nilai *accuracy* dan *coverage* tertentu dilakukan pada tahap awal. Aturan yang terseleksi kemudian diekstrak menggunakan RST dengan konsep reduksi atribut, dimana aturan terseleksi disusun membentuk *decision table* baru. Dari percobaan yang telah dilakukan terhadap aturan (rule) yang terseleksi, metode yang diusulkan dapat memilih sejumlah kecil aturan yang berkualitas tinggi terhadap hasil klasifikasi dibandingkan dengan metode seleksi aturan sebelumnya.

Kata Kunci : *Rough Set Theory*, DGA, seleksi aturan

I. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu peralatan paling penting dari sistem tenaga listrik, yang berfungsi untuk mengkonversikan daya [1]. Namun transformator seringkali menjadi peralatan listrik yang kurang diperhatikan dan tidak diberikan perawatan yang memadai. Padahal perbaikan transformator yang rusak tidaklah mudah dan tidak dapat dikerjakan dalam waktu yang singkat. Transformator yang tidak bekerja sebagaimana mestinya akan menimbulkan dampak terganggunya suplai listrik ke konsumen.

Dissolved Gas Analysis (DGA) atau analisis gas terlarut adalah salah satu cara yang paling mudah dan efektif untuk mendiagnosis gangguan permulaan pada transformator daya [2][3]. Dengan ditemukannya gangguan yang lebih awal pada transformator akan memudahkan pemeliharaan rutin, dan dapat memperpanjang usia transformator. Salah satu uji yang dilakukan untuk pengujian kandungan gas terlarut pada material minyak isolasi adalah dengan uji kromatografi. Dengan adanya uji kromatografi ini akan diperoleh kandungan gas yang terlarut dalam minyak transformator. Gas yang dapat diperoleh dari uji DGA adalah Oksigen (O_2), karbondioksida (CO_2), karbonmonoksida (CO), hidrogen (H_2), etana (C_2H_6), metana (CH_4), etilen (C_2H_4), dan asetilen (C_2H_2). Gas yang dihasilkan diukur dalam satuan ppm (*part per milion*) [4]. Konsentrasi dari beberapa jenis gas yang dihasilkan tergantung pada jenis gangguan yang terjadi. Tetapi dapat dikatakan pula bahwa setiap jenis gangguan akan menghasilkan gas, yang dikenal dengan *key gases* [5]. Untuk itu dibuat perbandingan 15 gas yang mewakili semua kemungkinan gas yang muncul berdasarkan pada penelitian sebelumnya.

Akan tetapi diagnosis gangguan transformator berdasarkan DGA yang memetakan antara *variabel* kandungan gas dengan jenis kesalahan tidaklah linier dan sulit dimodelkan secara matematis. RST diperlukan dalam proses ini untuk menangani masalah *uncertainty*, *imprecision*, dan *vagueness* sehingga ditemukan pola hubungan antara gas yang dikandung dengan jenis gangguan. Pola tersebut merupakan informasi yang diharapkan dapat digunakan untuk menggantikan pakar yang mahal dalam memetakan data kandungan gas terlarut lainnya di masa mendatang [6].

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan teknik *machine learning* untuk memudahkan diagnosis. Metode *rough set* menunjukkan hasil klasifikasi yang lebih bagus dari teknik lainnya [6][7]. Kemudian beberapa penelitian dengan menggabungkan metode juga telah dilakukan, diantaranya menggunakan RST dan *fuzzy logic* [8], RST dan ANN [9]. Dari penelitian tersebut masih terdapat kekurangan diantaranya masih sulitnya didapatkan pengetahuan yang intrinsik dan masih rendahnya nilai akurasi klasifikasi. Dengan metode DGA dan RST yang sudah dilakukan [6], didapatkan jumlah *rule* dari atribut perbandingan gas hasil reduksi yang masih berjumlah besar, kemudian dengan metode *rule filtering* menggunakan RST [11]. Dengan batasan *support* dan *coverage* didapatkan *rule* yang lebih sedikit. Pengujian terhadap data uji menunjukkan hasil akurasi yang masih rendah yaitu 81,5% [6].

Pada *paper* ini diusulkan metode klasifikasi menggunakan DGA dan *rough set theory*. Dengan konsep *dataset* gangguan dibuat *binary classification*. Metode seleksi *rule* (aturan) pada tahap awal diusulkan pada penelitian ini. Dengan batasan nilai *support* dan *coverage* terhadap sejumlah aturan yang masih berjumlah besar, didapatkan aturan yang lebih sedikit. Teknik RST kemudian digunakan untuk mereduksi sejumlah aturan agar didapatkan aturan yang lebih sedikit, sehingga hasil akurasi klasifikasi meningkat dari penelitian sebelumnya.

II. METODOLOGI

A. DATASET GANGGUAN TRANSFORMATOR

Dataset Gangguan transformator daya diambil dari *New IEC Publication 60 599* dan *IEC TC 10 Databases* [2] yang mengadopsi data transformator dengan data Normal. Dengan total data 165 obyek, data ini digunakan untuk data latih dan data uji. Perbandingan data gas yang terlarut

kemudian dibuat menjadi 15 perbandingan gas yang mewakili dari seluruh kemungkinan rasio gas yang dapat diklasifikasikan menjadi 6 jenis gangguan.

B. Rough Set Theory (RST)

Rough set theory (RST) dikembangkan oleh Zdzislaw Pawlak pada tahun 1980-an [12], RST ini sangat berguna untuk menemukan hubungan dalam data yang disebut pengetahuan. Hasil penemuan pengetahuan berupa *rule* (aturan) yang mudah dimengerti dan bermakna, yang dihasilkan dari ekstraksi pola data. Metode RST muncul sebagai salah satu metode matematika untuk mengelola ketidakpastian, ambiguitas dan ketidakjelasan dari hubungan data yang tidak lengkap dan sulit dimodelkan secara matematis.

Untuk $S=(U,A)$ dan $B \subseteq A$, dimana $a \in B$, dengan : $INDs(B) = \{(x, x') \in U \times U \mid \forall a \in B, a(x) = a(x')\}$ dapat dikatakan bahwa a dapat diabaikan dalam B , dan : $INDs(B) = INDs(B - \{a\})$ jika sangat diperlukan a dapat diabaikan.

Himpunan B dikatakan independen jika semua atributnya diperlukan. Setiap subset B' dari B disebut *reduct* dari B jika B' adalah independen dan $INDs(B') = INDs(B)$.

Reduct dapat didefinisikan sebagai subset minimal dari beberapa atribut yang memiliki hasil klasifikasi yang sama. Dengan kata lain, atribut yang bukan unsur *reduct* merupakan *redundant* dari klasifikasi. *Reducts* relatif didasarkan pada elemen obyek-obyek tertentu.

C. Rule Extraction dan Rule Selection

Ekstraksi *rule* (aturan) didasarkan pada nilai *coverage* dan *support* dari masing-masing *rule*. Hal ini telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [11]. Misalnya untuk,

$$DS = (U, C \cup D)$$

Yang merupakan *decision table* dari $\forall x \in U$, maka $c_1(x), \dots, c_k(x)$, $d(x)$ dapat didefinisikan, dimana $\{c_1, \dots, c_k\} = C$ dan $\{d\} = D$. *Decision rule* didapatkan dari,

$$c_1(x), \dots, c_2(x) \rightarrow d(x).$$

C merupakan *reduct* dari atribut kondisi yang merupakan perbandingan gas yang direduksi dari *decision table*.

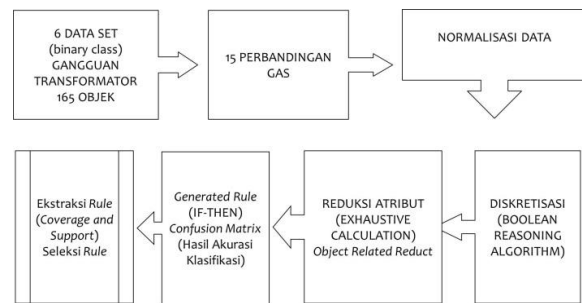
Seleksi *rule* RST dilakukan karena *rule* yang ada terlalu banyak dan panjang. Untuk menyerderhanakan jumlah *rule* dapat dilakukan melalui metode RST. Jika $R = \{Rule_1, Rule_2, \dots, Rule_j\}$ merupakan *subset rule* yang didapatkan dari *Rough Set* sebagai *decision table* yang baru, dimana *rule* berlaku sebagai subset atribut. Nilai 1 dari atribut $Rule_a$ jika obyek x_b pada *decision* (d) mempunyai nilai yang sama dengan *decision table*, dan bernilai 0 jika tidak bernilai sama. Nilai pada kolom (atribut) $j+1$ sama dengan nilai *decision*, dengan $a = 1, \dots, j$ dan $b = 1, \dots, i$. Tabel keputusan baru dapat direduksi menggunakan konsep *rough set*. *Reduct* yang didapat dari hasil reduksi atribut merupakan *rule* yang memiliki nilai *accuracy* dan *coverage* besar. Untuk selanjutnya sejumlah *rule* hasil reduksi RST dapat diuji coba nilai *accuracy* dan *coverage*-nya menggunakan data uji kembali. Untuk lebih jelas *decision table* dari seleksi *rule* yang akan dilakukan menggunakan RST, dapat dilihat pada Tabel I.

TABEL I
DECISION TABLE RULE SEBAGAI ATRIBUT

$x \in U$	$Rule_1$	$Rule_2$...	$Rule_{j-1}$	$Rule_j$	D
x_1	0	1	...	1	1	PD
x_2	0	0	...	0	0	non-PD
.
.
x_{i-1}	0	1	...	0	1	PD
x_i	0	1	...	1	1	PD

D. Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



GAMBAR 1. LANGKAH-LANGKAH PENELITIAN

Pertama *dataset* gangguan transformator daya sebagai *decision table* dibuat menjadi *binary*, dimana untuk 6 jenis klasifikasi menjadi 6 *dataset*. Data dinormalisasi dengan sebaran 0-10. Kemudian didiskretisasi dengan algoritme *boolean reasoning* yang kemudian data terdiskretisasi tersebut direduksi atributnya memakai *exhaustive calculation* dengan pilihan *object related reduct* yang sekaligus menghasilkan *rule*. Untuk proses selanjutnya dilakukan ekstraksi dan seleksi *rule* menggunakan teknik RST.

III. HASIL DAN ANALISIS

A. Data Preprocessing

Pada proses awal data set dibuat menjadi dua kelas yaitu kelas positif dan kelas negatif, untuk kelas positif merupakan jenis gangguan/normal dan kelas negatif adalah yang bukan terkena gangguan. Dapat dilihat pada Tabel II dengan perincian jumlah obyek masing-masing jenis gangguan.

TABEL II
DATA SET BINARY KELAS

Label Kelas Positif	Jumlah Data Kelas Positif	Label Kelas Negatif	Jumlah Data Kelas Negatif
PD	9	non-PD	156
D1	26	non-D1	139
D2	48	non-D2	117
T1&T2	15	non-T1&T2	150
T3	18	non-T3	147
Normal	49	Gangguan	116

Untuk atribut adalah 15 perbandingan gas yang mewakili kemungkinan dari perbandingan gas yang terlarut pada isolasi minyak transformator.

TABEL III
KODE PERBANDINGAN GAS TERLARUT

C1	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄
C2	CH ₄ /H ₂
C3	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
C4	C ₂ H ₆ /CH ₄
C5	CH ₄ /C ₂ H ₄
C6	C ₂ H ₂ /CH ₄
C7	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₆
C8	C ₂ H ₆ /H ₂
C9	C ₂ H ₄ /H ₂
C10	C ₂ H ₂ /H ₂
C11	CH ₄ /Total Hydrocarbon
C12	C ₂ H ₄ /Total Hydrocarbon
C13	C ₂ H ₆ /Total Hydrocarbon
C14	C ₂ H ₂ /Total Hydrocarbon
C15	H ₂ /Total Hydrocarbon +H ₂)

Dengan skala yang besar dari hasil 15 perbandingan gas, data dinormalisasi menggunakan persamaan (1), untuk kemudian dilakukan *discretization* menggunakan *boolean reasoning algorithm* [13].

$$\bar{x} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \times 10 \quad (1)$$

Dimana :

x_{max} dan x_{min} masing-masing adalah nilai maksimal dan minimal dari data set untuk tiap-tiap atribut pada *decision table*. Dan \bar{x} , x_i masing-masing adalah nilai normalisasi dari data yang dicari dari nilai x , dimana i bernilai 1 sampai 165. Sesuai dengan jumlah data set gangguan PD berjumlah 9 obyek dan *non*-PD berjumlah 156 obyek. Pada Tabel IV diperlihatkan data set hasil normalisasi dengan nilai yang mempunyai skala 0-10.

TABEL IV
DECISION TABLE DATA HASIL NORMALISASI

No	C1	C2	C3	.	.	.	C13	C14	C15	Diag
1	0	0,0015	0	.	.	.	0,8726	0	9,4710	PD
2	0,5395	0,0010	0,0009	.	.	.	1,7627	0,0428	9,6915	PD
3	0	0,0023	0	.	.	.	0	0	9,1929	PD
.
163	0,0135	0,0161	0,0077	.	.	.	6,3408	0,0369	3,4713	non-PD
164	0,2698	0,0302	0,0040	.	.	.	5,8171	0,3517	2,5199	non-PD
165	0,2698	0,0021	0,0040	.	.	.	5,8171	0,3517	8,4811	non-PD

Tabel V contoh hasil diskretisasi untuk kasus gangguan PD dan selain itu dibuat *non*-PD.

TABEL V
HASIL DISKRETISASI DATA SET PD DAN *NON*-PD

Atribut		Nilai Diskret		
C1	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	[0.0002,*)	-	[*,0.0002)
C2	CH ₄ /H ₂	[0.0028,*)	-	[*,0.0028)
C3	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	[0.0032,*)	-	[*,0.0032)
C4	C ₂ H ₆ /CH ₄	[0.0709,*)	-	[*,0.0709)
C5	CH ₄ /C ₂ H ₄	[1.0610,*)	-	[*,1.0610)
C6	C ₂ H ₂ /CH ₄	[0.0010,*)	-	[*,0.0010)
C7	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₆	[0.0008,*)	-	[*,0.0008)
C8	C ₂ H ₆ /H ₂	[0.0003,*)	-	[*,0.0003)
C9	C ₂ H ₄ /H ₂	[0.0002,*)	-	[*,0.0002)
C10	C ₂ H ₂ /H ₂	[0.0008,*)	-	[*,0.0008)
C11	CH ₄ /Total	[0.4474,*)	[0.4474 , 4.1638)	[*,4.1638)
C12	C ₂ H ₄ /Total	[0.0120,*)	-	[*,0.0120)
C13	C ₂ H ₆ /Total	[0.0263,*)	[0.0263 , 0.6887)	[*,0.6887)
C14	C ₂ H ₂ /Total	[0.0083,*)	-	[*,0.0083)
C15	H ₂ /Total+H ₂)	[5.7622,*)	-	[*,5.7622)

Untuk contoh kasus PD dan *non*-PD, dimana untuk atribut C1 (C₂H₂/C₂H₄) [0.0002,*) rasio gas C₂H₂ dan C₂H₄<0,0002 dan ≥0,0002. Untuk atribut C11 (CH₄/Total Hydrocarbon) [0.4474,4.1638) artinya 0,4474≤C11<4,1638 dimana rasio gas CH₄ dan Total Hydrocarbon berkisar antara 0,4474 dan 4,1638

Selanjutnya diskretisasi dilakukan untuk 5 data set berikutnya yaitu Normal-Gangguan, D1-*non*-D1, D2-*non*-D2, T1&T2-*non*-T1&T2, dan T3-*non*-T3. Kemudian di-*reduct* menggunakan *Exhaustive Calculation Reduct* dan *discernibility object related*, didapatkan minimal subset atribut tereduksi, dan selanjutnya akan dilakukan *generate rule*. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel VI. Data di-*split* menjadi 50:50, dimana 83 obyek data untuk data latih dan 82 obyek data dijadikan data uji. Kemudian diujikan ke data uji untuk dilihat hasil klasifikasinya.

TABEL VI
PERBANDINGAN JUMLAH RULE DAN AKURASI

Jenis Gangguan (binary class)	Jumlah Reduct	Jumlah Rule (det)	Akurasi (%)	
Normal dan Gangguan	585	883	0.9268	92,68
PD dan <i>non</i> -PD	122	156	1,00	100,00
D1 dan <i>non</i> -D1	411	750	0.9146	91,46
D2 dan <i>non</i> -D2	763	987	0.8536	85,37
T1&T2 dan <i>non</i> -T1&T2	557	599	0.9634	96,34
T3 dan <i>non</i> -T3	400	585	0.9512	95,12

Dari 6 *decision table* yang ada, untuk PD dan *non*-PD memperoleh hasil akurasi klasifikasi yang paling tinggi yaitu 100% dengan jumlah *rule* 156. Sedangkan hasil akurasi yang paling rendah untuk kasus gangguan D2 dan *non*-D2 dengan akurasi klasifikasi 85,37% jumlah *rule*-nya 987 *rule*.

TABEL VII
RULE UNTUK KASUS PD DAN *NON*-PD

No	Decision Rule	Support
1	IF C12 ≥ 0,1090 => Diag(<i>non</i> -PD)	77
2	IF C9 ≥ 0,0002 => Diag(<i>non</i> -PD)	75
3	IF C11 < 4,9673 => Diag(<i>non</i> -PD)	73
154	IF C7 ≥ 0,0008 AND C10 < 0,0008 AND C11 ≥ 4,9673 => Diag(PD)	1
155	IF C7 ≥ 0,0008 AND C11 ≥ 4,9673 AND 0,7633 ≤ C13 < 1,4511 => Diag(PD)	1
156	IF C7 ≥ 0,0008 AND C11 ≥ 4,9673 AND C14 < 0,0714 => Diag(PD)	1

B. Rule Extraction dan Rule Selection

Pada proses ini *rule* yang didapatkan kemudian diekstraksi menggunakan *basic filtering*, dimana parameter yang digunakan adalah berdasar nilai *coverage* dan *support*. Tabel VII dan VIII memperlihatkan *rule* hasil seleksi untuk satu kasus yaitu PD dan non-PD. Selanjutnya akan dilakukan untuk 5 gangguan lainnya.

TABEL VIII
RULE TEREKSTRAKSI UNTUK KASUS PD DAN NON-PD

No	Decision Rule	Support
1	IF C12 ≥ 0,1090 => Diag(non-PD)	77
2	IF C9 ≥ 0,0002 => Diag(non-PD)	75
3	IF C11 < 4,9673 => Diag(non-PD)	73
4	IF C10 ≥ 0,0008 => Diag(non-PD)	73
.	.	.
.	.	.
.	.	.
14	IF C8 < 0,0003 AND C12 < 0,1090 => Diag(PD)	5
15	IF C12 < 0,1090 AND C14 < 0,0714 => Diag(PD)	5
16	IF C3 < 0,0033 AND C14 < 0,0714 => Diag(PD)	5

Tabel VII dan VIII memperlihatkan contoh untuk kasus gangguan PD dan non-PD dari 156 *rule* yang didapatkan dari RST dengan seleksi *rule* menggunakan pengurangan *rule* dengan nilai *coverage* dan *support* akhirnya didapatkan 16 *rule* terseleksi dengan nilai akurasi klasifikasi tetap 100%. Untuk selanjutnya dapat dilihat pada Tabel IX perbandingan dari jumlah *rule* dan nilai akurasinya dari sebelum dan sesudah seleksi *rule*.

TABEL IX
PERBANDINGAN JUMLAH RULE DAN AKURASI
SEBELUM DAN SESUDAH SELEKSI

Jenis Gangguan (binary class)	Jumlah Rule (det)	Accuracy (%)	Rule Selection Method (Basic Filter process)	Jumlah Rule Selection	Accuracy (%)
Normal dan Gangguan	883	92,68	1. Coverage ≤ 0,2 2. Length ≥ 4	82	90,24
PD dan non-PD	156	100,00	1. Coverage ≤ 0,8 2. Length ≤ 3 3. Coverage ≤ 0,935897	16	100,00
D1 dan non-D1	750	91,46	1. Coverage ≤ 0,3 2. Length ≤ 4 3. Support ≤ 5	45	95,12
D2 dan non-D2	987	85,37	1. Coverage ≤ 0,30398 2. Length ≤ 4	22	93,90
T1&T2 dan non-T1&T2	599	96,34	1. Coverage ≤ 0,125 2. Length ≥ 5 3. Support ≤ 3	74	96,34
T3 dan non-T3	585	95,12	1. Support ≤ 9 2. Length ≥ 6 3. Coverage ≤ 0,183099	47	95,12

Dengan teknik seleksi *rule*, kemudian dibuat *decision table* dari *rule* yang sudah terekstraksi. *Rule* yang ada disusun menjadi atribut dari tabel keputusan baru, dan 83 obyek dari data latih sebagai *instance*. Hasil seleksi *rule* dengan metode RST mendapatkan jumlah *rule* yang lebih sedikit, dapat dilihat pada Tabel X.

TABEL X
RULE YANG SUDAH TERSELEKSI

Jenis	Rule	RuleNo.
Normal	IF C4 < 0.3333 AND C5 ≥ 0.0026 THEN Gangguan	Rule 1
	IF C4 < 0.3333 AND C10 ≥ 0.1030 AND C13 < 2.0841 THEN Gangguan	Rule 5
	IF 0.0001 ≤ C2 < 0.0142 AND C4 < 0.3333 THEN Gangguan	Rule 10
	IF C1 ≥ 0.4364 AND 0.0001 ≤ C2 < 0.0142 THEN Gangguan	Rule 15
	IF C1 < 0.4364 AND C3 ≥ 0.0633 AND C13 < 2.0841 THEN Gangguan	Rule 30
	IF C4 ≥ 0.3333 AND 1.8302 ≤ C11 < 4.5805 AND C12 ≥ 1.3678 THEN Normal	Rule 41
	IF C1 < 0.4364 AND C11 < 1.8302 AND C13 ≥ 2.0841 THEN Normal	Rule 60
PD	IF C5 < 0.0026 AND C10 0.0048 ≤ C10 < 0.1030 THEN Normal	Rule 73
	IF C6 < 0.0010 AND C9 < 0.0002 THEN PD	Rule 6
D1	IF C1 < 0.8535 AND C15 < 4.1268 THEN non-D1	Rule 1
	IF C4 ≥ 0.0595 AND C12 ≥ 2.2249 THEN non-D1	Rule 2
	IF C7 < 0.0188 AND C14 < 3.5764 THEN non-D1	Rule 8
	IF 0.0239 ≤ C10 < 0.2972 AND C12 ≥ 2.2249 THEN non-D1	Rule 37
D2	IF C7 < 0.0533)) AND C13 ≥ 0.4712 THEN non-D2	Rule 2
	IF C5 < 0.0085 AND C6 < 0.1583 THEN non-D2	Rule 5
	IF C12 < 2.2966 THEN non-D2	Rule 14
D2	IF C6 ≥ 0.1583 AND C8 < 0.0005)) AND C12 ≥ 2.2966 THEN D2	Rule 18
	IF C7 ≥ 0.0533 AND C8 < 0.0005)) AND C9 ≥ 0.0013 AND C12 ≥ 2.2966 THEN D2	Rule 19
T1&T2	IF C5 ≥ 0.0085 AND C8 < 0.0005)) AND C10 < 0.3498)) AND C12 ≥ 2.2966 THEN D2	Rule 50
	IF C5 < 0.0206 AND C11 < 3.6823 THEN non-T1&T2	Rule 2
	IF C5 < 0.0206)) AND C10 ≥ 0.0526 THEN non-T1&T2	Rule 3
	IF C3 ≥ 0.0760 AND C6 ≥ 0.0007 AND C9 ≥ 0.0003 THEN non-T1&T2	Rule 22
	IF C2 < 0.0297 AND C3 < 0.0760 AND C5 < 0.0206 THEN non-T1&T2	Rule 42
T3	IF C2 < 0.0297 AND C12 < 1.5578 THEN non-T1&T2	Rule 56
	IF C9 < 0.0042 AND C12 < 5.0052 THEN non-T3	Rule 1
	IF C4 ≥ 0.1897 AND C12 < 5.0052 THEN non-T3	Rule 23
	IF C2 < 0.0211 AND C11 < 2.0124 THEN non-T3	Rule 24
	IF C1 < 0.0321 AND C9 < 0.0042 THEN non-T3	Rule 38

Selanjutnya dilakukan pengujian *rule* terseleksi kepada 82 obyek data ujiting, dengan hasil ditunjukkan pada Tabel XI.

TABEL XI
AKURASI HASIL KLASIFIKASI RULE TERSELEKSI

No	Jenis Gangguan (binary class)	Akurasi
1	Normal dan Gangguan	100%
2	PD dan non-PD	98,78%
3	D1 dan non-D1	92,68%
4	D2 dan non-D2	100%
5	T1&T2 dan non-T1&T2	100%
6	T3 dan non-T3	96,34%
Rata-rata		98%

Tabel XII menunjukkan hasil perbandingan akurasi antara beberapa metode konvensional, kecerdasan buatan dan metode yang diusulkan.

TABEL XII
PERBANDINGAN AKURASI HASIL KLASIFIKASI

No	Metode	Akurasi
1	Segitiga Duval	48%
2	Rasio Roger	41%
3	IEC	58%
4	MLP	75%
5	RST	81,5%
6	Metode Usulan	98%

Metode konvensional menunjukkan hasil akurasi yang masih rendah yaitu dibawah 70%, metode kecerdasan buatan seperti MLP 75%, metode RST pada *paper* sebelumnya memberikan akurasi 81,5%.

IV. KESIMPULAN

Dari seleksi aturan (*rule*) menggunakan metode RST didapatkan jumlah aturan yang lebih sedikit dan mudah dipahami. Hasil akurasi yang bagus dari masing-masing *decision table* ditunjukkan pada klasifikasi menggunakan DGA dengan akurasi 98%, diharapkan dapat digunakan untuk memudahkan proses klasifikasi selanjutnya. Untuk selanjutnya *rule* berkualitas tinggi akan digunakan untuk memudahkan pengambilan keputusan dalam mendiagnosis gangguan transformator daya dengan membuat *fuzzy inference*-nya.

REFERENSI

- [1] W.H.Tang, Q.H.Wu,"Condition Monitoring and Assessment of Power Transformers Using Computational Intelligence" The University of Liverpool, Springer, 2011
- [2] M. Duval, M. "Interpretation of Gas-In-Oil Analysis Using New IEC Publication 60599 and IEC TC 10 Databases". Electrical Insulation Magazine, IEEE, Vol 17:2, pp. 31-41, 2001
- [3] M. Duval, "Dissolved gas analysis: It can save your transformer," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 5, no. 6, pp. 22-27, 1989
- [4] Dr. DiGiorgio," Dissolved Gas Analysis Of Mineral Oil Insulating Fluids", Northern Technology & Ujiting, 2001
- [5] R. R. Rogers, "IEEE and IEC codes to interpret incipient faults in transformers, using gas in oil analysis," IEEE Trans. on Electrical Insulation, vol. 13, no. 5, pp. 349-354, 1978
- [6] N.A.Setiawan,Sarjiya,Z.Ardhiaga," Power Transformer Incipient Faults Diagnosis Using Dissolved Gas Analysis and Rough Set, IEEE International Conference, 2012
- [7] Y.C. Huang, H.C. Sun, K.Y. Huang and Y.S. Liao, "Fault Diagnosis of Power Transformers Using Rough Set Theory". Proceeding of Fourth International Conference on Innovative Computing, Information, and Control, pp.1422-1426, 2009.
- [8] X.Zheng"Intelligent Fault Diagnosis of Power Transformer based on Fuzzy logic and Rough Set Theory". Proceeding, of the 7th, 2008
- [9] X. Yu and H. Zang, "Transformer Fault Diagnosis Based on Rough Sets Theory and Artificial Neural Networks". International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis. pp 1342 - 1345, 2008
- [10] M.Zhou, T.Wang,"Fault Diagnosis of Power Transformer Based on Assosiation Rules Gained by Rough Set", IEEE 2010
- [11] N.A.Setiawan,P.A.Venkathachalam,and Ahmad Fadzil M.H,"Rule Selection for Coronary Artery Disease Diagnosis Based on Rough Set, International Journal of Recent Trends Engineering, 2009
- [12] Z. Pawlak, "Rough Sets," International Journal of Computer and Information Sciences, vol. 11, pp. 341-355, 1982
- [13] T. Agotnes, "Filtering large propositional rule sets while retaining classifier performance," in Department of Computer and Information Science: Norwegian Universtiy of Science and Technology, 1999, pp. 143

Pengaruh Penambahan Kapasitor terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi Tiga Fase Sangkar Tupai

Bambang Sugiyantoro, Tiyono, M. Rasyid Aziz
Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta
bsg@te.ugm.ac.id

Abstract—The most types of electric motors are used and applied in the industry is the induction motor. Because the induction motor has a simple construction, good strength, and a little maintenance required. One of the existing problems of the induction motor is the lack of performance optimization of induction motor in the loaded and the no-load state. The performance of the induction motor when it is in loaded and no-load state is important to be known to avoid the motor damaged and optimize the performance of the induction motor. The research aims to determine the effect of the capacitor addition to the performance of three-phase induction motor squirrel cage. The research was performed using 3-phase induction motor squirrel cage, and a DC motor as mechanical load, becoming one in a series of NE7010 TecQuipment. It was given an input voltage by the voltage regulator NE7014, and also was given the influence of the capacitor addition by two types of the capacitors. They were 3.25 μ F and 17 μ F which contained on NE7024 Capacitive Loading Bank. The results showed that some of the induction motor parameters such as current, reactive power, and slip waned while the active power, power factor, and speed increased. Motor efficiency also increased with increasing load.

Keywords—performance 3-phase induction motor squirrel cage, capacitor addition effect, load variation)

Intisari—Jenis motor listrik yang sering digunakan dan diaplikasikan dalam industri sekarang ini adalah motor induksi. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki konstruksi yang sederhana, kuat, dan sedikit membutuhkan perawatan. Salah satu permasalahan yang ada adalah kurangnya pengoptimalan kinerja motor induksi saat keadaan berbeban dan karakteristik motor induksi saat tanpa beban. Unjuk kerja motor induksi dalam keadaan berbeban dan tanpa beban penting untuk diketahui supaya menjaga motor induksi tiga fase dari kerusakan dan tercapainya optimalisasi kerja motor induksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kapasitor terhadap unjuk kerja motor induksi tiga fase sangkar tupai. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan motor induksi 3 fase sangkar tupai, dengan beban mekanis motor DC, mejadi satu rangkaian dalam NE7010 TecQuipment. Motor diberi masukan tegangan oleh regulator tegangan NE7014, dan diberikan pengaruh penambahan kapasitor oleh dua jenis kapasitor, yaitu 3.25 μ F yang dirangkai sendiri dan 17 μ F yang terdapat pada NE7024 Capacitive Loading Bank. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa parameter motor induksi seperti arus, daya reaktif, slip semakin berkurang sedangkan daya aktif, faktor daya, dan kecepatan semakin

besar. Efisiensi motor pun mengalami peningkatan seiring penambahan beban.

*Kata kunci—*Unjuk Kerja Motor Induksi 3 fase sangkar tupai, Pengaruh Penambahan Kapasitor, Variasi Pembebanan

I. PENDAHULUAN

Ketergantungan umat manusia terhadap energi listrik tidak dapat dihindarkan lagi [1]. Motor listrik banyak digunakan di industri dan di perumahan [2]. Berdasarkan jenis sumber tegangan, motor induksi ada dua macam yaitu motor induksi fase tunggal dan fase banyak [3]. Karena banyak dipakai maka dirasa penting untuk mempunyai pengetahuan yang lebih mendalam mengenai motor induksi terutama motor induksi 3 fase sangkar tupai agar optimal dalam pemakaiannya.

Dengan membahas pengaruh penambahan kapasitor terhadap unjuk kerja motor induksi tiga fase sangkar tupai, diharapkan dapat lebih mengerti dan memahami lebih mendalam tentang unjuk kerja motor induksi 3 fase sangkar tupai dengan kondisi tanpa beban atau dengan kondisi dalam variasi pembebanan sehingga didapatkan kondisi efisiensi dan efektivitas yang optimal dalam penggunaan sumber energi.

II. DASAR TEORI

Motor listrik ini diberi nama motor induksi karena motor ini menggunakan prinsip induksi, yaitu arus motor ini bukan diperoleh dari suatu sumber listrik, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar [4]. Dalam hal ini medan magnet stator berputar secara elektromagnetik, sedangkan arus pada rotor timbul karena induksi elektromagnet. Perputaran motor induksi ditimbulkan oleh adanya medan magnet putar yang dihasilkan oleh kumparan stator, medan magnet putar stator terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dengan sumber jala – jala tiga fase. Medan magnet putar yang ditimbulkan akan melalui celah udara dan memotong penghantar rotor, sehingga pada penghantar rotor akan diimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Belitan rotor merupakan rangkaian tertutup sehingga arus akan mengalir dalam rangkaian tersebut dan sebanding dengan gaya gerak listriknya. Karena pada belitan rotor mengalir arus listrik dan belitan rotor tersebut berada dalam medan magnet, maka pada belitan rotor ini akan ditimbulkan

gaya yang akan memutar rotor [4]. Gaya yang timbul pada rotor secara berpasangan akan menimbulkan torsi, kalau torsi mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor lebih besar dari torsi yang diperlukan beban, maka rotor akan berputar mengikuti arah putar medan stator [5].

Perbedaan relatif antara medan putar stator dengan kecepatan putar rotor dinamakan slip. Besarnya slip dapat dicari dengan rumus seperti ditunjukkan persamaan 1.

$$S = (N_s - N_r)/N_s \times 100\% \quad (1)$$

dengan, S : slip

N_s : kecepatan medan putar stator (rpm)

N_r : kecepatan putar rotor, (rpm).

Perbandingan antara daya aktif (kW) dan daya semu (kVA) dikenal dengan faktor daya, seperti terlihat pada persamaan 2. Kapasitor merupakan salah satu sumber daya reaktif [6]. Kapasitor merupakan piranti listrik yang berfungsi memberi daya reaktif sehingga pada saat faktor daya lagging akan dapat meningkatkan daya nyata pada sistem [7]. Oleh karena itu, pemasangan kapasitor dapat meningkatkan besar faktor daya dengan cara memberi daya reaktif ke peralatan listrik yang bersifat induktif.

$$Pf = \cos \theta = kW/kVA = kW/\sqrt{(kW^2 + kVAR^2)} \quad (2)$$

dengan, Pf : faktor daya

kW : daya aktif

$kVAR$: daya reaktif

kVA : daya semu

$\cos \theta$: faktor daya.

Keuntungan utama dari koreksi faktor daya adalah :

- Menurunkan arus
- Mengurangi rugi – rugi trafo, kabel jaringan, dan rugi - rugi motor
- Mengurangi total daya KVA untuk daya kerja KW yang sama
- Meningkatkan regulasi tegangan
- Meminimalisasi biaya investasi sistem distribusi listrik

Faktor penting dalam unjuk kerja motor induksi adalah efisiensi kerja. Efisiensi motor induksi dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$\eta = P_o/P_i \times 100 \% \quad (3)$$

dan,

$$P_o = T \times \omega \quad (4)$$

dengan P_i : daya input (watt)

P_o : daya output (watt)

T : beban kopel (N.m)

ω : $2\pi N_r/60$

N_r : putaran motor (rpm).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan empat komponen utama yaitu motor induksi tiga fase sangkar tupai, motor dc sebagai beban mekanis pada motor induksi, AVR untuk menstabilkan tegangan selalu pada tegangan kerja. 220 V, dan variasi kapasitor yang terdiri dari satuan kapasitor 3,25 μ F dan 17 μ F. Motor induksi yang digunakan memiliki *nameplate* seperti ditunjukkan Tabel 1. Sedangkan *nameplate* pada motor dc seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

TABLE I NAMEPLATE MOTOR INDUKSI

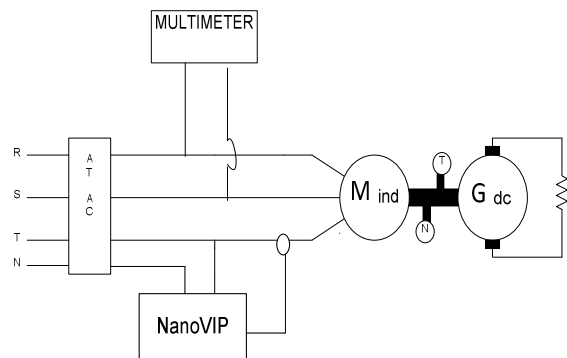
EFACEC Portugal IEC 34 - 1	MOT. BF5 90S 24		3 ~ 50 60 Hz
	1,10/1,32 kW	1380 1655/min	IP 55
	220-240 250-280 V		5,00 5,00 A
	Y 380-415 440 480 V		2,90 2,90 A
	Cos θ 0,79/0,81	11,5 kg	Is cl. F

TABEL II NAMEPLATE MOTOR DC

THRIGE-SCOTT	BT68GB Belfast N. Ireland
MOTOR-COMP	PURE DC
LAK 112 B	No. 3410658-9634
1,5 kW	1400/1800 min-1
CONT	Insulation Cl. F K
Armature 220 V	8,5 A
Excitation 120 V	0,5 A
IEC 34 - 1	

Pada penelitian ini terdapat dua pengujian yang dilakukan. Pengujian yang pertama adalah pengujian tanpa beban, dan yang kedua adalah pengujian dengan variasi torsi pembebanan. Keduanya sama – sama diberikan penambahan kapasitor secara paralel hubung bintang dengan besar yang bervariasi dari kecil ke besar, dengan konfigurasi 3,25 μ F sebagai a, dan 17 μ F sebagai b. Kombinasi kapasitor yang ditambahkan adalah a, 2a,b, a+b, 2a+b, 2b, a+2b, 2a+2b, 3b, a+3b, 2a+3b. Data yang diambil dalam kedua pengujian ini adalah arus, daya input, daya reaktif, faktor daya, kecepatan motor. Sedangkan parameter – parameter yang akan dianalisis dari data yang diambil adalah arus, daya input, faktor daya, daya reaktif, besar kecepatan putar, slip, dan efisiensi kerja motor.

Rangkaian pengujian yang dilakukan adalah seperti pada Gbr 1.



Gambar 1 Rangkaian Pengujian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian yang pertama dilakukan adalah pengujian tanpa beban, yang bertujuan untuk melihat unjuk kerja motor induksi tiga fase pada setiap perubahan penambahan kapasitor. Dalam pengujian tanpa beban ini, akan terlihat pengaruh variasi penambahan kapasitor terhadap beberapa parameter yang telah diperoleh, yaitu terhadap arus (A), daya (W), faktor daya (Pf), kecepatan putar (Rpm), daya reaktif (VAR) dan slip (s). Tabel 3 adalah data hasil pengujian tanpa beban dengan variasi tegangan masukan kepada motor induksi.

Pada pengujian tanpa beban, konsumsi daya reaktif (VAR) mengalami penurunan sebanding dengan penambahan kapasitor pada motor. Hal ini terjadi dikarenakan kapasitor merupakan sumber daya reaktif, sehingga daya reaktif yang dipakai motor pada jaringan listrik telah dapat diambilkan sebagian dari kapasitor.

TABEL III PENGUJIAN TANPA BEBAN

Kapasi- tor (μ F)	V	A	W	Cos θ	VAR	N	Slip (%)
3,25	127	1.32	27.9	0.09	289	1390	7.33
6,5	127	1.25	30.5	0.1	272	1405	6.33
17	127	1.02	31.5	0.15	223	1408	6.13
20,25	127	0.93	32.4	0.16	201	1425	5
23,5	127	0.85	35.1	0.19	184	1433	4.47
34	127	0.65	43.2	0.3	135	1436	4.27
37,25	127	0.67	64	0.44	133	1440	4
40,5	127	0.61	67	0.5	116	1443	3.8
51	127	0.45	73.3	0.75	64.5	1458	2.8
54,25	127	0.4	76	0.85	47	1463	2.47
57,5	127	0.38	77	0.91	35	1480	1.33

Besar arus yang ditarik motor induksi mengalami penurunan sebanding dengan penambahan kapasitor. Penurunan arus ini disebabkan penambahan kapasitor akan menurunkan daya reaktif (VAR) sehingga menurunkan daya semu (VA). Bila tegangan konstan, maka arus yang merupakan hasil bagi daya semu dan tegangan akan turun juga.

Faktor daya (Pf) terlihat berbanding lurus dengan penambahan nilai kapasitor. Hal ini terjadi karena kapasitor bekerja untuk mengoreksi daya VAR, sehingga jika daya aktif P (Watt) dianggap konstan, maka daya semu VA akan turun, akibatnya faktor daya akan naik.

Pada saat tanpa beban, penambahan kapasitor akan menurunkan slip (s). hal ini disebabkan penambahan kapasitor akan menurunkan arus. Akibat dari menurunnya arus rugi-rugi daya akan turun, akibat lebih lanjutnya slip akan turun karena slip merupakan representasi dari rugi-rugi daya motor.

B. Pengujian Berbeban

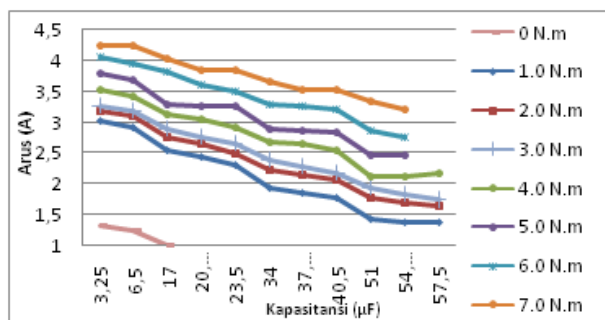
berbeban, dilakukan dengan memanfaatkan motor DC, tersedia dari peralatan percobaan NE7010 TecQuipment, yang berputar berlawanan dari arah putar motor induksi sebagai beban. Dalam hal ini dapat

dianalogikan dengan pengereman pada sepeda motor. Satuan torsi pembebanan yang diberikan adalah Newton meter (Nm). Besarnya tegangan masukan dianggap konstan 220 V fase ke fase, dan besarnya pembebanan dibatasi dikarenakan keterbatasan kemampuan motor yang hanya sanggup bekerja pada besar arus yang mendekati 5 Ampere atau beban penuh 8 N.m.

Pada pengujian berbeban dilakukan hal yang sama seperti pengujian tanpa beban. Motor induksi diberi beban dari 1 Nm sampai dengan 7 Nm, kemudian dari masing-masing beban tersebut dilakukan penambahan kapasitor. Pada saat Perubahan beban dan penambahan kapasitor, dilakukan pengukuran arus (A), daya (Watt), faktor daya (Pf), kecepatan putar (RPM), dan perhitungan slip (s), serta efisiensinya.

Gbr. 2 memperlihatkan bahwa pada berbagai pembebanan motor induksi, semakin besar penambahan kapasitor yang terhubung paralel maka arusnya akan bertambah kecil. Hal ini terjadi karena kebutuhan daya reaktif motor sebagian diambil dari kapasitor, sehingga bila kapasitor makin besar maka daya reaktif yang diambil dari sumber daya semakin kecil.

Akibat lebih lanjutnya daya semu yang dibutuhkan motor induksi dari sumber daya semakin kecil. Akhirnya, bila tegangan sumber konstan, maka arus yang merupakan pembagian dari daya semu dan tegangan menjadi semakin kecil. Gbr. 2 juga memperlihatkan bahwa semakin besar beban, arus yang ditarik motor induksi semakin besar juga. Beban mekanis pada motor listrik sebanding dengan arus yang ditarik motor induksi, sehingga bila beban bertambah, maka arus yang ditarik oleh motor induksi bertambah besar juga.

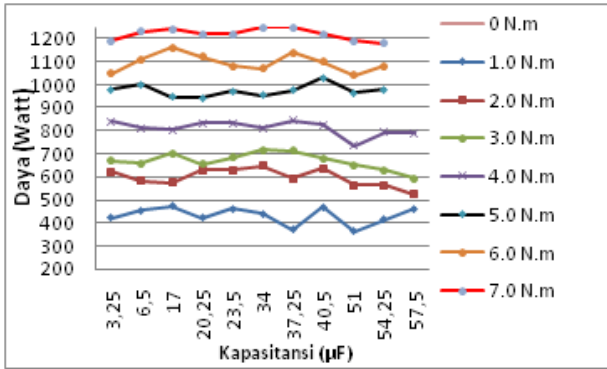


Gambar 2 Grafik Hubungan Penambahan Kapasitor dan Arus

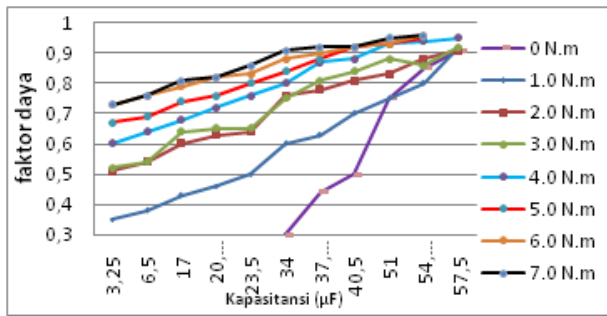
Gbr. 3 memperlihatkan hubungan antara penambahan kapasitor dan daya pada motor induksi pada berbagai besar beban. Dari gambar 3 tersebut terlihat bahwa penambahan kapasitor ada yang menambah daya yang diserap motor induksi, tetapi ada juga yang mengurangi konsumsi daya motor induksi. Hal ini disebabkan karena penambahan kapasitor akan mengurangi arus, tetapi faktor daya motor akan bertambah. Padahal daya yang diserap motor merupakan perkalian dari tegangan, arus dan faktor daya, sehingga bila tegangan konstan maka daya berbanding lurus dengan arus dan faktor daya.

Hubungan antara penambahan kapasitor terhadap faktor daya dapat dilihat pada Gbr. 4. Penambahan kapasitor pada motor akan meningkatkan faktor daya.

Penambahan kapasitor akan mengurangi konsumsi daya reaktif VAR yang diambil dari sumber tegangan. Sedangkan daya semu VA merupakan akar dari kuadrat daya watt ditambah dengan kuadrat daya reaktif. Sehingga bila terjadi pengurangan daya reaktif, daya semu VA akan berkurang juga. Jika dianggap daya watt konstan, maka bila besar kapasitor bertambah maka dengan menggunakan persamaan 2, faktor dayanya akan berkurang bila besar kapasitor ditambah.

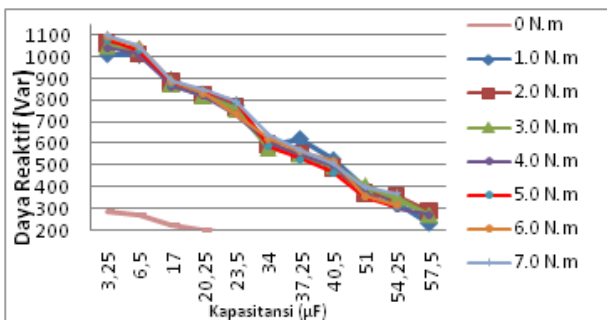


Gambar 3 Grafik Hubungan Penambahan Kapasitor dan Daya



Gambar 4 Grafik Hubungan Penambahan Kapasitor dan Faktor Daya

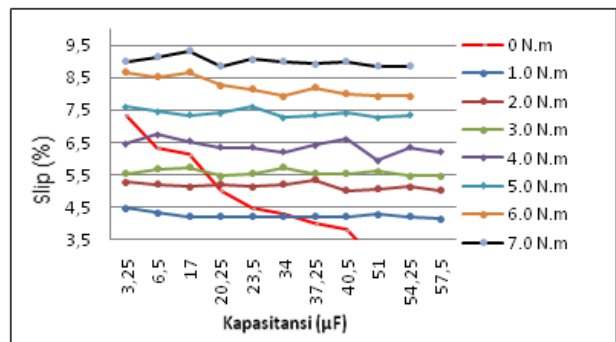
Bila motor induksi ditambah kapasitor yang dipasang parallel, maka kebutuhan daya reaktif yang dibutuhkan motor sebagian diambil dari kapasitor. Sehingga bila besar kapasitor bertambah maka kebutuhan daya reaktif yang diambil dari sumber tegangan akan berkurang, seperti terlihat pada Gbr. 5.



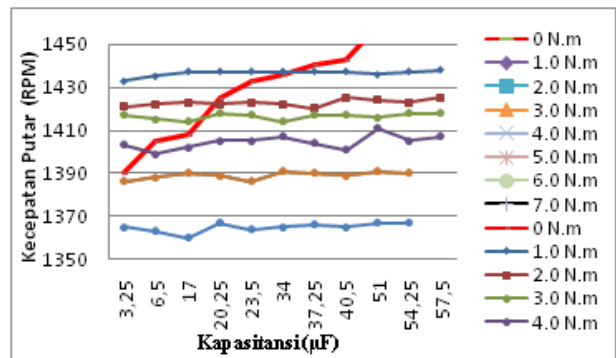
Gambar 5 Grafik Hubungan Penambahan Kapasitor dan Daya Reaktif

Gbr. 6 dan Gbr. 7 memperlihatkan hubungan antara penambahan kapasitor terhadap slip (s) dan putaran rotor. Apabila besar kapasitor yang terhubung parallel dengan motor induksi ditambah maka arus yang ditarik motor akan berkurang. Rugi-rugi daya pada motor akan berkurang dengan berkurang arus, karena rugi-rugi daya motor berbanding dengan kuadrat arusnya. Slip motor induksi merupakan penggambaran dari rugi-rugi daya yang dialami motor induksi. Jika slip motor besar maka rugi-rugi motor induksi juga besar. Sehingga penambahan kapasitor akan mengurangi slip motor induksi, seperti terlihat pada Gbr. 6.

Slip motor induksi juga merupakan perbedaan antara kecepatan medan putar yang konstan dan kecepatan putar rotor (RPM), seperti terlihat pada persamaan 1. Penambahan besar kapasitor yang dipasang parallel dengan motor induksi akan menurunkan slip, akibat lebih lanjutnya akan menaikkan putaran rotor, seperti terlihat pada Gbr.7.



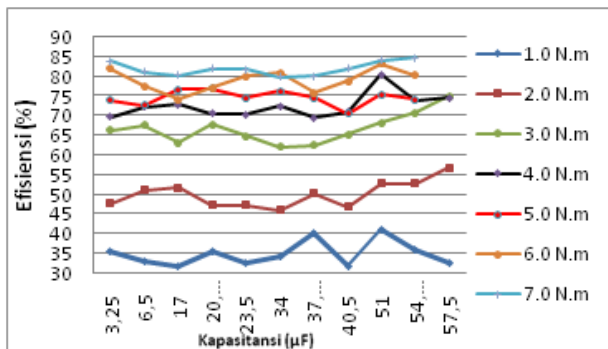
Gambar 6 Grafik Pengaruh Penambahan Kapasitor dan Slip



Gambar 7 Grafik Pengaruh Penambahan Kapasitor dan Kecepatan

Dari keseluruhan parameter yang telah diuji ada hal penting dari unjuk kerja motor induksi 3 fase sangkar tupai, yaitu efisiensi yang dapat memengaruhi penggunaan energi listrik pada motor. Efisiensi motor induksi adalah perbandingan antara daya output dengan daya input, seperti terlihat pada persamaan 3. Daya output adalah daya input dikurangi dengan rugi-rugi daya. Jika besar kapasitor yang terpasang parallel dengan motor induksi bertambah maka rugi-rugi daya motor induksi berkurang, dengan demikian daya outputnya bertambah, sehingga efisiensinya juga bertambah. Jadi penambahan besar kapasitor akan menambah efisiensi motor induksi, seperti terlihat pada Gbr. 8.

DAFTAR PUSTAKA



Gambar 8 Grafik Pengaruh Penambahan Kapasitor dan Efisiensi

V. KESIMPULAN

Penambahan kapasitor pada motor induksi tiga fase sangkar tupai mengakibatkan :

1. Menurunnya besar arus baik pada keadaan tanpa beban maupun berbeban.
2. Daya aktif meningkat pada keadaan tanpa beban
3. Berkurangnya daya reaktif pada tanpa beban maupun berbeban.
4. Membaiknya faktor daya secara linear dengan pertambahan kapasitor.
5. Kecepatan putar motor meningkat dan slip motor berbanding terbalik dengan kecepatan putar motor pada keadaan berbeban maupun tanpa beban.
6. Efisiensi kerja motor induksi tiga fase menjadi sedikit lebih baik.

[1] Tumiran, 2002, Kualitas Energi Listrik Menyongsong Pembahasan RUU Ketenagalistrikan, Majalah energy, Edisi 16(Juni-Agustus 2002), Pusat Studi Energi UGM, Yogyakarta

[2] Zuhail, 1988, Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, PT. Gramedia, Jakarta.

[3] Anthony, Z., 2001, Kinerja Pengoperasian Motor Induksi 3 Fase pada Sistem 1 Fase dengan Menggunakan Kapasitor, UGM, Yogyakarta.

[4] YM. Irwan, M. Irwanto, I. Daut, 2011 Improvement of Induction Machine Performance using Power Factor Correction. International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering, Malaysia.

[5] Wildi Theodore, 2002, "Electrical Machines, Drives. And Power Systems, 5th edition," Pearson Education Inc., New Jersey.

[6] A.E. Fitzgerald, 2003, "Electrical Machinery, 6th edition," McGraw-Hill, New York.

[7] Amirullah, M., 2000, Pengaruh Pemasangan Kapasitor pada Untai Belitan Stator terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fase Sangkar Tupai, UGM, Yogyakarta.

[8] Putra, I Ketut P, 2004, Penggunaan Kapasitor Untuk Perbaikan Unjuk Kerja Motor Induksi Sebagai Generator, UGM, Yogyakarta.

Deteksi Dini Penyakit Paru secara *Mobile* Berbasis Bayesian Network

Rahmadi Kurnia, Fitri Aini, Ikhwana Elfitri
Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas
Kampus Baru Limau Manis Padang 25163, Indonesia

e-mail: rahmadi_kurnia@ft.unand.ac.id, fitriaini17@yahoo.com, ikhwana@ft.unand.ac.id

Abstrak— Penelitian membahas pendeteksian penyakit paru berdasarkan gejala-gejala yang dirasakan user dengan menggunakan sistem pakar *bayesian network* pada *handphone android* yang bertujuan untuk memudahkan user mendeteksi penyakit paru secara dini dan mandiri sehingga bisa mencegah penyakit paru yang diderita menjadi kronis. Penyakit paru yang di deteksi ada 7 macam yaitu asma, tuberkulosis, pneumonia, bronkitis, kanker paru, emfisema, dan pleuritis. Pada penelitian ini dianalisis seluruh gejala primer dari penyakit paru dan dibuat peluangnya. Dari berbagai peluang tersebut kemudian dihitung faktor kepastiannya. Selanjutnya nilai nilai inilah yang dirancang untuk membuat peluang munculnya suatu jenis penyakit paru dengan menggunakan metoda bayesian network.

Dari hasil pengujian dan analisis sistem diperoleh hasil bahwa aplikasi pendeteksi dini dan mandiri penyakit paru yang telah dirancang berjalan dengan baik. Hasil diagnosis penyakit paru yang dilakukan dengan menggunakan *bayesian network* bila dibandingkan dengan dengan hasil diagnosis yang dilakukan oleh dokter atau pakar penyakit paru menghasilkan kesimpulan persentase kebenaran sistem sebesar 81,57 %. Kelebihan dari sistem ini adalah dapat mengetahui probabilitas seseorang menderita penyakit paru.

Abstract— In this research, we described an application of lung disease detection symptoms base on bayessian network by android mobile phone. The aim of this research is to make one user possible to detect lung disease early and independently . Someone can prevent lung disease in chronic pain became friendly . There are 7 kinds of lung disease analyzed in this research : asthma , tuberculosis , pneumonia , bronchitis , lung cancer , emphysema , and pleurisy . The probability of each lung disease symptoms was determined to analyze its certainty factor. The value factor is used to determine the probability occurrence of one type of lung disease. .

The results showed that the application system of early detection and self pulmonary disease has been designed to run properly . The diagnosis of pulmonary diseases carried

by the expert system with the diagnosis made by the

doctor or lung disease expert conclusions percentage yield of 81.57 % correctness systems. This systems can determine the probability of a person suffering from the disease.

Kata kunci : *penyakit paru, bayesian network, , probabilitas*

I. PENDAHULUAN

Bidang kedokteran saat ini juga telah memanfaatkan teknologi untuk membantu peningkatan pelayanan yang lebih baik kepada masyarakat luas. Pekerjaan yang sangat sibuk dari seorang dokter mengakibatkan bidang sistem pakar mulai dimanfaatkan untuk membantu seorang pakar atau ahli dalam mendiagnosa berbagai macam penyakit. Sistem pakar merupakan sistem berbasis komputer dengan menggunakan pengetahuan, fakta, dan teknik penalaran dalam memecahkan masalah yang biasanya hanya dapat dipecahkan oleh seorang pakar dalam suatu bidang. Bisa dikatakan bahwa orang awam pun bisa memiliki keahlian seperti seorang pakar dengan bantuan perangkat lunak sistem pakar[1]. Maka mengemas sistem pakar ini dalam bentuk *mobile* yaitu HP Android merupakan pilihan yang tepat untuk menjawab kebutuhan masyarakat dalam mendapatkan informasi dengan waktu yang cepat dan bisa di mana saja. Dengan demikian diharapkan masyarakat mendapatkan pelayanan kesehatan secara merata khususnya dibidang penyakit paru

Penggunaan sistem pakar telah banyak digunakan untuk mendeteksi berbagai penyakit secara cepat. Seperti menggunakan metoda *Variable Centered Intelligent Rule System (VCIRS)* [2], atau aplikasi sistem pakar untuk mendeteksi penyakit hepatitis[3][4] dan mata [5][6]. Di samping itu juga dapat dimanfaatkan penyuluhan dalam bentuk portal[7]. Portal ini digunakan hanya untuk memberikan pengetahuan kepada masyarakat mengenai berbagai jenis penyakit infeksi. Pembahasannya fokus pada pemenuhan kebutuhan masyarakat akan informasi tersebut melalui media portal. Namun, keseluruhan penelitian di atas tidak menjelaskan probabilitas kemungkinan seseorang menginap suatu penyakit tertentu.

Penelitian ini mencoba membuat sistem pakar untuk mendiagnosis penyakit paru dengan menggunakan metode *bayesian network*. Metode ini memiliki keunggulan dalam merepresentasikan hubungan sebab akibat di antara variabel-variabel yang terdapat pada struktur *bayesian network*. *Bayesian network* dapat digunakan untuk menghitung probabilitas dari kemunculan berbagai gejala penyakit untuk kemudian memperkirakan tingkat kemunculannya. Inilah perbaikan dari sistem sebelumnya, Penelitian ini membahas tujuh jenis penyakit paru yaitu : asma, tuber colosis -paru, pneumonia, bronkitis, kanker paru, emfisema, bronkitis, dan pleuritis.

II. BAYESIAN NETWORK

Bayesian network dapat merepresentasikan hubungan sebab akibat antara variabel-variabel yang terdapat pada struktur *bayesian network* [8]. Sebagai contoh, sebuah *bayesian network* dapat mewakili hubungan probabilitas antara penyakit dan gejala. *Bayesian network* dapat digunakan untuk menghitung probabilitas dari kehadiran berbagai gejala penyakit

A. Struktur Bayesian Network

The *Bayesian network* terdiri dari dua bagian utama, yaitu struktur *graf* dan himpunan parameter. Struktur *graf bayesian network* disebut dengan *directed acyclic graph* (DAG) yaitu *graf* berarah tanpa siklus berarah [9]. DAG terdiri dari *node* dan *edge*. *Node* merepresentasikan variabel acak dan *edge* merepresentasikan adanya hubungan kebergantungan langsung (dapat pula diinterpretasikan sebagai pengaruh (sebab-akibat) langsung antara variabel yang dihubungkannya). Tidak adanya *edge* menandakan adanya hubungan kebebasan kondisional di antara variabel. Adapun himpunan parameter mendefinisikan distribusi probabilitas kondisional untuk setiap variabel. Pada *bayesian network*, *node* berkorespondensi dengan variabel acak. Tiap *node* diasosiasikan dengan sekumpulan peluang bersyarat, $p(x_i|A_i)$ dimana x_i adalah variabel yang diasosiasikan dengan *node* dan A_i adalah set dari *parent* dalam *graf*.

Dalam membangun *bayesian network*, struktur dibangun dengan pendekatan statistik yang dikenal dengan teorema bayes yaitu *conditional probability* (peluang bersyarat). *Conditional probability* yaitu perhitungan peluang suatu kejadian Y bila diketahui kejadian X telah terjadi, dinotasikan dengan $P(Y|X)$. Teorema ini digunakan untuk menghitung peluang suatu set data untuk masuk ke dalam suatu kelas tertentu berdasarkan inferensi data yang sudah ada. Dalam kaitan dengan diagnosis penyakit paru, X dapat mengacu pada gejala penyakit paru dan Y adalah jenis penyakit paru

B. Struktur Bayesian Network

Ada enam buah langkah langkah yang digunakan dalam membentuk *bayesian network* ini :

- Membangun struktur *bayesian network* penyakit paru berdasarkan data gejala dan data penyakit yang diperoleh dari proses akuisisi pengetahuan
- Perancangan *inference engine* yang merupakan proses pengambilan keputusan terhadap konsultasi yang terjadi dan proses penalaran pada basis pengetahuan yang dimilikinya. *Inference engine* yang dipakai dalam penelitian ini adalah *forward chaining* di mana hal yang dilakukan pertama kali adalah pencocokkan fakta atau pernyataan untuk menguji kebenaran hipotesis. Sistem menerima keluhan yang dialami user lalu keluhan itu diproses melalui pengecekan rule. Terdapat 32 rule yang didisain pada penelitian ini.

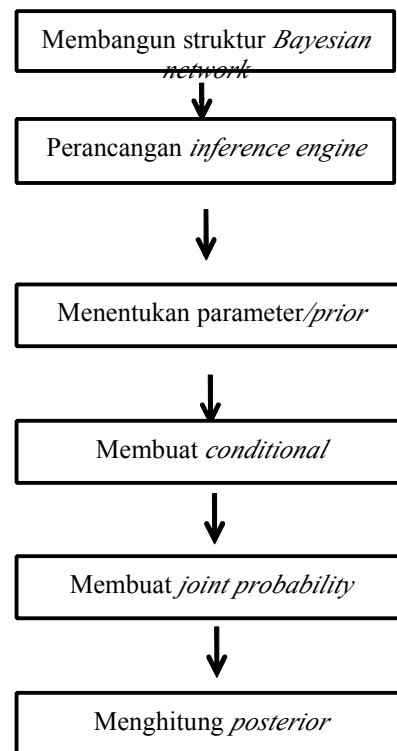
- Menentukan nilai *prior probability* dari setiap gejala, yaitu derajat kepercayaan terhadap suatu gejala. *Prior probability* digunakan ketika tidak ada informasi lain yang dapat digunakan untuk melihat kemungkinan suatu *event* terjadi, tetapi begitu informasi baru diketahui maka probabilitas yang baru harus dilihat berdasarkan informasi yang baru diketahui tersebut.
- Menentukan *conditional probability* yaitu probabilitas suatu event A terjadi apabila event B sudah terjadi. Dalam hal ini, A adalah munculnya penyakit paru, sedangkan B adalah gejala yang sudah muncul.
- Selanjutnya dihitung kemunculan bersama untuk semua kombinasi kemungkinan nilai-nilai yang terdapat pada variabel A dan B yang disebut disebut *joint probability distribution* (JPD). Notasi $P(A,B)$ dapat ditulis dalam persamaan:

$$P(A,B) = P(A|B) P(B) \quad (1)$$

$P(A|B)$ adalah peluang munculnya kejadian A setelah ada kejadian B .

$P(B)$ adalah peluang munculnya kejadian B. Dalam hal ini kejadian B adalah gejala penyakit paru.
- Langkah terakhir adalah menghitung hasil JPD yang diperoleh. Nilai inilah yang digunakan untuk menghitung probabilitas kemunculan suatu gejala Langkah ini disebut *posterior probability*.

Keenam plangkah tersebut dijelaskan pada gambar berikut :



Gambar 1. Langkah-langkah Penerapan Bayesian Network

III. METODA PENELITIAN

A. Akurasi Input Gejala

Pertama tama dilakukan inventaris gejala penyakit paru untuk 7 jenis penyakit paru. Terdapat 32 jenis gejala penyakit paru yang umum diderita oleh pasien yang detainya dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini: [10]

TABEL 1:GEJALA PENYAKIT PARU

No	Gejala Penyakit Paru		
	Gejala	No	Gejala
1	Batuk lebih dari 2 minggu	17	Benjolan di pangkal leher
2	Batuk darah	18	Sembab muka dan leher, disertai sembab lengan dengan rasa nyeri
3	Batuk produktif terutama malam hari	19	Penurunan nafsu makan dan berat badan yg drastis hanya dlm berapa bulan
4	Batuk sering dan lendir	20	Nyeri pada tulang bahkan keropos
5	Batuk disertai dahak, 3 bulan berturut2	21	Rasa tidak nyaman pada hati
6	Batuk berdahak atau tanpa dahak (dahak putih, dapat juga purulen)	22	Sesak nafas
7	Batuk berdahak, dahak bisa berubah warna, hijau-kuning, bahkan berdarah	23	bunyi menciut (saat menghembuskan nafas)
8	Badan lemas	24	nafas atau dada seperti tertekan
9	Berat badan menurun	25	Sesak nafas yg sangat disertai nyeri dada pada sisi paru yg sakit
10	Nafsu makan menurun	26	suara menciut-ciut ketika bernafas dan disertai demam
11	Demam hilang timbul	27	nafasnya pendek2, dada bisa terasa nyeri
12	Berkeringat di malam hari tanpa kegiatan fisik	28	suara serak
13	Kekurangan tenaga	29	sakit dada
14	Penurunan nafsu makan (karena sesak nafas)	30	memiliki riwayat alergi
15	Kelelahan	32	demam yang tidak terlalu tinggi dan flu
16	Influenza, diikuti demam yg tinggi	32	memiliki riwayat perokok berat sejak 25 tahun

Dari pengisian kuesioner yang disebarakan terhadap 20 pasien yang teridentifikasi dan 10 orang paramedis didapatkan kesimpulan bahwa gejala-gejala yang terdapat pada tabel 1 semuanya berpengaruh pada ke tujuh penyakit paru yaitu asma, tuberkulosis, pneumonia, bronkitis, kanker paru, emfisema, dan pleuritis

Kemudian dilakukan poses wawancara dengan 4 (empat) orang pakar untuk mendapatkan data yang akurat berdasarkan pengalaman dokter di lapangan. Para pakar terdiri dari dua orang dokter spesialis paru dan dua orang dokter penyakit dalam. Wawancara lebih ditekankan untuk mengetahui penyakit ataupun gejala apa saja yang sering dikeluhkan oleh pasien. Selain itu, wawancara juga

dilakukan setelah program selesai dibuat untuk memvalidasi tingkat keakuratan dari suatu diagnosis. Dari hasil wawancara ini, masing masing gejala diklasifikasi menjadi tiga kelompok dan diberikan rentang nilai :

TABEL 2:NILAI DARI GEJALA

No	Nilai Gejala Penyakit Paru		
	Gejala	Nilai Angka	Nilai yang dipilih
1	Gejala Primer/ Gejala Utama	0,7 – 0,95	0,7
2	Gejala Sekunder/Sedang	0,3 – 0,7	0,3
3	Gejala Ringan	0,01 – 0,3	0,01

B. Pengembangan Perangkat Lunak

Setelah input gejala diidentifikasi, selanjutnya ditentukan nilai *prior probability* yang didapatkan dari hasil kuesioner yang diisi oleh 2 orang pakar penyakit paru dan 2 orang dokter penyakit dalam dengan memberikan bobot. Bobot yang diberikan oleh para pakar dibuat klasifikasinya yaitu : probabilitas nilai gejala penyakit 70% diambil dari dokter spesialis penyakit paru dan 30% dari dokter spesialis penyakit dalam. Hal ini bisa dilihat pada tabel berikut :

TABEL 3 RENTANG NILAI PRIOR PROBABILITY

No	Nilai Gejala Penyakit Paru		
	Gejala	Nilai Dokter Sp.Penyakit Paru	Nilai Dokter Sp Penyakit Dalam
1	Gejala Primer/ Gejala Utama	0.35	0.15
2	Gejala Sekunder/Sedang	0.25	0.1
3	Gejala Ringan	0.1	0.05

Dari nilai para pakar ini ditentukan *prior probability* setiap gejala. Misalkan untuk gejala batuk lebih dari 2 minggu pada penyakit adalah asma menurut dua orang dokter penyakit paru dan satu orang penyakit dalam adalah gejala primer sedangkan menurut seorang lagi dokter penyakit dalam adalah gejala sekunder. Maka nilai *prior probability* untuk gejala batuk lebih dari 2 minggu adalah : $0.35 + 0.35 + 0.1 + 0.15 = 0.9$

Selanjutnya ditentukan nilai *conditional probability* yaitu probabilitas suatu event B terjadi apabila event A sudah terjadi. Nilai *conditional probability* menunjukkan probabilitas kehadiran dan ketidak hadirannya penyakit paru Seluruh nilai nilai ini didapat dari para pakar. Dari nilai nilai *conditional probability* ini kemudian ditentukan nilai *joint probability distribusinya*. Misalkan untuk sesak nafas memiliki nilai probabilitas kehadiran 0,65 pada gejala primer dan memiliki nilai probabilitas ketidak hadirannya 0.3 pada gejala sedang. Maka joint probability distribusinya untuk distribusinya adalah perkalian nilai nilai ini dengan batas pada tabel 2 yaitu : $0,65 \times 0.7 = 0,45$ untuk kehadiran dan $0,3 \times 0,3 = 0,09$ untuk ketidak hadirannya. Kemudian didapatkan nilai *posterior probabilitynya* dengan ketentuan :

$$\text{Posterior} = [\text{Prb. Nilai kehadiran}/(\text{Nilai total})] \quad (2)$$

Dalam contoh di atas maka nilai *posterior probability* adalah : $0,45/(0,45+0,09) = 0,85$. Nilai nilai *posterior probability* dari seluruh gejala dapat dilihat pada tabel 4.

TABEL 4 NILAI POSTERIOR PROBABILITY UNTUK 32 GEJALA PENYAKIT PARU

No	TB	As	Pn	Br	KP	Ef	PI
1	1	0.99	0.80	0.80	0.99	0.07	0.99
2	0.99	0.16	0.99	0.99	0.99	0.02	0.47
3	0.69	0.99	0.16	0.55	0.11	0.04	0.11
4	0.80	0.99	0.84	0.99	0.99	0.04	0.75
5	0.63	0.84	0.55	0.99	0.75	0.07	0.07
6	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.16	0.99
7	1	0.02	1	0.99	0.99	0.04	0.55
8	0.99	0.39	0.99	0.63	0.99	0.04	0.02
9	1	0.07	0.07	0.78	1	0.04	0.55
10	1	0.07	0.39	0.55	1	0.07	0.80
11	1	0.02	0.55	0.69	0.99	0.07	0.99
12	1	0.02	0.02	0.02	1	0.02	0.69
13	1	0.47	0.16	0.39	0.99	0.04	0.69
14	1	0.55	0.80	0.39	0.80	0.75	0.80
15	0.99	0.80	0.80	0.16	0.80	0.04	0.63
16	0.02	0.63	0.99	1	0.12	0.02	0.07
17	0.80	0.02	0.02	0.02	0.69	0.02	0.02
18	0.04	0.02	0.02	0.02	1	0.02	0.02
19	0.99	0.02	0.02	0.02	1	0.02	0.69
20	0.07	0.04	0.02	0.02	1	0.02	0.02
21	0.39	0.02	0.02	0.02	0.69	0.02	0.11
22	0.47	0.80	0.99	0.47	0.99	1	1
23	0.02	1	0.07	0.02	0.02	1	0.69
24	0.63	0.99	0.07	0.07	0.99	0.99	0.75
25	0.02	0.69	0.99	0.47	0.99	0.80	1
26	0.02	0.55	0.02	0.02	0.02	0.99	0.69
27	0.55	0.99	0.99	0.47	0.36	0.69	1
28	0.80	0.39	0.02	0.16	1	0.02	0.02
29	0.99	0.02	0.55	0.55	1	0.69	1
30	0.02	0.80	0.02	0.02	0.02	0.47	0.02
31	0.39	0.55	0.11	0.80	0.55	0.02	0.55
32	0.55	0.55	0.02	0.39	0.75	1	0.11

Keterangan : TB = tuberculosis, As = Asma, Pn + Pneumonia, Br Bronkitis, KP= Kanker Paru, Ef=Emfisema,PI =Pleuritis

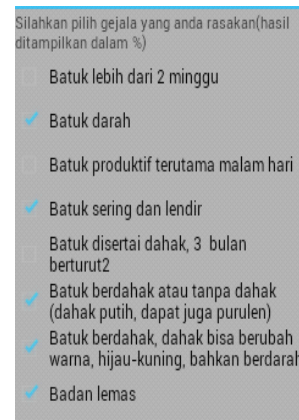
Nilai nilai inilah yang dijumlahkan dan dibagi dengan sebanyak gejala yang dipilih oleh user. Lalu dibuat dalam

program android sehingga nantinya dapat diaplikasikan secara mobile dengan menggunakan *handphone*.

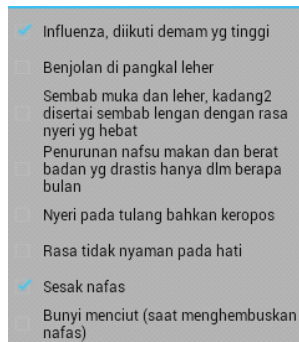
IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Tampilan Menu Input Gejala dan Hasil Diagnosa

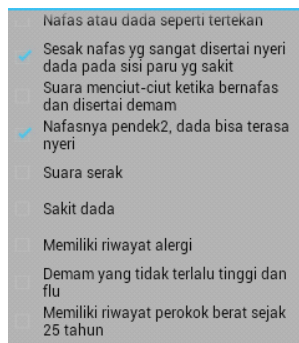
Pada saat memilih menu diagnosa, akan tampil form yang berisikan 32 gejala dari penyakit paru. Lalu sistem diujikan kepada 15 orang user. Masing masing *user* memilih gejala yang dirasakannya untuk diproses oleh sistem mengenai penyakit yang dideritanya tersebut.. Tampilan hasilnya dapat dilihat pada gambar berikut ini :



(a)



(b)

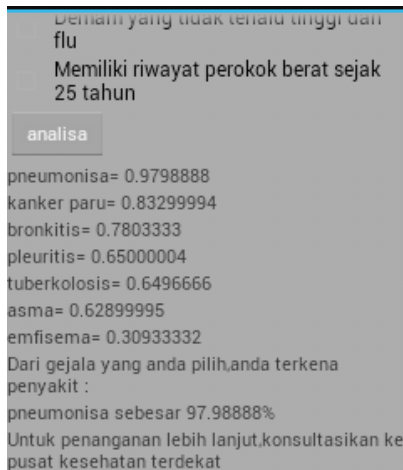


(c)

Gambar 2(a)(b)(c). Tampilan menu input gejala pada Android user

Selanjutnya, sistem akan mengolah data yang masuk berdasarkan input gejala yang diinputkan serata

menghitung *probability bayesian network*. Berikut tampilan outputnya :



Gambar 3. Tampilan menu analisis

Pengujian sistem yang telah dibuat menyimpulkan bahwa gejala gejala yang diinputkan menghasilkan kemungkinan tertinggi user menderita penyakit pneomonisa sebesar 0,9799 atau 97,99%.

B. Pengujian

Pengujian sistem yang telah dibuat kemudian dibandingkan dengan pendapat para pakar pada gejala yang sama. Di sini kita melakukan pengujian kasus kasus yang ada. Sebanyak 2 kasus penyakit paru secara acak diuji cobakan. Ada dua contoh yang dipaparkan dalam paper ini. Contoh pertama adalah gejala pada penderita asma. Hasilnya dibandingkan dengan pendapat 2 orang dokter spesialis penyakit paru dan 2 orang dokter penyakit dalam. Hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut :

TABEL 4 PENGUJIAN HASIL DENGAN PAKAR PADA PENYAKIT ASMA

Gejala yang diinputkan	Kesimpulan menurut Pakar	Hasildengan probabilitas tertinggi pada sistem aplikasi
Batuk produktif terutama malam hari	Asma	Asma 0,87757146 atau 87,75 %
Batuk sering dan lendir		
Sesak nafas		
bunyi menciut (saat menghembuskan nafas)		
nafas atau dada seperti tertekan		
suara menciut-ciut ketika bernafas dan disertai demam		
Memiliki riwayat alergi		

Contoh kedua adalah gejala pada penderita TBC.. Hasilnya juga dibandingkan dengan pendapat 2 orang dokter spesialis penyakit paru dan 2 orang dokter penyakit dalam. Hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut :

TABEL 5. PENGUJIAN HASIL DENGAN PAKAR PADA PENYAKIT ASMA

Gejala yang diinputkan	Kesimpulan menurut Pakar	Hasildengan probabilitas tertinggi pada sistem aplikasi
Batuk lebih dari 2 minggu	Tuberkulosis	Tuberkulosis 0,9282308 atau 92,82 %
Batuk darah		
Batuk berdahak, dahak bisa berubah warna, hijau-kuning, bahkan berdarah		
Badan lemas		
Berat badan menurun		
Nafsu makan menurun		
Demam hilang timbul		
Berkeringat di malam hari tanpa kegiatan fisik		
Kekurangan tenaga		
Benjolan di pangkal leher		
Penurunan nafsu makan dan berat badan yg drastis hanya dlm berapa bulan		
Sesak nafas		
Suara Serak		

Dari dua contoh ini kita dapatkan bahwa sistem menghasilkan kesimpulan yang sama dengan pakar.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Pengujian *input* dan *output* sistem pakar yang berfungsi untuk mengetahui kinerja aplikasi dari sistem telah sesuai dengan yang diinginkan
2. Perbandingan hasil sistem pakar dan hasil dari pakar berdasarkan analisis pengujian menghasilkan kesimpulan untuk deteksi penyakit yang sama dan sistem pakar dapat menentukan probabilitas seseorang menderita penyakit tersebut.
3. Pengujian metode bayesian network dari perbandingan hasil perhitungan aplikasi dari 38 pengujian terdapat 7 kesalahan diagnosa penyakit sehingga tingkat kebenaran diagnosa sebesar 81,57 %.

REFERENSI

[1] Wenny Widiastuty, Dini Destiani, Dhami Johar Damiri."Aplikasi Sistem Pakar Deteksi Dini pada Penyakit Tuberkulosis". Tugas Akhir : Sekolah Tinggi Teknologi Garut.

- [2] Andrianyah. "Pembangunan Sistem Pakar Berbasis Website untuk Diagnosis Penyakit Paru dengan Metode Variable Centered Intelligent Rule System(VCIRS)", Tugas Akhir: Universitas Andalas.2012
- [3] Agnieszka Onisko, M.S. dkk, "A Bayesian Network Model for Diagnosis of Liver Disorders", Research Report CBMI-99-27, Center for Biomedical Informatics, University of Pittsburgh, September 1999
- [4] Rahmat Mizar. "Aplikasi Metode Bayesian Network sebagai Sistem Pakar dalam Mendiagnosis Penyakit Hepatitis Berbasis Mobile Application". Tugas Akhir :Universitas Andalas. 2011
- [5] Hamdani. "Sistem Pakar Untuk Diagnosa Penyakit Mata Pada Manusia" Samarinda : Tugas Akhir Universitas Mulawarman. 2010
- [6] Stefano Cecon,"Extending Bayesian Network Models for Mining and Classification ofGlaucoma" Dissertation, School of Information Systems, Computing and Mathematics, Brunel University, April 2013
- [7] Rahmadi Wijaya. "Penggunaan Sistem Pakar dalam Pengembangan Portal Informasi untuk Spesifikasi Jenis Penyakit Infeksi".2007
<http://majour.maranatha.edu/index.php/jurnalinformatika/article/view/265/pdf> diakses tanggal 18 maret 2013 pukul 17.48 WIB
- [8] Pardos, Z. A., Heffernan, N. T. (2010) Modeling Individualization in a Bayesian Networks Implementation of Knowledge Tracing. In Proceedings of the 18th International Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization. pp. 255-266. Big Island, Hawaii.
- [9] Variq, Surya Sumpeno, Moch. Hariadi,Purnama."Sistem Tutor Cerdas Menggunakan Metode Bayesian Network" Tugas Akhir : Institut Teknologi Sepuluh Nopember 2011
- [10] Anonim <http://website.sunhope.co.id/> dan pengetahuan pakar dr.Emdas Yahya, dr. Marwan, Sp.P, dr. Dedi Rinaldi, Sp.P dan dr. Dedi Herman, Sp.P)

Pengenalan Kata dengan Metode Linear Predictive Coding dan Jaringan Syaraf Tiruan Pada Mobile Robot

Irmawan¹, Hera hikmarika¹, Desi Windi Sari¹ dan M. Chaerul Tammimi²

¹ Staf Pengajar Teknik Elektro Universitas Sriwijaya

² Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Sriwijaya

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Jalan Raya Prabumulih Km 32, Inderalaya, 30662, Indonesia
e-mail : irmawan.unsri@gmail.com

Abstract—Speech recognition is one of the applications in signal processing. The growth of speech recognition technology gives the possibility of human-robot interaction. Human-robot interaction though the speech can be implemented to mobile robot. The robot should be able to obey the orders given to it by human being. Firstly, Linear Predictive Coding (LPC) and Fast Fourier Transform (FFT) algorithm are used to recognize the speech pattern. Next, backpropagation neural network is used in the pattern classification and recognition. In this system, there are two main hardware components; personal computer (PC) and firefighting robot. Hence, serial communication over Bluetooth transmission is needed to connect them. Microphone is used as the voice input device. There are six words that become the voice input; *maju*, *mundur*, *kanan*, *kiri*, *kipas* and *stop*. ATMega8535 microcontroller is used for data acquisition from PC. Based on the testing result, the trained operator is better than untrained operator for speech recognition. Synchronization between the voice commands and the response shows good result, the robot can recognize 88.7% voice commands correctly.

Keywords : Mobile robot, Voice Recognition, Linear Predictive Coding, Neural Network, Backpropagation, Fast Fourier Transform.

Abstrak—Teknologi pengolahan sinyal telah berkembang amat pesat pada era modern ini, salah satu teknologi yang dihasilkan adalah teknologi pengenalan ucapan. Dengan teknologi ini diharapkan manusia dapat berinteraksi langsung dengan robot/mesin layaknya antar sesama manusia. Oleh karena itu, dengan menerapkan teknologi tersebut pada Mobile robot diharapkan robot tersebut melakukan aksi sesuai dengan perintah yang diucapkan operator. Algoritma pengenalan ucapan ini digunakan metode Linear Predictive Coding (LPC) dan Fast Fourier Transform (FFT) untuk mengeluarkan pola ucapan setiap kata. Sedangkan klasifikasi dan pengenalan pola menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagasi. Pada perancangan perangkat keras terdiri dari dua bagian yaitu PC (Personal Computer) dan Robot Pemadam Api, sehingga untuk menghubungkan kedua

bagian ini digunakan komunikasi serial dengan jalur transmisi Bluetooth. PC yang terhubung microphone digunakan sebagai tempat memasukkan ucapan dan pemrosesan pengenalan ucapan yang meliputi enam buah kata yaitu maju, mundur, kanan, kiri, kipas, dan stop. Sedangkan, pada bagian mobile robot ini digunakan mikrokontroler ATMega8535 sebagai pengakuisisi data yang dikirimkan oleh PC. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pengenalan ucapan pada operator yang dilatih jauh lebih baik daripada operator diluar data latih. Sinkronisasi perintah ucapan dan gerak robot didapati hasil yang cukup baik yakni dapat mengenali 88.87% ucapan dengan tepat.

Kata Kunci : Mobile Robot, Pengenalan Ucapan, Linear Predictive Coding, Jaringan Syaraf Tiruan, Backpropagasi, Fast Fourier Transform.

I. PENDAHULUAN

Teknologi pengolahan sinyal telah berkembang sangat pesat pada era modern ini, yang mana salah satu teknologi yang dihasilkan adalah teknologi pengenalan ucapan. Dengan teknologi ini diharapkan manusia dapat berinteraksi langsung dengan robot/mesin layaknya antar sesama manusia. Oleh karena itu, dengan menerapkan teknologi tersebut pada Mobile robot diharapkan robot tersebut melakukan aksi sesuai dengan perintah yang diucapkan operator.

Ada beberapa permasalahan yang harus diatasi untuk mengimplementasikan Pengenalan Ucapan ini sebagai penggerak robot supaya dapat bekerja dengan baik seperti derau (*noise*), frekuensi ucapan yang berubah-ubah, menangkap pola kata yang diucapkan, mengklasifikasikan kata-kata yang diucapkan tersebut dan sebagainya [1].

Proses Pengenalan Ucapan ini membutuhkan suatu metode untuk mengekstraksi ciri setiap kata yang diucapkan yaitu dengan menggunakan metode *Linear Predictive Coding* (LPC) dan *Fast Fourier Transform* (FFT). Sedangkan untuk pengenalan pola digunakan sistem kepakaran berupa Jaringan Syaraf Tiruan

(Artificial Neural Network) dengan proses Pembelajaran Terawasi (*Supervised Learning*) *Backpropagation*.

Adapun tujuan penelitian ini yaitu merancang dan membuat Mobile robot dengan Pengendali Ucapan agar dapat melakukan aksi sesuai dengan perintah ucapan yang diberikan.

A. LPC (Linier Predictive Coding)

Linear Predictive Coding (LPC) sangat luas digunakan untuk pengenalan ucapan disebabkan beberapa keuntungan yaitu pertama, LPC menyediakan pemodelan yang bagus untuk sinyal ucapan (*speech signal*), hal ini terutama untuk bagian *voiced* dimana pemodelan *all pole model* LPC menghasilkan pendekatan selubung spektral jalur vokal (*vocal track spectral envelope*) yang baik, sedangkan untuk bagian *unvoiced*, pemodelan LPC ini tidak seefektif sebelumnya tapi masih dapat digunakan untuk keperluan pengenalan ucapan. Kedua, LPC dapat dengan mudah dan langsung diterapkan baik secara perangkat lunak maupun perangkat keras, sebab perhitungan matematis yang dilibatkan relatif lebih singkat dari metode-metode yang dikenal sebelumnya seperti *filter bank*. Ketiga, hasil pengenalan ucapan yang didapat dengan menerapkan LPC cukup baik bahkan lebih baik dari metode-metode yang dikenal sebelumnya [2].

Langkah-langkah analisis LPC untuk pengenalan ucapan adalah:

1. **Preemphasis.** Pada langkah ini, cuplikan kata dalam bentuk *digital* ditapis dengan menggunakan *FIR filter* orde satu untuk meratakan spektral sinyal kata yang telah dicuplik tersebut. Persamaan *preemphasizer* yang paling umum digunakan ialah :

$$\tilde{s}(n) = s(n) - \tilde{\alpha}s(n - 1) \tag{1}$$

dimana harga untuk $\tilde{\alpha}$ yang paling sering digunakan ialah 0,95. Sedangkan untuk implementasi *fixed point*, harga $\tilde{\alpha}$ ialah 15/16 atau sama dengan 0,9375.

2. **Frame Blocking.** Pada tahap ini sinyal kata yang telah teremphasized, $\tilde{s}(n)$ dibagi menjadi frame-frame dengan masing-masing frame memuat N cuplikan kata dan frame-frame yang berdekatan dipisahkan sejauh M cuplikan, semakin $M \ll N$ semakin baik perkiraan spektral LPC dari frame ke frame.
3. **Windowing.** Pada langkah ini dilakukan fungsi *weighting* pada setiap frame yang telah dibentuk pada langkah sebelumnya dengan tujuan untuk meminimalkan *discontinuities* pada ujung awal dan ujung akhir setiap frame yaitu dengan men-*taper* sinyal menuju nol pada ujung-ujungnya. Tipikal *window* yang digunakan pada metode autokorelasi LPC adalah *Hamming window* yang memiliki bentuk

$$w(n) = 0,54 - 0,46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \tag{2}$$

$$0 \leq n \leq N - 1$$

4. **Analisa Autokorelasi.** Pada tahap ini masing-masing frame yang telah di *windowing* diautokorelasikan untuk mendapatkan :

$$r_i(m) = \sum_{n=0}^{N-1-m} \tilde{x}_i(n)\tilde{x}_i(n+m) \tag{3}$$

dimana nilai autokorelasi yang tertinggi pada $m=p$ adalah orde dari analisa LPC, biasanya orde LPC tersebut 8 sampai 16. Autokorelasi ke-0 melambangkan energi dari frame yang bersangkutan dan ini merupakan salah satu keuntungan dari metode autokorelasi.

5. **Analisa LPC.** Langkah selanjutnya adalah analisa LPC, dimana pada tahap ini $p+1$ autokorelasi pada setiap frame diubah menjadi satu set LPC parameter yaitu koefisien LPC, koefisien pantulan (*reflection coefficient*), koefisien perbandingan daerah logaritmis (*log area ratio coefficient*) Salah satu metode untuk melakukan hal ini ialah metode Durbin yang dinyatakan dalam algoritma dibawah ini :

$$E^{(0)} = r(0)$$

$$k_i = \frac{\left\{r(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j^{(i-1)} r(|i-j|)\right\}}{E^{(i-1)}}, 1 \leq i \leq p \tag{4}$$

$$\alpha_i^{(i)} = k_i$$

$$\alpha_j^{(i)} = \alpha_j^{(i-1)} - k_i \alpha_{i-j}^{(i-1)}, 1 \leq j \leq i - 1 \tag{5}$$

$$E^i = (1 - k_i^2)E^{(i-1)} \tag{6}$$

Persamaan diatas direkursi untuk $i=1,2,\dots,p$ dan penyelesaian akhirnya berupa :

$$a_m = \text{koefisien LPC} = \alpha_m^{(p)}, 1 \leq m \leq p$$

k_m = koefisien PARCOR (koefisien pantulan)

g_m = koefisien perbandingan daerah logaritmis

$$= \log\left(\frac{1-k_m}{1+k_m}\right)$$

6. **Mengubah LPC Parameter ke Koefisien Cepstral.** Sekelompok LPC parameter yang sangat penting yang dapat diperoleh dari penurunan koefisien LPC adalah koefisien cepstral $c(m)$. Persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien cepstral ini ialah :

$$c_m = a_m + \sum_{k=1}^{m-1} \left(\frac{k}{m}\right) c_k a_{m-k}, 1 \leq m \leq p$$

$$c_m = \sum_{k=1}^{m-1} \left(\frac{k}{m}\right) c_k a_{m-k}, m > p \tag{7}$$

B. Fast Fourier Transform (FFT)

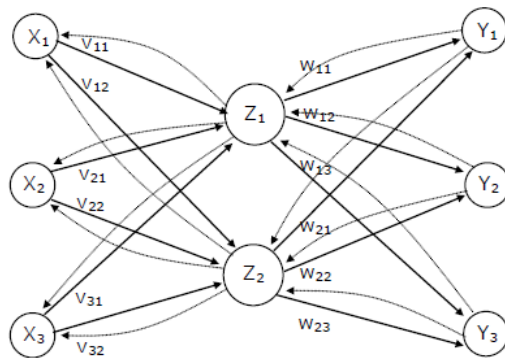
Walaupun DFT adalah prosedur matematika yang paling tepat untuk menentukan isi frekuensi dari berbasis-waktu, namun penggunaannya tidak efisien. Ketika jumlah cuplikan dalam DFT bertambah, maka perhitungannya akan bertambah jauh lebih banyak. Pada tahun 1965, ilmuwan Cooley dan Tukey menciptakan

suatu algoritma yang sangat efisien dalam mengimplementasikan DFT. Algoritma itu dikenal dengan nama *Fast Fourier transform* (FFT). Dalam perkembangannya, ada berbagai macam algoritma yang dikembangkan untuk FFT ini, namun yang akan dipakai adalah algoritma FFT radix-2 [4].

Algoritma FFT radix-2 sangat efisien ketika menghitung DFT dengan batasan adalah ukuran dari DFT haruslah dalam bentuk perpangkatan dari 2 ($N = 2^k$).

C. Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation

Werbos memperkenalkan algoritma *backpropagation* Pada tahun 1974. *Backpropagation* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuran yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma *backpropagation* menggunakan error output untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Untuk mendapatkan error ini, tahap perambatan maju (*forward propagation*) harus dikerjakan terlebih dahulu. Pada saat perambatan maju, neuron-neuron diaktifkan dengan menggunakan fungsi aktivasi sigmoid. Arsitektur jaringan *backpropagation* seperti terlihat pada gambar di bawah ini [3], [4].



Gambar 1. Arsitektur jaringan *Backpropagation*

Algoritma *Back Propagation*:

1. Inisialisasi bobot (ambil bobot awal dengan nilai random yang cukup kecil).
2. Kerjakan langkah-langkah berikut selama kondisi berhenti bernilai FALSE.

Untuk tiap-tiap pasangan elemen yang akan dilakukan pembelajaran, kerjakan :

Feedforward :

- a. Tiap-tiap unit input ($X_i, i = 1,2,3,\dots,n$) menerima sinyal x_i dan lapisan meneruskan sinyal tersebut ke semua unit pada lapisan yang ada di atasnya (lapisan tersembunyi).
- b. Tiap-tiap unit tersembunyi ($Z_j, j = 1,2,3,\dots,p$) menjumlahkan sinyal-sinyal input terbobot :

$$z_in_j = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \tag{8}$$

gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal outputnya

$$z_j = f(z_in_j)$$

dan kirimkan sinyal tersebut ke semua unit di lapisan atasnya (unit-unit output).

- c. Tiap-tiap unit output ($Y_k, k = 1,2,3,\dots,m$) menjumlahkan sinyal-sinyal input terbobot.

$$y_in_k = w_{0k} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk} \tag{9}$$

gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal outputnya

$$y_k = f(y_in_k)$$

dan kirimkan sinyal-sinyal tersebut ke semua unit dilapisan atasnya (unit-unit output).

Back propagation :

- d. Tiap-tiap unit output ($Y_k, k = 1,2,3,\dots,m$) menerima target pola yang berhubungan dengan pola input pembelajaran, hitung informasi errornya :

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_in_k) \tag{10}$$

Kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai w_{jk}) :

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j \tag{11}$$

Hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai w_{0k}) :

$$\Delta w_{0k} = \alpha \delta_k \tag{12}$$

Kirimkan δ_k ini ke unit-unit yang ada dilapisan bawahnya.

- e. Tiap-tiap unit tersembunyi ($Z_j, j = 1,2,3,\dots,p$) menjumlahkan delta inputnya (dari unit-unit yang ada pada lapisan di atasnya) :

$$\delta_in_j = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \tag{13}$$

Kalikan nilai ini dengan turunan dari fungsi aktivasinya untuk menghitung informasi error :

$$\delta_j = \delta_in_j f'(z_in_j) \tag{14}$$

Kemudian hitung koreksi bobot (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai v_{ij}) :

$$\Delta v_{jk} = \alpha \delta_j x_i \tag{15}$$

Hitung juga koreksi bias (yang nantinya akan digunakan untuk memperbaiki nilai v_{0j}) :

$$\Delta v_{0j} = \alpha \delta_j \tag{16}$$

- f. Tiap-tiap unit output ($Y_k, k = 1,2,3,\dots,m$) memperbaiki bias dan bobotnya ($j=0,1,2,\dots,p$) :

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk} \tag{17}$$

Tiap-tiap unit tersembunyi ($Z_j, j = 1,2,3,\dots,p$) memperbaiki bias dan bobotnya ($i=0,1,2,\dots,n$) :

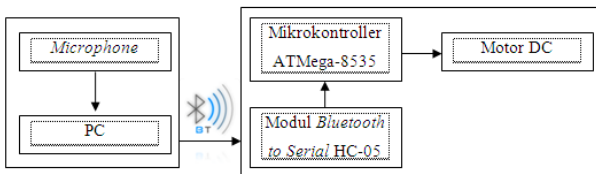
$$v_{jk}(\text{baru}) = v_{jk}(\text{lama}) + \Delta v_{ij} \tag{18}$$

3. Tes kondisi berhenti

II. METODE PENELITIAN

A. Perancangan Hardware

Pada proses perancangan sistem ini meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Pada pengendalian mobile robot ini mula-mula data suara dari operator direkam melalui *microphone* yang kemudian dilakukan proses pengenalan ucapan (*speech recognition*) pada PC. Data yang dihasilkan dari PC tersebut dikirimkan melalui *Bluetooth* ke Modul *Bluetooth to Serial HC-05* yang akan meneruskan data secara serial ke mikrokontroler *ATMega-8535*. Setelah itu, mikrokontroler akan mengirimkan *logic* ke motor DC. Proses sistem pengendalain ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Pengenalan kata pada mobile robot

B. Perancangan Software

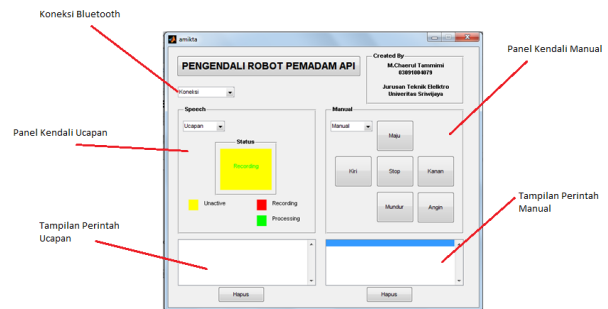
Perancangan *software* pada PC melakukan proses pengenalan ucapan dengan algoritma *Linier Predictive Coding (LPC)* dan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagasi menggunakan *MATLAB 7.8.0.347 (R2009a)*. Selanjutnya pada mikrokontroler dibuat program untuk menerima data serial dari Modul *Bluetooth to Serial HC-05* dan mengendalikan motor sebagai penggerak robot dengan program *Code Vision AVR C Compiler*.



Gambar 3. Diagram alir sistem pengenalan kata pada mobile robot

Diagram alir perancangan *software* pada PC dapat dilihat pada gambar 3, untuk perancangan *hardware* pada mekanik robot ini menggunakan konstruksi dasar berbahan *acrylic* dengan ketebalan 2 mm guna menempatkan komponen-komponen elektronika dan sistem stir menggunakan 2 motor DC yang terhubung dengan roda, serta 1 (satu) roda *caster* guna menyangga bagian depan robot dan mempermudah pergerakan robot. Sedangkan pada sistem elektrikal menggunakan modul *Bluetooth To Serial HC-05* untuk menghubungkan PC dan mobile robot yang bekerja dengan cara menerima data *char* yang dikirim oleh PC, serta digunakan pula driver motor *IC L298* untuk mengendalikan motor sehingga robot dapat beraksi sesuai dengan keinginan.

Setelah dilakukan perancangan program pengenalan ucapan, selanjutnya dirancang sebuah perangkat lunak GUI untuk menghubungkan program pengenalan ucapan dengan operator. Berikut ini adalah tampilan rancangan pada program GUI Pengenalan kata pada mobile robot .



Gambar 4. GUI Pengendali Robot Pemadam Api

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian parameter dan arsitektur jaringan syaraf tiruan terdiri dari 3 (tiga) bagian yaitu pada jumlah *hidden neuron*, nilai *learning rate* dan jumlah *hidden layer*. Adapun pengujian parameter dan arsitektur jaringan syaraf tiruan dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 1. Perbandingan jumlah hidden neuron

Nama Jaringan	Jumlah Neuron Hidden	Epoch	MSE
neuron1	50	6520	8.2548 x 10 ⁻⁴
neuron2	100	4055	7.7155 x 10 ⁻⁴
neuron3	150	3170	6.8705 x 10 ⁻⁴
neuron4	200	3276	0.0114
neuron5	250	3549	0.0033

Tabel 2. Perbandingan nilai learning rate

Pengujian ke	Learning Rate (α)	Epoch	MSE
1	0.1	10000	0.0049
2	0.3	5304	0.0109
3	0.5	3209	0.0072
4	0.7	2491	0.0078
5	0.9	2105	0.0069

Tabel 3. Perbandingan jumlah hidden layer

Pengujian	Jumlah Hidden Layer	Epoch	MSE
layer1	150, 100, 50	4146	0.0022
layer2	150, 50	4571	0.0023
layer3	150	3810	0.0019

Dari keseluruhan jaringan hasil pelatihan dengan parameter dan arsitektur yang berbeda didapatkan bahwa jaringan 'neuron3' memiliki nilai MSE terkecil, sehingga dimungkinkan pula memiliki nilai kesalahan terkecil. Selanjutnya dilakukan pengujian dari jaringan-jaringan yang telah dirancang baik menggunakan data dari operator yang dilatih ataupun tidak dilatih. Data pengenalan ini diambil dengan cara merekam masing-masing kata yang diucapkan dengan pengulangan sebanyak tiga kali untuk setiap kata, sehingga didapatkan data masukan sebanyak 18 data ucapan. Dan untuk data masukan pengenalan jaringan terhadap operator yang tidak dilatih dilakukan oleh seorang pria dewasa. Pengujian pengujian jaringan-jaringan terhadap operator yang dilatih ataupun tidak dilatih dapat dilihat pada Tabel 4. Dan dari Tabel 4, operator yang dilatih memiliki presentase pengenalan terbesar sebesar 88.89 %, Sedangkan operator yang tidak dilatih memiliki presentase pengenalan terbesar sebesar 77.78 %. Adanya perbedaan hasil pengenalan jaringan terhadap operator yang dilatih dan tidak dilatih dikarenakan faktor karakteristik suara yang berbeda antara operator satu dan yang lainnya. Selanjutnya dilakukan pengujian langsung terhadap keseluruhan aplikasi dan mobile robotserta pengukuran waktu *delay* yang dihitung mulai setelah pengucapan hingga dijalankan oleh robot terhadap perintah yang diberikan kepada robot. Analisa dan pengujian ini dilakukan dengan memberikan perintah terhadap robot sebanyak 18 kali secara acak untuk keenam perintah yang telah ditentukan. Untuk hasil pengujian implementasi aplikasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Perbandingan jaringan terhadap operator yang dilatih

Nama Jaringan	Persentase pengenalan	
	Operator yang Dilatih	Operator yang Tidak Dilatih
neuron1	83.33 %	77.78 %
neuron2	88.89 %	66.67 %
neuron3	88.89 %	72.22 %
neuron4	83.33 %	77.78 %
neuron5	88.89 %	55.56 %
alpha1	88.89 %	61.11 %
alpha2	72.22 %	50 %
alpha3	83.33 %	72.22 %
alpha4	83.33 %	55.56 %
alpha5	88.89 %	66.67 %
layer1	88.89 %	72.22 %
layer2	83.33 %	55.56 %
layer3	83.33 %	50 %

Tabel 5. Implementasi terhadap respon robot

No.	Perintah yang diucapkan	Aksi Robot	Waktu komputasi (Second)
1	Maju	Maju	2.507
2	Kanan	Kanan	2.372
3	Kipas	Kipas	2.736
4	Mundur	Mundur	2.645
5	Kiri	Kiri	2.673
6	Kipas	Stop	2.535
7	Mundur	Mundur	2.456
8	Kanan	Kanan	2.420
9	Stop	Stop	2.534
10	Kipas	Kiri	2.591
11	Maju	Kiri	2.678
12	Stop	Stop	2.531
13	Kiri	Kiri	2.702
14	Kanan	Kanan	2.606
15	Mundur	Mundur	2.570
16	Stop	Stop	2.549
17	Kiri	Kiri	2.572
18	Maju	Maju	2.685

IV. KESIMPULAN

1. Jaringan Syaraf Tiruan dari hasil pelatihan yang memiliki nilai *Mean Square Error* (MSE) terbaik didapati pada 'neuron3' yang menggunakan arsitektur 150 *neuron* pada *hidden layer*.
2. Pengenalan ucapan untuk operator yang dilatih dapat mengenali 88.89% ucapan dengan tepat, sedangkan untuk operator yang tidak dilatih dapat mengenali 77.78% ucapan dengan tepat.
3. Waktu komputasi yang diperlukan pada proses pengenalan suara, rata-rata sebesar 2.575 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat DP2M Dikti dan Lembaga Penelitian Universitas Sriwijaya yang telah mendanai penelitian ini dengan skim penelitian Desentralisasi Hibah Bersaing dengan nomor kontrak 121/UN9.3.1/LT/2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rabiner, Lawrence and Juang Biing-Hwang. (1993). *Fundamentals Of Speech Recognition*. New Jersey : Prantice-Hall Inc.
- [2] Zeyad, Tarik and Hanoon, Ahlam, (2005). "Speech Signal Compression Using Wavelet And Linear Predictive Coding, *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, vol.1, no.1,pp 52-60
- [3] Fausett, L., 1994, "Fundamentals of Neural Networks, Architectures, Algorithms, and Applications", Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- [4] Kosko, B., 1992,"Neural Networks and Fuzzy Systems, A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence", Prentice-Hall Inc., New Jersey

Koreksi Citra Pada Sensor Electrical Capacitance Volume Tomography

Amir Rudin, Arbai Yusuf, Imamul Muttakin, Rohmadi, Wahyu Widada, Warsito P. Taruno

CTECH Labs, the Center for Tomography Research Edwar Technology Co.

Tangerang, Indonesia

Email: {amiruddin, arbai, imuttakin, rohmadi, wwidada, wsito}@c-techlabs.com

Abstract—Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT) is a 3D volumetric tomography system based on capacitance measurements. The measurement data are sent from an acquisition module to computer for image reconstruction process using appropriate algorithm. Due to characteristics of reconstruction algorithm, ECVT image shape tend to be pulled towards adjacent electrode pairs. Solution to overcome this problem is by correcting the value of sensitivity matrix of adjacent electrode pairs with optimal reduction rate of 50%-95% depending on the shape and design of sensors and the depicted object's position. The method has successfully distinguish real form of objects inside sensing space.

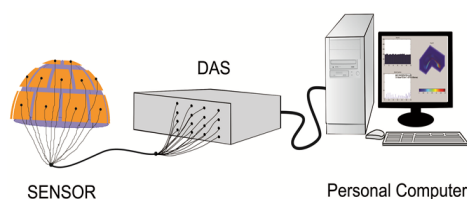
Keywords—ECVT; sensitivity matrix; correction of adjacent electrode pairs; image;

ECVT (*Electrical Capacitance Volume Tomography*) merupakan salah satu proses tomografi volumetrik 3D berdasarkan pengukuran kapasitansi. Data pengukuran kapasitan tersebut dikirim dari modul data akuisisi sistem ke komputer untuk proses rekonstruksi citra menggunakan algoritma yang sesuai. Karena karakteristik algoritma rekonstruksi, bentuk citra ECVT cenderung tertarik kearah pasangan elektroda yang berdekatan. Solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memperbaiki nilai matriks sensitivitas pasangan elektroda yang berdekatan dengan tingkat pengurangan optimal 50%-95% tergantung pada bentuk dan desain dari sensor serta posisi obyek yang dicitrakan. Metode ini telah berhasil membedakan bentuk nyata dari benda di dalam ruang penginderaan.

Keywords—ECVT; matriks sensitifitas; koreksi elektroda berdekatan; citra ;

I. INTRODUCTION

ECVT (*Electrical Capacitance Volume Tomography*) merupakan salah satu proses tomografi volumetrik berdasarkan pengukuran kapasitansi, Sistem ini telah menggantikan sistem tomografi klasik dua dimensi. Sistem ECVT ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Skema diagram sistem ECVT

Sistem ECVT terdiri atas tiga komponen dasar seperti yang terlihat pada gambar 1 yaitu (1) sensor kapasitansi, (2) perangkat akuisisi data, dan (3) personal komputer (PC) untuk melakukan kontrol, rekonstruksi citra dan tampilan. Citra yang dihasilkan oleh sistem ECVT cenderung membentuk tarikan citra ke arah pasangan elektroda yang berdekatan, dikarenakan pasangan elektroda yang berdekatan mempunyai nilai kapasitansi yang lebih tinggi daripada pasangan elektroda yang saling berjauhan secara horisontal, vertikal maupun yang saling berhadapan. Oleh karena itu mereduksi nilai matriks sensitivitas pasangan elektroda yang berdekatan dirasa sangat perlu untuk menghasilkan citra ECVT yang lebih nyata atau citra yang dihasilkan mendekati obyek benda yang di indrakan.

II. PERHITUNGAN NILAI SENSITIFITAS MATRIX DAN BENTUK DESIGN SENSOR

A. Perhitungan sensitifitas matrix 3D

Tomografi kapasitansi dalam bentuk 2D maupun 3D berdasar pada rekonstruksi besaran fisika dari seperangkat pengukuran elektroda sensor. Untuk tomografi kapasitansi, distribusi konstanta dielektrik merupakan besaran fisika yang digunakan untuk pencitraan objek, sedangkan kapasitansi listrik merupakan besaran fisika yang terukur pada elektroda sensor. Potensial listrik dan distribusi permitivitas dapat dideskripsikan dengan persamaan Poisson yang ditulis dalam ruang 3D sebagai berikut:

$$\varepsilon(x, y, z) \nabla \phi(x, y, z) = -\rho(x, y, z) \quad (1)$$

$\varepsilon(x, y, z)$ adalah distribusi permitivitas, $\phi(x, y, z)$ adalah distribusi potensial medan listrik, dan $\rho(x, y, z)$ merupakan kerapatan muatan [1]. Sensor terdiri atas *vessel* yang dikelilingi oleh banyak elektroda, masing-masing elektroda akan berperan sebagai *transmitter* dan detektor. Nilai kapasitansi antara semua kombinasi pasangan elektroda harus diukur dalam proses scanning pencitraan volum. Masing-masing pengukuran mempunyai nilai sensitivitas yang unik pada daerah *cross-section* dari pencitraan volum, sehingga setiap pengukuran tidak tergantung antara yang satu dengan yang lainnya. Pada umumnya, banyak pengukuran dapat ditulis dengan rumus: $m = n_e(n_e - 1)/2$, dimana m adalah banyaknya pengukuran, n_e adalah banyaknya elektroda.

Forward problem merupakan pengukuran data kapasitansi antara pasangan elektroda yang ditempatkan disekeliling *vessel*. Seperti yang telah dijelaskan

sebelumnya, tomografi kapasitansi ini merupakan tomografi *non-linear*, sehingga perlu dilakukan linearisasi untuk mempermudah proses rekonstruksi citra. Linierisasi ini hanya bisa dilakukan jika perbedaan antara konstanta dielektrik dari benda yang akan dicitrakan kecil, pendekatan linier sederhana dapat dibuat:

$$C = S.G \quad (2)$$

C adalah matriks $m \times 1$ merupakan banyaknya pengukuran data kapasitansi ($m = n_e(n_e-1)/2$, dimana n_e adalah banyaknya pengukuran, n_e adalah banyaknya elektroda), G adalah matriks $n \times 1$ merupakan normalisasi citra dari distribusi permitivitas yang kadang disebut dengan *grey level* (bernilai 32768 untuk voksels $32 \times 32 \times 32$), dan S adalah matriks $m \times n$ yang kita ketahui sebagai sensitivitas matriks.

Proses rekonstruksi citra merupakan *inverse problem* yang melibatkan estimasi distribusi permitivitas dari pengukuran data kapasitansi. Untuk rekonstruksi citra ECVT dari pengukuran data kapasitansi, persamaan (2) s. Namun, ada beberapa kesulitan yang berhubungan dengan invers sensitivitas matriks S. Masalah algoritma untuk rekonstruksi citra yang dibangun untuk memprediksi nilai G dengan nilai C dan S yang telah diketahui. Salah satu algoritma termudah dan paling sering digunakan adalah teknik *back projection*. Matriks dari teknik *back projection* adalah [1-2]:

$$\bar{G} = S^T . C \quad (3)$$

□ adalah estimasi distribusi permitivitas. Untuk mengatasi masalah-masalah kompleks pada tomografi kapasitansi ini beberapa metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas gambar pada ECVT. Beberapa metode yang biasa digunakan adalah regularisasi dan iterasi. Teknik regularisasi yang paling umum digunakan adalah regularisasi Tikhonov yang menambahkan diagonal matriks *invertible* pada matriks *ill-posed* untuk membuatnya menjadi *invertible*. Namun, teknik rekonstruksi citra dengan *single-step* belum cukup untuk memberikan kualitas gambar yang baik [2], dan rekonstruksi iteratif telah dikembangkan pada tomografi kapasitansi ini.

ILBP (*Iteration Linear Back Projection*) dikenal juga dengan nama iterasi Landweber. Metode ini awalnya dirancang untuk mengatasi masalah klasik *ill-posed* dengan menggunakan persamaan integral Fredholm. Persamaan dalam metode Landweber:

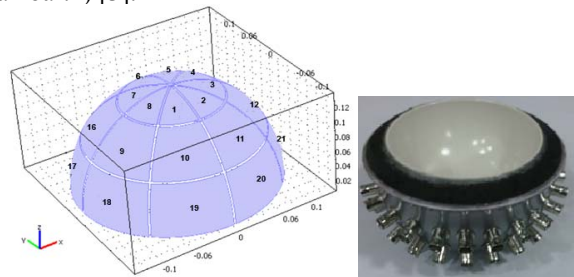
$$\bar{G}_{k+1} = \bar{G}_k + \alpha S^T (C - S\bar{G}_k) \quad (4)$$

α adalah gain faktor dan digunakan untuk mengontrol tingkat konvergensi, k adalah jumlah iterasi [6].

B. Bentuk design sensor

Sensor berbentuk setengah bola dengan 24 elektroda yang terdiri dari 3 tingkat, tingkat pertama berbentuk segitiga dengan 8 elektroda, sedangkan untuk tingkat kedua dan ketiga mempunyai bentuk

sensor persegi panjang masing-masing 8 elektroda (Gambar.2) [3].



Gambar 2. Design dan bentuk fisik sensor setengah bola

III. KOREKSI NILAI SENSITIFITAS

A. Koreksi nilai sensitifitas matrix

Dalam merekonstruksi citra pada system ECVT mengacu pada persamaan (4), dimana C merupakan kapasitansi terukur yang didapat dari DAS ECVT sedangkan S merupakan sensitifitas matriks sensor setengah bola. Merujuk pada paper[4] diketahui bahwa efek dari penyesuaian sensitifitas matriks pada elektroda berdekatan dapat mempengaruhi citra objek yang berada di tengah-tengah sensor. Nilai sensitifitas pada elektroda berdekatan diturunkan dari nilai awal.

$$\bar{G}_{k+1} = \bar{G}_k + \alpha (S^T K)(C - (SK)\bar{G}_k) \quad (5)$$

Dengan mengalikan nilai matriks sensitifitas dengan nilai matriks koreksi(K) akan didapat nilai sensitifitas baru yang kemudian digunakan untuk merekonstruksi citra. Koreksi matriks sensitifitas sensor dengan pengurangan mulai 25%,50%,75% dan 95% dari nilai awal. Plot grafik sensitifitas matriks pasangan elektroda yang berdekatan ditunjukkan tabel 1.



Gambar 3. Phantom parafin dengan dua bola campuran gliserin

IV. HASIL EKSPERIMEN

Eksperimen menggunakan sensor setengah bola yang ditunjukkan gambar 2 dengan pola scanning dari DAS (*data acquisition system*) ECVT mulai dari pasangan sensor 1-2, 1-3, 1-4,...,23-24 menghasilkan 276 data kapasitansi terukur dari seluruh pasangan sensor. Nilai kapasitansi terukur dinormalisasi dengan persamaan (6)

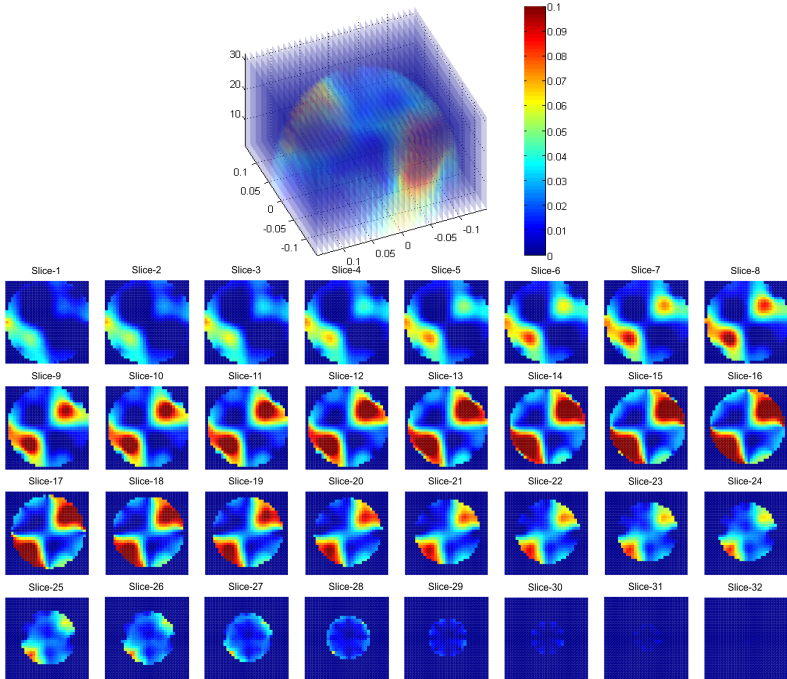
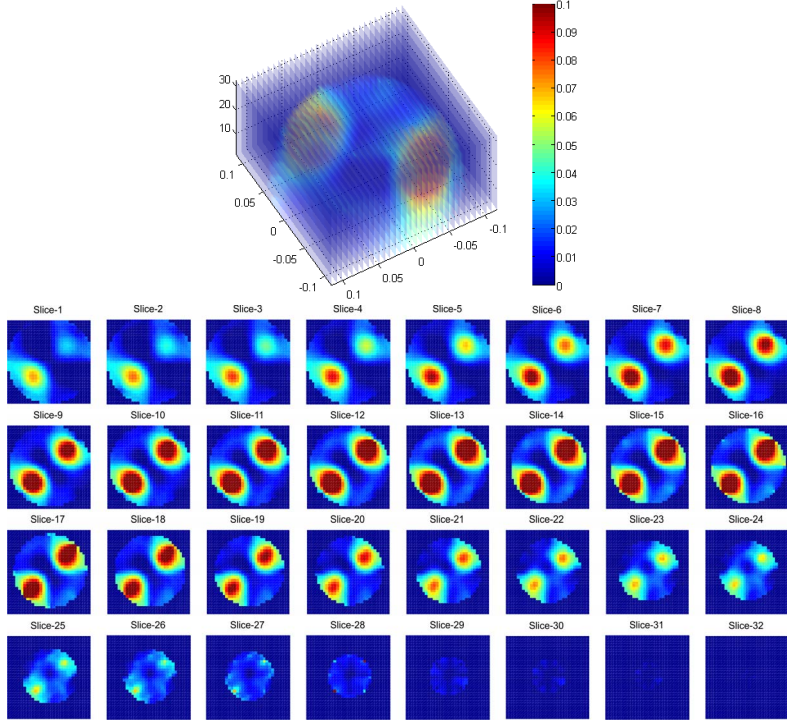
$$d_n = \frac{C - C_l}{C_h - C_l} \quad (6)$$

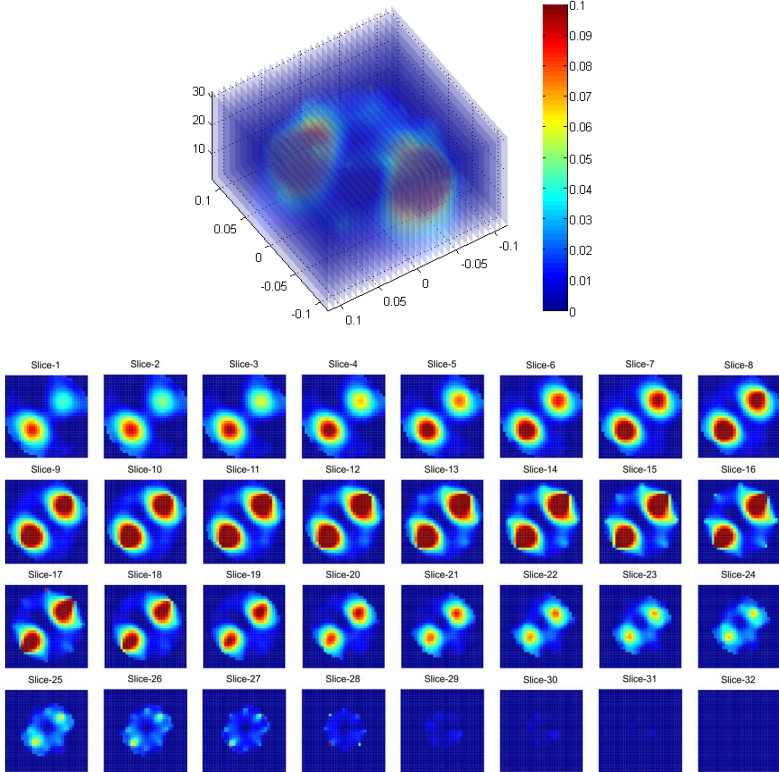
C merupakan kapasitansi yang terukur oleh DAS, C_h merupakan kapasitansi saat kalibrasi menggunakan objek yang mempunyai permitivitas tinggi dan C_l merupakan kapasitansi saat kalibrasi dengan objek yang mempunyai permitivitas rendah.

TABEL I. PLOT GRAFIK SENSITIFITAS MATRIKS SENSOR SETENGAH BOLA

no	Sensitifitas matriks	Plot sensitifitas matriks
1	Tanpa nilai koreksi	<p>The plot shows multiple colored lines representing different sensor sensitivities. The y-axis is 'Normalized sensitivity [-]' ranging from -20 to 40. The x-axis is 'Level of Z [-]' ranging from 0 to 35. A red arrow points to a peak at Z=5 with a sensitivity of approximately 15.</p>
2	Direduksi 50 %	<p>The plot shows multiple colored lines representing different sensor sensitivities. The y-axis is 'Normalized sensitivity [-]' ranging from -10 to 35. The x-axis is 'Level of Z [-]' ranging from 0 to 35. A red arrow points to a peak at Z=5 with a sensitivity of approximately 8.</p>
3	Direduksi 75%	<p>The plot shows multiple colored lines representing different sensor sensitivities. The y-axis is 'Normalized sensitivity [-]' ranging from -10 to 35. The x-axis is 'Level of Z [-]' ranging from 0 to 35. A red arrow points to a peak at Z=5 with a sensitivity of approximately 5.</p>
4	Direduksi 95%	<p>The plot shows multiple colored lines representing different sensor sensitivities. The y-axis is 'Normalized sensitivity [-]' ranging from -10 to 35. The x-axis is 'Level of Z [-]' ranging from 0 to 35. A red arrow points to a peak at Z=5 with a sensitivity of approximately 2.</p>

TABEL II. CITRA OBYEK PHANTOM SECARA 3D DAN SLICE AXIAL

no	Sensitifitas matriks	Plot 3D dan Slice Axial
1	Tanpa nilai koreksi	 <p>The figure shows a 3D volume rendering of a phantom object at the top, with axes ranging from -0.1 to 0.1. Below it is a 4x8 grid of 32 axial slices, labeled Slice-1 to Slice-32. The slices show a complex, multi-lobed structure with varying intensity levels, ranging from dark blue (low intensity) to red (high intensity). A color scale on the right indicates intensity values from 0 to 0.1.</p>
2	Direduksi 75%	 <p>The figure shows a 3D volume rendering of a phantom object at the top, with axes ranging from -0.1 to 0.1. Below it is a 4x8 grid of 32 axial slices, labeled Slice-1 to Slice-32. The slices show a complex, multi-lobed structure with varying intensity levels, ranging from dark blue (low intensity) to red (high intensity). A color scale on the right indicates intensity values from 0 to 0.1.</p>

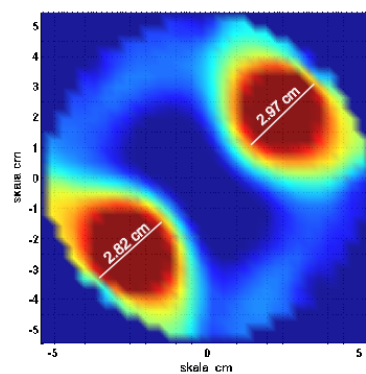
no	Sensitifitas matriks	Plot 3D dan Slice Axial
3	Direduksi 95%	

ILBP (*Iteration Linear Back Projection*) digunakan dalam eksperimen ini untuk merekonstruksi citra dengan cara data matriks absolut kapasitas (d_n) dikalikan dengan hasil sensitifitas matriks sensor setengah bola yang telah direduksi, persamaan (5). Obyek benda yang digunakan merupakan phantom berbentuk setengah bola berdiameter = 11cm terbuat dari paraffin ($\rho=2.1-2.5$) yang didalamnya ada dua buah bola berdiameter = 3.5cm dengan campuran gliserin ($\rho=47-68$).

Hasil rekonstruksi pada table 2 menunjukkan bahwa faktor koreksi (pengurangan nilai sensitifitas matriks pada pasangan elektroda yang berdekatan) mempengaruhi hasil citra. Pada tabel 2 no.1 merupakan citra obyek phantom dengan sensitifitas matriks yang digunakan untuk merekonstruksi belum dilakukan koreksi, sehingga citra yang dihasilkan seakan-akan tertarik oleh pasangan elektroda yang berdekatan. Hal ini terjadi disebabkan kapasitas pasangan elektroda yang berdekatan bernilai tinggi (contoh pasangan elektroda 1-2 gambar.2) sedangkan pasangan sensor yang berjauhan memiliki nilai kapasitas yang rendah.

Setelah dilakukan koreksi sensitifitas matriks, citra hasil rekonstruksi yang semula seakan-akan tertarik sudah tidak terlihat. Bentuk dari obyek citra terlihat lebih bulat dari pada citra sebelum dilakukan koreksi pada elektroda yang berdekatan. Diameter kedua bola didalam phantom paraffin adalah 3.5cm sementara diameter bola pada citra yang dihasilkan ecvt adalah 2.82cm dan 2.97 cm, nilai tersebut diperoleh dari pengukuran gambar 4 -

yang merupakan potongan axial ke-13 citra ECVT dengan nilai koreksi sensitivitas matriks 75% dari nilai semula, skala dari gambar tersebut telah disesuaikan dengan skala bentuk sensor yang berdiameter 11 cm. potongan ini merupakan nilai tengah dari keseluruhan potongan axial yang mencitrakan obyek bola.



Gambar 4. Slice axial ke-13

V. KESIMPULAN

Persoalan rekonstruksi citra ECVT menggunakan ILBP (*Iteration Linear Back Projection*) sering mengalami masalah dengan obyek citra yang seolah-olah tertarik ke pasangan elektroda yang berdekatan sehingga nilai kapasitas yang terukur lebih tinggi dari pada pasangan elektroda yang saling berhadapan atau pasangan elektroda yang mempunyai jarak cukup jauh,

selain itu pembuatan matriks sensitifitas di Comsol menggunakan parameter yang ideal, sehingga keadaan atau parameter real elektroda dalam sensor tidak semua terwakili saat pembuatan sensitifitas matriks. Salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut, koreksi nilai sensitifitas matriks pasangan elektroda yang berdekatan sangat dibutuhkan. Dengan nilai reduksi optimal 50%-75% tergantung sensor dan posisi obyek yang akan di citrakan. Metode koreksi ini berhasil menghilangkan efek tarikan kearah elektroda berdekatan yang selama ini ada pada hasil citra ECVT.

REFERENSI

- [1] Warsito Warsito , Qussai Marashdeh, and Liang-Shih Fan. Electrical Capacitance Volume Tomography. *IEEE Sensors Journal*, Vol. 7, No. 4, April 2007
- [2] Marlin Ramadhan Baidillah, W. Warsito and Muhammad Mukhlisin. The Optimum Design of 3D Sensor for Electrical Capacitance Volume-Tomography (ECVT).
- [3] Warsito; Baidillah, M.R; Sulaiman, R.I; Yusuf, Arbai; Widada, Wahyu; Alzufri, Habib; Aljohani, M. A Novel Sensor Design for Breast Cancer Scanner based on Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT). *IEEE Sensors Proceedings 2012*, Taipei International Center, Taiwan, October 28-31, 96-99.
- [4] W.Q. Yang , A. Chondronasios , S. Natrass b, V.T. Nguyen , M. Betting , I. Ismail , H. McCann Adaptive Calibration Of A Capacitance Tomography System For Imaging Water Droplet Distribution. *Flow Measurement and Instrumentation 15* (2004) 249-258

Analisis Sistem Stabilisasi Citra Angiogram dengan Algoritma SURF Untuk Peningkatan Akurasi Perhitungan QuBE

Hilman Fauzi

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Indonesia
Jl. Telekomunikasi no. 1, Dayeuh Kolot, Bandung 40257, Jawa Barat
hilmanfauzitsp@telkomuniversity.ac.id

Abstract-- Heart attack or myocardial infarction occurs when blood flow to the heart muscle is blocked. The blockage can occur due to narrowing or hardening of the coronary arteries of the heart. Narrowing or hardening of the coronary arteries of the heart that occurs more than a few minutes will cause the cells of the heart muscle (myocardium) damaged / die (infarction) due to lack of oxygen.

The Information about the state of blood vessels coronary heart patients at medical practices used Myocardial Blush Grade (MBG) on coronary angiogram. However, the determination of MBG by doctors is subjective depend on their medical experiences, so that we need to requiring a method that MBG assessment can be more objective. The method is known as Quantitative Blush Evaluator (QuBE). QuBE is a computer program that quantifies the intensity difference between image regions with disturbed areas that are not on a coronary angiogram. To get the value of QuBE very objective, ideally QuBE calculations performed on static angiogram. But in fact, the angiograms are not static. SURF algorithm is used to reduce unwanted translational motion on coronary angiogram by finding the point of correlations between two frames.

Keywords : *coronary angiography, myocardial blush grade (MBG), stabilization, Speeded- Up Robust Feature (SURF), quantitative blush evaluator (QuBE).*

Abstrak-- Serangan Jantung atau *Myocardial Infraction* terjadi ketika darah yang mengalir ke bagian otot jantung tersumbat. Penyumbatan tersebut dapat terjadi akibat penyempitan atau pengerasan pembuluh koroner jantung. Penyempitan ataupun pengerasan pembuluh koroner jantung yang terjadi lebih dari beberapa menit akan menyebabkan sel-sel otot jantung (miokardium) rusak/mati (infark) karena kekurangan oksigen.

Informasi mengenai keadaan pembuluh darah coroner jantung pasien pada praktek kedokteran digunakan *Myocardial Blush Grade (MBG)* pada *coronary angiogram*. Namun demikian, penentuan MBG oleh dokter sifatnya subjektif, sehingga diperlukan sebuah metode agar penilaian MBG dapat bersifat lebih objektif. Metode tersebut dikenal dengan istilah *Quantitative Blush Evaluator (QuBE)*. QuBE merupakan sebuah program komputer yang mengkuantifikasi perbedaan intensitas citra antara daerah yang mengalami gangguan dengan daerah yang tidak pada sebuah *coronary angiogram*. Untuk mendapatkan nilai QuBE yang sangat objektif, idealnya perhitungan QuBE dilakukan pada angiogram yang statis. Namun pada kenyataannya, angiogram yang ada seringkali tidak statis. Algoritma SURF digunakan untuk dapat mengurangi gerakan translasi yang tidak diinginkan pada *coronary angiogram* dengan cara mencari titik korelasi antara dua *frame*.

Kata kunci : *coronary angiography, myocardial blush grade (MBG), stabilisasi, Speeded- Up Robust Feature (SURF), quantitative blush evaluator (QuBE).*

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan pengamatan terhadap *coronary angiogram*, dapat diketahui kondisi aliran darah pada pembuluh jantung. Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi aliran darah pada angiogram adalah *Myocardial Blush Grade (MBG)*. Penilaian MBG dilakukan melalui pengamatan visual terhadap perbedaan intensitas kehitaman antara daerah yang mengalami gangguan dengan daerah yang tidak. Namun, metode penilaian MBG ini masih memiliki beberapa kelemahan, misalnya hasil sangat bergantung pada kemampuan dan pengalaman pengamat/dokter. Selain itu, batasan untuk menetapkan berapa jumlah aliran zat kontras yang dikatakan sedikit (kategori 1), relatif (kategori 2), dan normal (kategori 3) sangatlah tidak jelas, hanya dilakukan berdasarkan perkiraan pengamat saja. Sehingga dapat dikatakan bahwa penilaian MBG dengan metode pengamatan visual bersifat subjektif. Agar diperoleh penilaian yang objektif, pengamatan MBG tidak lagi dilakukan dengan pengamatan visual dokter, melainkan menggunakan program *Quantitative Blush Evaluator (QuBE)*. Program tersebut merupakan sebuah program komputer yang mengkuantifikasi perbedaan intensitas antara daerah yang ingin mengalami gangguan dengan daerah yang tidak dalam *coronary angiogram*. Hasil penilaian program QuBE inilah yang kemudian menentukan kategori MBG untuk *angiogram* tersebut. Kendala pada proses penilaian MBG menggunakan QuBE adalah masih terdapatnya perubahan posisi daerah yang diamati dalam setiap *frame* pada *angiogram* sehingga mempengaruhi keakuratan perhitungan nilai QuBE. Berbagai pergerakan tersebut umumnya akan menimbulkan perubahan posisi elemen *angiogram* secara translasi ke arah vertikal maupun horizontal, tetapi tidak mengubah struktur/bentuk utama dari pembuluh darah. Tetapi ada pula Dengan tujuan meningkatkan keakuratan perhitungan nilai QuBE, maka dilakukanlah penelitian untuk mencari metode stabilisasi video coronary angiogram yang dapat memperbaiki posisi daerah yang diamati akibat pergerakan *frame* secara translasi.

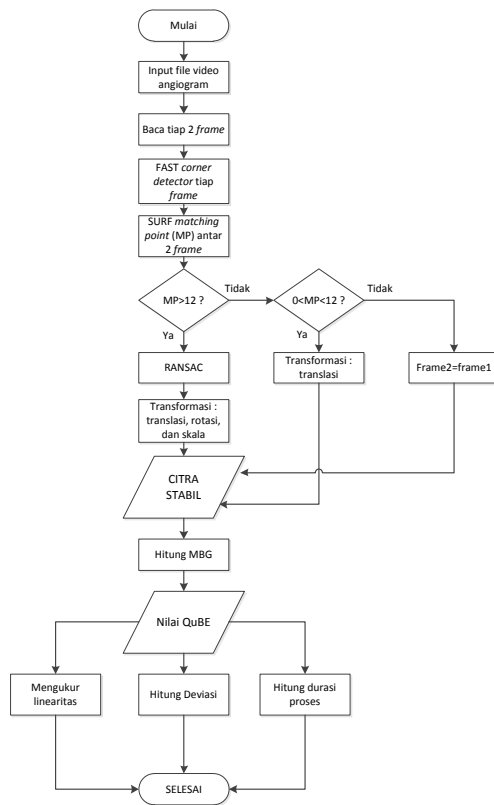
II. MATERIAL

Objek/material penelitian adalah berupa data video *coronary angiogram* dari 30 orang pasien dari Rumah Sakit Pusat Jantung Nasional Harapan Kita, Jakarta.

Setiap *angiogram* tersebut umumnya berdurasi sekitar 4-12 detik dengan kecepatan 15 *frame* per detik. Setiap *frame* untuk seluruh video tersebut memiliki dimensi atau resolusi 512x512 piksel dengan jumlah *frame* yang berbeda-beda. Data kemudian diolah dengan menggunakan software matlab 2011b

III. METODE DAN PERANCANGAN SISTEM

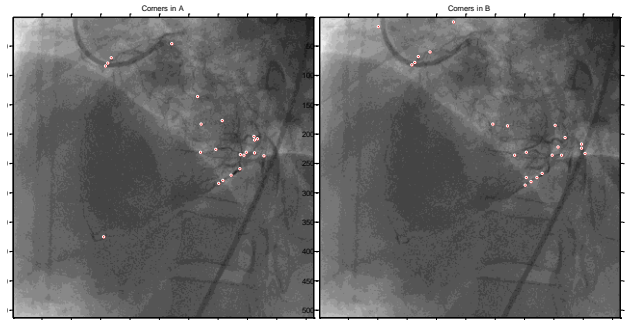
Pada perancangan sistem stabilisasi citra angiogram, diperlukan sebuah mekanisme transformasi yang tepat sesuai arah dan besar perubahan kordinat antara dua *frame* yang berdekatan. Transformasi yang digunakan adalah transformasi citra berupa translasi, rotasi, dan penskalaan. Pada tahap stabilisasi ini diimplementasikan beberapa algoritma seperti *SURF matching point*, *RANSAC*, transformasi pergerakan citra yang meliputi translasi, rotasi, dan penskalaan. Alur sistem stabilisasi citra angiogram dapat dilihat pada diagram yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Perancangan Sistem Stabilisasi Citra Angiogram

A. FAST (Features from Accelerated Segment Test) Corner detector

Kriteria pengujian segment pada FAST corner detection dihitung dengan mempertimbangkan enam belas pixel dari gambar yang berada disekitar kandidat corner(P). Detector mengklasifikasikan P sebagai *corner* jika terdapat satu set dari n pixel yang berdekatan dalam lingkaran, yang semuanya lebih terang dari intensitas pixel $I_p(\text{calon}) + \text{threshold}(t)$ atau semua lebih gelap dari $I_p - \text{threshold}$.



Gambar 2. Implementasi FAST Corner Detection Pada Citra Angiogram

B. Speeded-Up Robust Features (SURF)

Tugas untuk mencari hubungan/kesamaan di antara dua buah gambar dengan pemandangan atau objek yang sama adalah bagian dari aplikasi penglihatan komputer. Pencarian hubungan/kesamaan citra diskrit dapat dibagi menjadi tiga tahap. Tahap pertama, *interest point* dipilih pada lokasi tertentu pada citra, misalnya sudut, *blob*, dan *T-junctions*. Hal yang paling penting yang harus dimiliki oleh pendeteksi *interest point* adalah kemampuan untuk menemukan *interest point* yang sama pada sudut pandang yang berbeda. Tahap kedua, tetangga dari setiap *interest point* direpresentasikan dengan sebuah vektor fitur yang disebut *descriptor*. *Descriptor* harus dapat dibedakan dan pada saat yang sama tahan terhadap *noise*, kesalahan deteksi, dan deformasi geometrik dan fotometrik. Tahap terakhir, *descriptor* antara citra yang berbeda dicocokkan. Pencocokan biasanya berdasarkan jarak antara vektor, misalnya jarak *Mahalanobis* atau jarak *Euclidian*. Dimensi dari *descriptor* memiliki dampak yang besar terhadap durasi perhitungan, sehingga *descriptor* yang berdimensi kecil lebih diharapkan. Berikut ini beberapa komponen penting SURF :

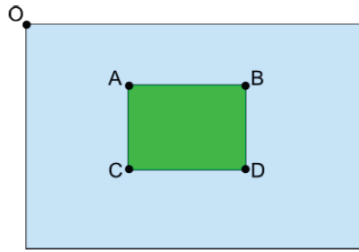
1. Citra Integral (Integral Image)

Peningkatan performa pada SURF disebabkan oleh penggunaan representasi citra yang disebut dengan *Integral Image*. *Integral Image* dihitung dari citra masukan dan digunakan untuk mempercepat perhitungan luas dari sebuah segi empat. Misalnya citra masukan, I dan sebuah point,(x;y), *Integral Image* dihitung dengan rumus berikut:

$$I_{\Sigma}(x, y) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(x, y) \quad (1)$$

Dengan menggunakan *Integral Image*, tugas untuk menghitung luas dari sebuah segi empat direduksi menjadi empat operasi. Jika terdapat sebuah segi empat yang dibangun dari *vertex* A ,B ,C, dan D jumlah dari intensitas piksel dihitung dengan:

$$\Sigma = A + D - (C + B) \quad (2)$$



Gambar 3. Perhitungan luas segi empat menggunakan Integral Image

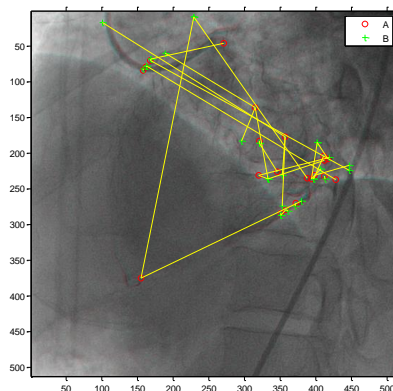
Karena waktu perhitungan tidak bergantung terhadap perubahan ukuran, pendekatan ini sangat berguna ketika menghitung area yang besar. SURF menggunakan sifat ini untuk melakukan konvolusi dengan cepat pada berbagai ukuran segi empat dengan waktu yang hampir konstan.

2. *SURF Descriptor*

Deskriptor merupakan daerah piksel disekitar keypoint (corner) yang dihasilkan. Deskriptor menggambarkan distribusi intensitas piksel tetangga di sekitar keypoint. Setiap descriptor mempunyai nilai [6]:

1. Posisi sumbu-x & sumbu-y
2. *Scale* (Skala dimana fitur corner dideteksi)
3. *Metric* (Nilai yang menggambarkan kekuatan fitur terdeteksi)
4. *Sign Of Laplacian* (*Sign Of Laplacian* ditetapkan selama proses deteksi)
5. *Orientation* (Sudut antara sumbu x dan asal titik)

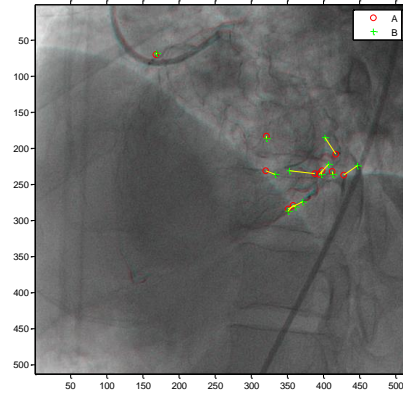
Proses pertama yang dilakukan adalah mencocokkan orientasi yang dihasilkan berdasarkan informasi dari daerah yang berbentuk lingkaran disekitar piksel yang menjadi keypoint. Kemudian proses berikutnya membuat daerah berbentuk kotak pada orientasi yang terpilih dan mengekstrak deskriptor SURF dari daerah tersebut. kemudian proses matching fitur antara dua gambar dilakukan. Matching fitur dilakukan dengan membandingkan intensitas dan descriptor yang ada.



Gambar 4. SURF Matching Point pada Cita Angiogram

C. *RANdom Sample Consensus (RANSAC)*

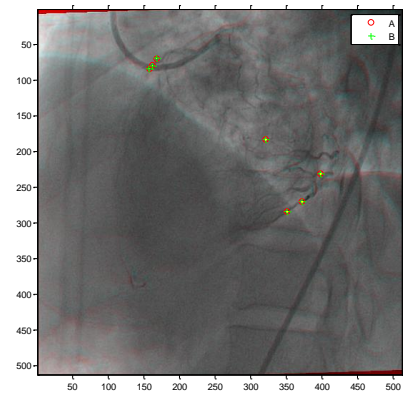
Algoritma RANSAC (Random Sample And Consensus) adalah sebuah prosedur estimasi yang menggunakan minimal sample data set untuk memperkirakan parameter dari data yang diamati yg berisi *outliers* [5].



Gambar 5. Implementasi RANSAC pada Cita Angiogram
RANSAC merupakan algoritma non deterministic yang memproduksi hasil dengan probabilitas tertentu [3], dengan kemungkinan peningkatan probabilitas ini maka RANSAC memiliki banyak iterasi. RANSAC digunakan untuk menyeleksi satu set *inliers* yang sesuai dengan homography sebuah citra.

D. *Transformasi Citra Angiogram*

Untuk mendapatkan hasil stabilisasi citra yang optimal, maka proses transformasi untuk stabilisasi citra ini dibagi menjadi tiga buah kondisi, yaitu kondisi dimana jumlah *matching points* lebih besar dari 12, *matching points* lebih kecil dari 12, dan *matching points* sama dengan nol. Ketentuan *threshold* nilai *matching points* itu berdasarkan hasil pengamatan transformasi pada sejumlah file angiogram.



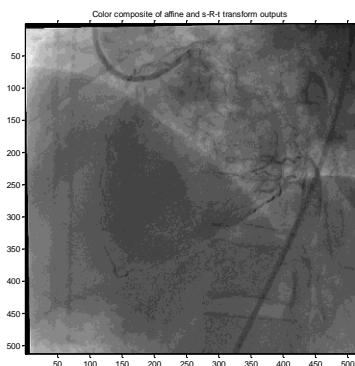
Gambar 6. Transformasi Citra Angiogram Mengikuti Arah Matching Point

Pada *matching point* ini, transformasi yang terjadi/diberlakukan adalah translasi, rotasi, dan skala, dimana citra angiogram akan bergerak bergeser, memutar, dan mengecil atau membesar. Pada proses ini, masing-masing *matching point* akan “dihimpitkan” sehingga salah satu *frame* akan bergerak berdasarkan nilai dan arah dari *matching points* yang terjadi. Translasi diberlakukan di saat *matching point* kurang dari 12 buah namun tidak nol. Citra *matching point* dari hasil RANSAC, jumlah *matching point* yang terjadi memiliki jarak (pointsA dan pointsB) yang beraneka ragam sehingga diperlukan

sebuah *threshold* dan mekanisme perhitungan untuk menghasilkan sebuah nilai jarak dan arah agar kemudian dapat diolah menjadi sebuah pergerakan translasi. *Threshold* yang ditentukan berdasarkan pergerakan rata-rata pembuluh darah antara 2 buah *frame* dari hasil pengamatan. Adapun nilai *threshold* yang ditentukan adalah 12. *Threshold* ini bekerja dengan menghilangkan sejumlah jarak antar points yang nilainya lebih besar dari *threshold*.

Proses pencarian nilai untuk jarak dan arah pergerakan citra dengan translasi dilakukan dengan cara sesuai langkah-langkah berikut :

1. Cari selisih *corner detected* pada *frame 1* (pointsA) dengan *corner detected* pada *frame 2* (pointsB) sehingga menghasilkan nilai scalar untuk jarak pointA dan pointB
2. Cari rata-rata selisih jarak antara point A dengan point B dalam kordinat x dan y. rata-rata jarak pada sumbu $x=tx$ dan rata-rata jarak pada sumbu $y=ty$
3. Kemudian jarak rata-rata tersebut menjadi acuan bagi perpindahan kordinat semua piksel pada citra
4. Lakukan proses tranlasi terhadap *frame 2* sebesar tx dan ty untuk semua piksel pada citra dengan proses penjumlahan atau pengurangan kordinat piksel.



Gambar 7. Transformasi Citra Angiogram

E. Myocardial Blush Grade

Pada sebuah citra *angiogram*, suatu daerah jantung akan berwarna kehitaman (atau keabu-abuan) jika zat kontras telah mengalir seluruh pembuluh kapiler jantung. Kehitaman daerah jantung tertentu dapat menjadi indikasi kondisi aliran darah ke bagian jantung tersebut. Derajat atau intensitas kehitaman jantung disebut sebagai *myocardial blush* [7]. Oleh sebab itu, pengamatan kelancaran aliran pada pembuluh-pembuluh jantung dapat dilakukan dengan cukup mengamati *myocardial blush*. Semakin hitam *myocardial blush* berarti kelancaran aliran jantung yang relatif tinggi, karena jumlah zat kontras yang sampai pada kapiler relatif banyak. Begitu pula sebaliknya, semakin putih *myocardial blush* berarti aliran pada jantung terganggu, karena jumlah zat kontras yang sampai pada kapiler sedikit. Parameter penilaian *myocardial blush* dikenal dengan *Myocardial Blush Grade* (MBG). MBG dievaluasi langsung berdasarkan pengamatan visual *blush* daerah yang mengalami gangguan pada *coronary angiogram*. Berdasarkan

pengamatan visual tersebut, kemudian MBG didefinisikan sebagai berikut [2] :

- 0, jika tidak terdapat *myocardial blush* atau zat kontras sama sekali;
- 1, jika hanya terdapat sedikit *myocardial blush* atau zat kontras;
- 2, jika masih terdapat cukup banyak *myocardial blush* atau zat kontras tetapi lebih sedikit dibandingkan dengan daerah yang tidak mengalami gangguan pembuluh;
- 3, jika terdapat *myocardial blush* atau zat kontras yang normal. semakin kecil nilai MBG yang diperoleh, maka semakin besar gangguan pembuluh yang terjadi pada jantung tersebut.

TABEL I. KATEGORI MBG UNTUK NILAI QUBE [2]

Kategori MBG	Nilai QuBE
0	0-1,3
1	1,3-10,2
2	10,2-15,4
3	15,5-36,4

F. QuBE (Quantitative Blush Evaluator)

Quantitative Blush Evaluator (QuBE), yaitu sebuah program komputer yang memberikan sebuah nilai representasi dari kondisi *myocardial blush* atau intensitas kehitaman daerah yang daerah yang ingin diamati. Program QuBE menghasilkan dua buah keluaran. Pertama, adalah menampilkan nilai *blush* daerah yang diamati terhadap setiap *frame angiogram*. Dan kedua, adalah sebuah nilai yang menggambarkan *blush* daerah yang diamati selama fase pengisian dan fase pengosongan pembuluh darah jantung, disebut sebagai nilai QuBE [2]. Proses penilaian MBG oleh program QuBE terdiri atas beberapa tahapan. Dimulai dengan mengakuisisi *angiogram* masukan. Kemudian, pada salah satu *frame angiogram* dibentuk sebuah poligon yang meliputi daerah yang akan dihitung. Selanjutnya, poligon digerakkan ke beberapa kombinasi arah, yang dilanjutkan dengan menghitung nilai *blush* untuk sebuah *frame* dengan merata-ratakan intensitas kehitaman daerah poligon *frame* tersebut pada setiap kombinasi gerakan poligon. Proses penilaian itu terus dilakukan hingga seluruh *frame* telah memiliki nilai representasi. Kemudian, dilakukan penghitungan nilai QuBE untuk *angiogram* tersebut. Terakhir ditampilkan sebuah kurva keluaran nilai *blush* terhadap setiap *frame* dan sebuah nilai QuBE.

IV. HASIL PENGUJIAN SISTEM

A. Skenario Pengujian

Sistem stabilisasi citra angiogram ini diuji dengan membandingkan perhitungan nilai MBG untuk QuBE original dan QuBE dengan citra angiogram setelah distabilisasi menggunakan algoritma SURF. Perhitungan QuBE original dilakukan dengan menghitung MBG di area polygon pada citra angiogram yang telah ditentukan sebelumnya dengan pergerakan polygon ke atas-bawah-kiri-kanan sebanyak 9 piksel sebagai kompensasi

stabilisasi citra untuk perhitungan QuBE. Sedangkan pada QuBE dengan stabilisasi SURF, perhitungan MBG langsung dilakukan pada area polygon tanpa adanya pergerakan polygon. Sebelumperbandingan diantara keduanya dilakukan, perlu dilakukan pengujian terhadap linearitas atau korelasi antara dua buah metode tersebut dengan maksud agar uji perbandingan ini mencapai kesesuaian dan kesetaraan karakter.

Perancangan system ini dilakukan pengujian dengan menggunakan parameter-parameter yang meliputi akurasi, durasi, dan standar deviasi.

a. Pengujian tingkat akurasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui linearitas nilai yang dihasilkan. Jika nilai QuBE yang dihasilkan terdapat perbedaan yang cukup signifikan, maka akan dilakukan pengujian linearitas nilai dengan menggunakan grafik regresi linear. Jika linearitas telah tercapai, maka langkah selanjutnya adalah menurunkan rumus yang diturunkan dari grafik regresi linear guna mendapatkan konversi nilai QuBE dengan kategori yang disesuaikan.

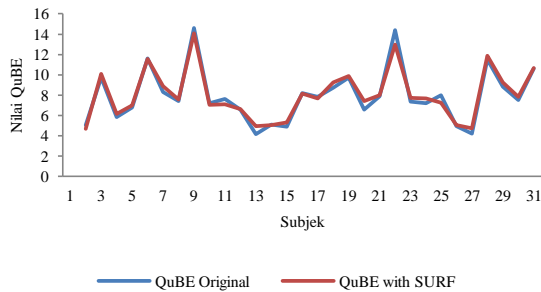
b. Standar Deviasi

Pengujian system dengan menggunakan perhitungan standar deviasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan teknik stabilisasi dengan metode SURF dalam mengurangi deviasi perhitungan nilai QuBE akibat pergerakan *frame*. Proses ini pun dapat menunjukkan tingkat akurasi system. Selain itu, dengan melalui proses ini, akan dibuktikan bagaimana pengaruh stabilisasi dengan pergerakan secara translasi dengan stabilisasi yang menggunakan translasi, rotasi, dan skala secara bersamaan.

B. Hasil Pengujian

1. Pengujian akurasi dan linearitas dan korelasi dua buah metode

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa perhitungan QuBE dengan pergerakan polygon dan dengan stabilisasi citra menggunakan algoritma SURF memiliki hubungan yang linear. Keterangan lebih jelas dapat dilihat pada gambar 8.

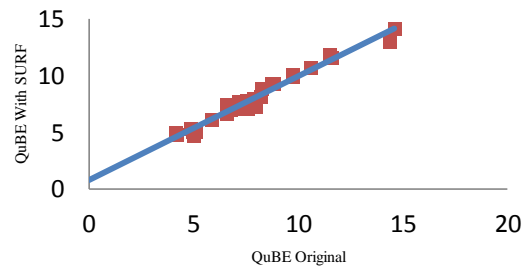


Gambar 8. Grafik QuBE Original dan QuBE SURF

Linearitas yang terbangun antara kedua metode QuBE dapat terlihat dengan tren grafik dari kedua nilai QuBE tersebut, di saat nilai QuBE original tinggi atau naik, maka nilai QuBE SURF pun ikut tinggi atau naik dengan selisih yang tidak jauh dimana selisih tertinggi untuk nilai QuBE diantara keduanya adalah 1,393. Hubungan linearitas ini diturunkan menjadi sebuah persamaan

regresi linear berdasarkan tren atau garis normalisasi sebaran nilai QuBE diantara kedua metode tersebut.

Garis normalisasi dapat dilihat pada gambar 9. Selain itu, nilai koefisien korelasi antara QuBE original dan QuBE SURF adalah 0,986. Hal ini berarti korelasi antara keduanya adalah sangat kuat



Gambar 9. Garis Normalisasi perbandingan Nilai QuBE Original dengan QuBE SURF

Dengan didapatkannya garis normalisasi hubungan antara dua metode perhitungan QuBE tersebut selanjutnya ditentukan persamaan linearnya, yaitu :

$$y = 0,9146x + 0,7817 \tag{3}$$

dengan didapatkannya persamaan tersebut, maka didapatkan kategori MBG dengan stabilisasi SURF seperti pada table II.

TABEL II. KATEGORI MBG UNTUK QUBE SURF

Kategori MBG	Nilai QuBE SURF
0	0,8-2,0
1	2,1-10,1
2	10,2-14,9
3	15,0-34,1

2. Pengujian Durasi dan Standar Deviasi Sistem

a. Durasi

Pengujian sistem melalui parameter durasi secara umum, setelah durasi kedua system berjalan dirata-ratakan, hasilnya bahwa perhitungan QuBE dengan stabilisasi SURF jauh lebih singkat waktunya daripada system original dimana QuBE SURF memiliki rata-rata durasi 394,22 detik sedangkan durasi rata-rata pada system original adalah 913.95 detik. Ini berarti bahwa QuBE SURF mampu mempersingkat durasi proses sebesar 56.86%. perhitungan durasi proses kedua metode dapat dilihat di tabel III.

TABEL III. DURASI PROSES QUBE ORIGINAL DAN QUBE SURF

obj	Durasi (detik)		obj	Durasi (detik)	
	QuBE Original	QuBE with SURF		QuBE Original	QuBE with SURF
1	971.14	393.07	16	782.61	392.84
2	992.88	422.08	17	766.25	393.46
3	994.81	410.21	18	878.21	386.06
4	915.85	379.28	19	430.84	386.90

5	875.82	395.65	20	858.27	386.15
6	866.06	383.47	21	838.79	382.50
7	864.51	395.61	22	827.05	317.30
8	864.61	342.43	23	827.14	395.5
9	891.25	396.95	24	869.95	443.74
10	850.97	424.64	25	771.19	442.14
11	1143.5	392.19	26	909.07	317.97
12	922.05	397.24	27	857.19	421.87
13	866.28	389.38	28	902.32	420.55
14	861.93	401.01	29	920.79	421.60
15	827.48	390.14	30	880.06	429.40
			mean	913.95	394.22

b. Standar Deviasi

Hasil Pengujian dengan menghitung standar deviasi, sebagaimana terlihat pada tabel IV, nilai standar deviasi antara QuBE original dan QuBE SURF memiliki selisih nilai standar deviasi rata-rata yang cukup signifikan diantara keduanya, dimana nilai standar deviasi rata-rata QuBE SURF adalah 0,26 dan QuBE original 1,093. Jika dilihat dari nilai standar deviasi rata-ratanya, perhitungan QuBE dengan menggunakan algoritma SURF lebih baik 32,53% dari pada QuBE original. Hal ini dapat berarti pula bahwa proses stabilisasi citra dengan algoritma SURF dapat mengkompensasi pergerakan transformasi jantung lebih baik dari metode kompensasi pergerakan jantung untuk perhitungan QuBE pada QuBE original.

TABEL IV. HASIL PERHITUNGAN STANDAR DEVIASI

Obj	Q ₀	Q _{ori}	σ _{ori}	Q _{SURF}	σ _{SURF}	σ _{SURF} /σ _{ori} (%)
1	5.01	5.57	0.39	4.65	0.25	65.30
2	9.72	12.67	2.09	10.09	0.26	12.53
3	5.85	6.71	0.60	6.12	0.19	31.40
4	6.80	7.92	0.79	6.98	0.12	15.99
5	11.61	12.19	0.41	11.54	0.04	11.08
6	8.27	10.11	1.30	8.86	0.41	31.95
7	7.39	9.34	1.37	7.54	0.10	7.61
8	14.60	17.51	2.05	14.0	0.36	17.60
9	7.17	8.71	1.09	7.06	0.08	7.43
10	7.61	8.68	0.76	7.08	0.37	49.21
11	6.59	7.86	0.90	6.59	0.00	0.66
12	4.17	7.63	2.44	4.92	0.53	21.65
13	5.12	5.36	0.17	5.06	0.03	21.26
14	4.86	5.31	0.31	5.32	0.33	103.77
15	8.22	8.77	0.38	8.15	0.04	11.56
16	7.81	8.06	0.17	7.66	0.10	59.32
17	8.73	10.86	1.50	9.25	0.37	24.76
18	9.74	10.86	0.79	9.90	0.11	14.52
19	6.56	7.67	0.78	7.40	0.59	75.95
20	7.86	10.98	2.20	7.98	0.09	4.12
21	14.39	19.50	3.61	13	0.98	27.26
22	7.35	8.32	0.68	7.72	0.25	37.62
23	7.17	7.70	0.37	7.66	0.34	92.49
24	7.99	8.67	0.47	7.27	0.50	106.05
25	4.94	5.75	0.57	5.06	0.08	14.88
26	4.20	7.69	2.46	4.74	0.38	15.51
27	11.5	13.32	1.28	11.87	0.25	19.92
28	8.83	10.90	1.46	9.27	0.30	20.90
29	7.52	8.06	0.38	7.80	0.19	51.05
30	10.6	11.89	0.90	10.64	0.02	2.65
mean	7.94	9.49	1.09	8.04	0.26	32.53

V. PERBAIKAN DAN SARAN

Pada perancangan sistem stabilisasi citra angiogram ini masih banyak terdapat kekurangan dan sangat

dimungkinkan dilakukan pengembangan-pengembangan selanjutnya dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut :

1. Waktu yang dibutuhkan dalam proses stabilisasi masih terbilang cukup lama sehingga belum bisa diterapkan dalam dunia kedokteran.
2. Untuk lebih memudahkan pengguna dalam menggunakan atau membaca perancangan ini, sebaiknya citra yang dihasilkan hanyalah gambar dari pembuluh darahnya saja tanpa *background*. Hal ini dapat dilakukan jika proses stabilisasi yang dilakukan sudah sangat sempurna, termasuk pergerakan denyut jantung yang terstabilisasi.
3. Proses stabilisasi yang dilakukan belumlah sempurna atau hanya mengurangi pergerakan citra angiogram dan tidak melakukan proses stabilisasi pada denyut jantung
4. Stabilisasi citra melalui proses transformasi penskalaan masih sulit untuk dilakukan dikarenakan bentuk pembuluh darah jantung yang berbeda pada tiap framenya.

VI. KESIMPULAN

Melalui penelitian ini, penulis menemukan beberapa hasil analisis yang kemudian penulis dapat simpulkan bahwa algoritma SURF dapat membantu menambah akurasi nilai QuBE melalui proses stabilisasi citra angiogram dengan tingkat akurasi lebih baik 22,55% dari nilai QuBE program originalnya. Selain itu, stabilisasi citra angiogram dengan algoritma SURF dapat mengkompensasi pergerakan polygon (sebagai kompensasi stabilisasi pergerakan citra angiogram) sebesar 32,53% dengan durasi lebih cepat 56,86% dari proses perhitungan nilai QuBE dari program originalnya.

VII. REFERENSI

- [1] Matsushita, Y; Ofek, E; Tang, X; Shum, HY (2005). *Full-frame Video Stabilization*. Microsoft® Research Asia. CVPR.
- [2] Vogelzang, M., Vlaar, P.J., Svilaas, T., Amo, D., Nijsten, M.W.N., dan Zijlstra, F. (2009). *Computer-assisted Myocardial Blush Quantification After Percutaneous Coronary Angioplasty for Acute Myocardial Infarction: A Substudy from The TAPAS Trial*, European Heart Journal, **30**, 594-599.
- [3] Tordoff, B; Murray, DW. "Guided sampling and consensus for motion estimation." European Conference n Computer Vision, 2002
- [4] Lee, KY; Chuang, YY; Chen, BY; Ouhyoung, M. "Video Stabilization using Robust Feature Trajectories." National Taiwan University, 2009.
- [5] Zuliani, Marco. *RANSAC for Dummies*. GNU Free Documentation License. 2009.
- [6] Bay, Herbert, Tuytelaars, Tinne, Gool, Luc Van. *SURF: Speeded Up Robust Features*. ETH Zurich and Katholieke Universiteit Leuven.
- [7] Henriques, J.P.S., Zijlstra, F., van 't Hof, A.W.J., Boer, M.J., Dambrink, J.H.E., Gosselink, M., Hoorntje, J.C.A., and Suryapranata, H. (2003), *Angiographic Assessment of Reperfusion in Acute Myocardial Infarction by Myocardial Blush Grade*, Circulation. American Heart Association.
- [8] Erik H. W. Meijering, Wiro J. Niessen, Max A. Viergever. *Retrospective Motion Correction in Digital Subtraction Angiography: A Review. IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 18, no. 1. 1999

Perancangan Sistem Pengaturan Suhu Pada Mesin Sangrai Kopi Berbasis Logika Fuzzy

Satryo Budi Utomo, Moh Agung P.N, Sumardi
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jln Kalimantan 37, Jember 68121
Satryo.budiutomo@yahoo.com

Abstrak- Kabupaten Bondowoso merupakan daerah penghasil kopi. Jenis yang terkenal dengan aroma khasnya adalah kopi Arabika dan Kopi Robusta. Dalam proses penyangraian biji kopi diperlukan suhu yang sesuai, untuk menghasilkan kualitas rasa dan aroma pada minuman kopi. Saat ini pengaturan suhu pada proses penyangraian biji kopi dilakukan secara manual dan pengapian yang konstan, sehingga membutuhkan waktu yang lama sekitar 1,5 - 2 jam dalam sekali proses penyangraian. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dirancang sebuah sistem pengaturan suhu otomatis dengan melakukan pengendalian pengapian pada mesin sangrai kopi sehingga waktu yang dibutuhkan lebih cepat dan efisien dengan menerapkan sistem kendali fuzzy. Metode fuzzy yang digunakan adalah metode Sugeno dengan masukan error suhu dan Δ error suhu. Hasil Pengujian yang diperoleh dalam penelitian ini adalah kalibrasi sensor suhu yang digunakan memiliki error sebesar 1,95 % terhadap termometer suhu sesungguhnya. Aksi kendali yang dihasilkan berupa pergerakan aktuator untuk mengatur katup gas elpiji yang merupakan bahan bakar dari tungku penyangrai. Dengan menerapkan Logika Fuzzy maka waktu penyangraian pada percobaan kopi Robusta adalah 30,216 menit, dan pada percobaan kopi Arabika adalah 36,9 menit.

Keyword : Kopi Arabika, Kopi Robusta , Logika Fuzzy.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kopi terbesar di dunia. Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur merupakan salah satu daerah penghasil kopi. Jenis yang paling terkenal dengan aroma khasnya adalah kopi Arabika dan Robusta. Minuman kopi dibedakan atas rasa dan tingkat keasamannya setelah diolah. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor alam tempat kopi ditanam, seperti jenis tanah, tinggi tanah dari permukaan laut, kelompok tanaman, serta proses budidaya kopi itu sendiri [1]. Rasa dan aroma pada minuman kopi salah satunya dibentuk melalui proses pasca panen, yaitu penyangraian. Tingkat kematangan biji kopi dari hasil penyangraian menciptakan rasa dan aroma yang beragam pada minuman kopi.

Permasalahan yang dihadapi dalam proses penyangraian biji kopi Kelompok Petani kopi di Kabupaten Bondowoso masih menggunakan proses pengapian yang konstan dan manual sehingga, waktu yang dibutuhkan lama sekitar 1,5 - 2 jam dalam satu kali proses penyangraian. Hal ini mempengaruhi jumlah produksi.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dirancang sebuah pengaturan suhu secara otomatis

dengan mengubah pengapian pada tungku mesin sangrai Kopi menggunakan metode Logika Fuzzy . Metode fuzzy yang digunakan adalah metode Sugeno dengan masukan error suhu dan Δ error suhu. Sistem pengendalian mesin sangrai yang ada masih menggunakan pengapian secara manual [2], penelitian ini merupakan pengembangan dalam memperbaiki proses pengapian dalam tungku mesin sangrai kopi. Tujuan dalam penelitian ini adalah mempercepat waktu proses penyangraian biji kopi sehingga meningkatkan jumlah produksi kopi dengan kualitas yang baik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kopi

Kopi adalah spesies tanaman berbentuk pohon dan termasuk dalam famili *Rubiaceae*. Pertama kali ditemukan sekitar tahun 800-850 SM di Benua Afrika. Tanaman ini tumbuh tegak, bercabang dan dapat mencapai tinggi 12 meter. Tumbuhan kopi (*Coffea Sp.*) termasuk familia *Rubiaceae* yang dikenal mempunyai sekitar 500 jenis dengan tidak kurang dari 600 species. Genus *Coffea* merupakan salah satu genus penting dengan beberapa species yang mempunyai nilai ekonomi dan boleh dikembangkan secara komersial .

Dari sekian banyak jenis biji kopi yang dijual di pasaran, terdapat 2 jenis varietas utama yang dominan dikonsumsi. Jenis yang pertama adalah kopi arabika (*Coffea arabica*). Kopi arabika merupakan jenis tanaman kopi yang hanya dapat tumbuh pada iklim tropis atau subtropis pada ketinggian 600-2000 mdpl dengan suhu 18-27 °C. Kopi jenis ini rentan terhadap hama namun menyumbang sekitar 75-80 % dari produksi kopi dunia.

B. Teknik Penyangraian Kopi

Kopi merupakan salah satu hasil komoditi perkebunan yang memiliki nilai ekonomis cukup tinggi diantara tanaman perkebunan lainnya dan berperan penting sebagai sumber devisa negara. Kopi juga merupakan sumber penghasilan bagi tidak kurang dari satu setengah juta jiwa petani kopi di Indonesia. Mutu biji kopi sangat bergantung kepada proses penanganan pasca panen yang tepat. Dengan penanganan pasca panen yang tepat disetiap prosesnya, mutu kopi bisa ditingkatkan. Salah satu proses penanganan pasca panen yang sangat penting yaitu penyangraian, dimana terjadi perubahan tingkat kadar air dan keasaman serta pengembangan aroma dan cita rasa kopi yang tergantung

dari suhu penyangraian. Proses penyangraian berperan penting dalam menciptakan cita rasa dan aroma pada minuman kopi.[3]

C. RTD (*Resistance Temperature Detector*)

RTD merupakan sensor suhu dengan keluaran resistansi. Sensor suhu jenis ini ada dua macam. Yang pertama adalah NTC (*Negative Temperature Coefficient*). Memiliki keluaran nilai resistansi yang berbanding terbalik dengan perubahan suhu. Semakin tinggi suhu, semakin kecil resistansi. Yang kedua adalah PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Memiliki keluaran nilai resistansi yang berbanding lurus dengan perubahan suhu. Semakin tinggi suhu, semakin besar resistansi. Sensor suhu jenis RTD memiliki ketelitian 0,3 °C pada suhu dibawah 5000 °C dan 0,1 °C diatas 10000 °C.

D. Logika Fuzzy[4]

Logika *fuzzy* merupakan kendali cerdas yang pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh. Logika *fuzzy* dapat mengolah masukan berupa himpunan *linguistic* atau himpunan *numeric* menjadi keluaran berupa nilai. Besaran nilai tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan aktuator sebagai aksi dari sistem kendali. Untuk menghasilkan satu aksi kendali, dibutuhkan minimal dua himpunan masukan. Dalam logika *fuzzy*, ada beberapa proses yang dilakukan untuk menghasilkan satu atau lebih aksi kendali. Proses tersebut diantaranya yaitu :

1. Menentukan Himpunan *Fuzzy*
2. Fuzzifikasi
3. Rule Base
4. Defuzzifikasi

E. Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor dengan sistem umpan balik tertutup dimana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor servo mampu bekerja dua arah, berlawanan dengan arah jarum jam (CCW) dan searah dengan jarum jam (CW). Motor servo terdiri dari sebuah motor DC, *gearbox*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

Secara umum terdapat dua jenis motor servo, yaitu motor servo standar dan motor servo kontinyu. Motor servo tipe standar hanya mampu berputar 180 derajat. Sedangkan motor servo kontinyu mampu berputar 360 derajat. Motor servo sering diaplikasikan pada dunia robotika, yaitu sebagai aktuator.

F. Mikrokontroler[5]

Mikrokontroler merupakan IC (*Integrated Circuit*) yang tersusun dari CPU (*Central Processing Unit*), RAM, EEPROM/EPROM/PROM/ROM, I/O, *Serial/Parallel, Timer, Interrupt Controller*.

Dalam penggunaannya, mikrokontroler membutuhkan rangkaian pendukung yang disebut sistem

minimum. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini yaitu AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*). AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) merupakan mikrokontroler yang diproduksi oleh Atmel. Secara umum mikrokontroler dikelompokkan dalam 3 kelas, yaitu keluarga AT90Sxx, AT Mega dan ATtiny.

III. METODE PENELITIAN

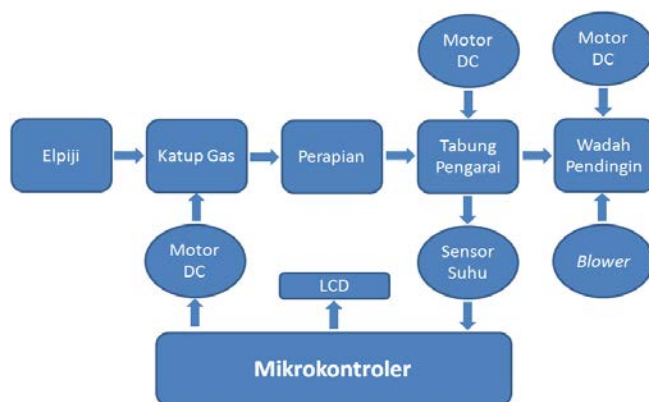
Dalam proses perancangan sistem pengaturan suhu pada mesin sangrai kopi terdiri dari beberapa tahapan antara lain:

A. Perancangan Hardware

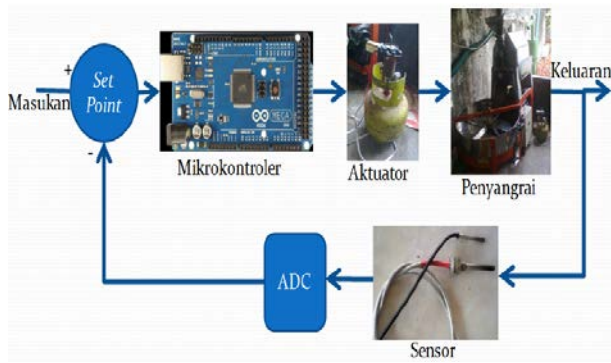
Sistem pengendali suhu pada mesin penyangrai ini terdiri dari perangkat penyusun yaitu perangkat mekanik dan perangkat elektronik. Perangkat mekanik dan perangkat elektronik dipadukan agar mesin penyangrai dapat bekerja secara otomatis.

Perangkat mekanik terdiri dari tabung elpiji, katup gas, pengapian tungku, tabung penyangrai, dan wadah pendingin. Tabung penyangrai dan wadah pendingin dipadukan dengan perangkat elektronik yaitu motor DC. Hal ini dilakukan agar biji kopi yang diolah, dapat diaduk secara otomatis.

Untuk menciptakan suhu penyangraian yang terkendali, ditambahkan perangkat elektronik yaitu sensor suhu, mikrokontroler, dan motor servo. Sensor suhu ditempatkan pada tabung penyangrai. Data suhu tabung penyangrai yang diamati menggunakan sensor suhu kemudian diolah menggunakan mikrokontroler untuk menghasilkan aksi kendali. Aksi kendali yang dimaksud adalah pergerakan aktuator dari sistem kendali, yaitu motor DC jenis servo yang mengatur pergerakan katup gas. Suhu pada tabung penyangrai dan pergerakan dari aktuator sistem dapat diamati melalui LCD (*Liquid Crystal Display*).



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Keseluruhan



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Kendali Suhu



Gambar 3. Bentuk fisik sistem keseluruhan



Gambar 4. Bentuk fisik kontroler

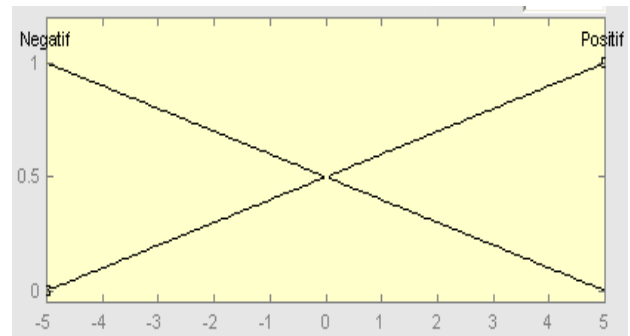
B. Perancangan Algoritma Logika Fuzzy

Algoritma yang digunakan sistem kendali ini adalah *fuzzy* metode *Sugeno*. Masukan dari sistem kendali ini adalah *error* suhu terhadap *setpoint* dan Δ *error* suhu. Keluaran dari sistem kendali ini adalah pergerakan katup gas elpiji.

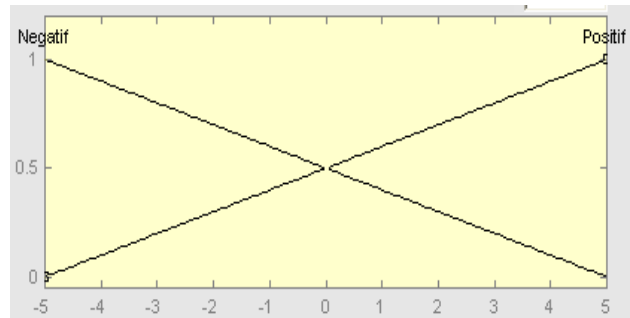
Pada setiap masukan memiliki dua fungsi keanggotaan yaitu fungsi keanggotaan negatif dan fungsi keanggotaan positif. Himpunan masing-masing fungsi keanggotaan memiliki rentang antara -5 sampai 5.

Nilai *fuzzy* memiliki rentang antara 0 sampai 1. Proses perubahan nilai sebenarnya ke dalam nilai *fuzzy* disebut fuzzifikasi. Tabel 1. merupakan nilai fuzzifikasi dari fungsi keanggotaan masukan dengan representasi *linear* turun dan *linear* naik yang telah dibuat sebelumnya.

Aturan Fuzzy terdiri dari 4 *rule*, dengan *input* error suhu dan Δ *error* Suhu dengan *output* posisi katup gas (derajat). Proses pengubahan aliran gas elpiji dipengaruhi nilai defuzzifikasi.



Gambar 5. Himpunan Fungsi Keanggotaan *Error* Suhu



Gambar 6. Himpunan Fungsi Keanggotaan Δ *Error*

Tabel 1. Nilai Fuzzifikasi

<i>Error</i> / Δ <i>Error</i>	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
P	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
N	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0

Tabel 2. Aturan *fuzzy*

<i>Input</i>		Δ <i>Error</i> Suhu	
		<i>Positif</i>	<i>Negatif</i>
<i>Error</i> Suhu	<i>Positif</i>	Gas Diperbesar	Gas Diperkecil
	<i>Negatif</i>	Gas Diperkecil	Gas Diperbesar

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Suhu

Sensor suhu yang digunakan adalah jenis RTD (*Resistance Temperature Detector*). Pengujian dilakukan dengan cara memasang sensor pada tabung penyangrai kemudian dipanaskan. Nilai resistansi keluaran dari sensor diukur dengan AVO meter dan nilai suhu diukur dengan sensor RTD lain yang telah dikalibrasi.

Berdasarkan data dari perbandingan *datasheet* sensor dan hasil pengujian sensor, terdapat *error* sebesar 3,18905 %. Hal ini disebabkan oleh panjangnya kabel yang digunakan pada sensor RTD dan nilai ketelitian AVO meter yang digunakan. Hal ini masih dapat ditoleransi karena setiap pembacaan suhu masih mempunyai nilai resistansi yang berbeda-beda.

Dari hasil pengujian, didapatkan nilai *error* terbesar yaitu 5,69 %. Hal ini disebabkan oleh panas disipasi komponen dan nilai toleransi komponen penyusun rangkaian yang kurang baik. *Error* persen rata-rata dari seluruh pengujian adalah sebesar 3,06 %.

B. Pengujian Fuzzy

Pada sistem kendali suhu ini, masukan yang diolah adalah *error* suhu dan Δ *error* suhu. *Error* suhu menunjukkan seberapa jauh suhu saat ini terhadap *setpoint* 150°C. Δ *error* suhu menunjukkan keadaan suhu saat ini, yaitu sedang naik, sedang turun, atau konstan disuatu nilai

Seperti terlihat pada table 5, hasil dari defuzzifikasi untuk setiap masukan yang didapatkan dari hasil perhitungan secara teori dan program, tidak terdapat nilai *error* persen. Hal ini dikarenakan nilai fuzzifikasi dari setiap masukan telah dipetakan. Sehingga setiap masukan yang akan diolah secara *fuzzy* memiliki nilai fuzzifikasi yang telah ditentukan.

Setelah didapatkan nilai defuzzifikasi, nilai tersebut diubah menjadi aksi kendali berupa pergerakan motor servo dalam satuan derajat. Pergerakan motor servo ini dimanfaatkan untuk menggerakkan katup gas elpiji untuk mengatur besar kecilnya api untuk memanaskan tabung penyangrai. Rentang pergerakan dari katup elpiji menggunakan motor servo ini adalah 0-179 derajat. Motor servo yang digunakan memiliki *error* sebesar 2,77 % atau pergerakan sebenarnya lebih besar 0,0277 derajat setiap 1 derajatnya.

C. Pengujian Sistem

Pada Gambar 7 merupakan grafik perubahan suhu dari hasil sistem kendali suhu pada proses penyangraian kopi robusta dengan kapasitas 3 kg. Tahap pertama merupakan proses pemanasan tabung penyangrai (*heating*). Tabung penyangrai dipanaskan hingga suhunya mencapai 150 °C. Proses ini membutuhkan waktu 12,133 menit

Setelah suhu tabung penyangrai mencapai 150 °C, dilanjutkan tahap selanjutnya yaitu memasukkan biji kopi yang akan disangrai. Selama 7,05 menit, suhu tabung penyangrai terus menurun hingga 115 °C. Setelah itu, suhu tabung penyangrai kembali naik dengan kenaikan rata-rata 5 °C setiap satu setengah menit.

Kenaikan suhu ini terus dipertahankan hingga suhu tabung penyangrai mencapai 150 °C.

Untuk mencapai suhu 150 °C mulai dari kopi dimasukkan, dibutuhkan waktu 18,083 menit. Total keseluruhan waktu yang dibutuhkan untuk proses penyangraian adalah 30,216 menit.

Gambar 8 adalah hasil dari percobaan penyangraian kopi Robusta dengan kapasitas 3 kg. Pada percobaan penggorengan yang ke-2, penurunan suhu setelah kopi dimasukkan memiliki selang waktu yang lebih cepat yaitu 3,07 menit. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan kadar air pada biji kopi. Kadar kelembaban air pada biji kopi dipengaruhi oleh proses pasca panen yaitu penjemuran biji kopi.

Pada percobaan ini dibutuhkan waktu pemanasan selama 13,83 menit, waktu penurunan suhu setelah kopi dimasukkan selama 3,07 menit dan waktu kenaikan suhu selama 15,85 menit. Total waktu yang dibutuhkan pada percobaan penggorengan ini adalah 32,75 menit.

Gambar 9 adalah hasil dari percobaan penyangraian kopi Arabika dengan kapasitas 4 kg. Pada percobaan ini dibutuhkan waktu pemanasan selama 13,83 menit, waktu penurunan suhu setelah kopi dimasukkan selama 3,07 menit dan waktu kenaikan suhu selama 15,85 menit. Total waktu yang dibutuhkan pada percobaan penggorengan ke-2 ini adalah 32,75 menit.

Setelah proses penyangraian selesai, kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan kopi. Kopi yang telah disangrai selanjutnya dituang ke wadah pendingin dan mulai didinginkan menggunakan pengaduk serta *blower*. Proses pendinginan ini membutuhkan waktu 5 menit.

Tabel 3. Kalibrasi Sensor Suhu

No.	Datasheet		Pengukuran		Error
	Suhu	Resistansi	Suhu	Resistansi	
1	25°C	109,73 Ω	25°C	117 Ω	6,62 %
2	50°C	119,4 Ω	50°C	125 Ω	4,69 %
3	75°C	128,98 Ω	75°C	132 Ω	2,34 %
4	100°C	138,5 Ω	100°C	141 Ω	1,80 %
5	125°C	147,94 Ω	125°C	151 Ω	2,06 %
6	150°C	158,32 Ω	150°C	160 Ω	1,05 %

Tabel 4. Rangkaian Pengkondisi sinyal

No.	RTD	R1	VDC	Error
	(Ω)	(Ω)	(volt)	(%)
1	150	193	5,05	2,27
2	140	193	5,05	0
3	130	193	5,05	2,46
4	120	193	5,05	5,69

Tabel 5 Pengujian Fuzzy

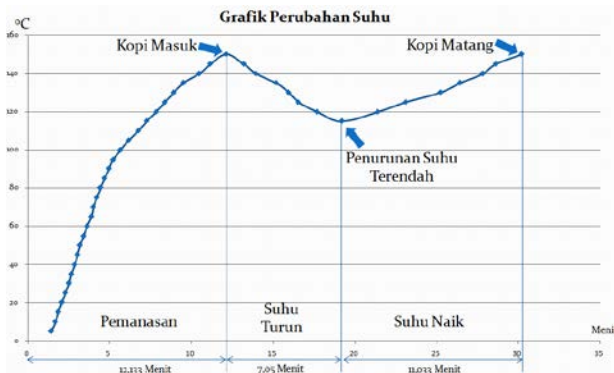
No	Masukan		Fuzzifikasi				Defuzzifikasi (Z)		Error (%)
			E		Δ		Hit.	Prog.	
	E	Δ	dfpos1	dfneg1	dfpos2	dfneg2			
1	10	3	1	0	0,8	0,2	13	13	0
2	8	-2	1	0	0,3	0,7	8	8	0
3	2	0	0,7	0,3	0,5	0,5	8,125	8,125	0
4	-6	4	0	1	0,9	0,1	5	5	0
5	-5	-1	0	1	0,4	0,6	5	5	0
6	-1	0	0,4	0,6	0,5	0,5	7,222	7,222	0

IV. KESIMPULAN

1. Perbandingan antara pembacaan sensor RTD dan termometer inframerah memiliki *error* rata-rata sebesar 1,95%
2. Untuk menghasilkan aksi kendali, nilai defuzzifikasi dengan rentang 0-15 yang dihasilkan dari pengolahan masukan secara *fuzzy* diubah menjadi gerakan servo dengan rentang sudut 0 - 179°
3. Penerapan logika *fuzzy* sebagai algoritma pada sistem kendali suhu penyangraian kopi dengan aturan (*rule base*) yang dirancang berdasarkan pengalaman penyangrai berhasil dilakukan dengan total waktu penyangraian 30,216 menit pada percobaan kopi Robusta, 32,75 menit pada percobaan ke-2 Kopi Robusta, dan 36,9 menit pada percobaan Kopi Arabika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2007. *Pedoman Teknologi Kopi*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Jember.
- [2] Eko Jonny Pristianto. 2008. *Otomatisasi Sistem Mesin Sangrai (Roaster) Berbasis \Smart Relay Zelio Logic SR3 B261BD*. Universitas Jember
- [3] Anonim. 2011. *Rekayasa Tungku Terkendali dengan Mikrokontroler Berbasis PLC untuk Mesin Sangrai Biji Kopi dan Kakao Guna Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar 30% dan Mengurangi Emisi Gas CO2 > 30%*. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian.
- [4] Kusumadewi, S. 2006. *Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [5] Winoto, A. 2008. *Mikrokontroler AVR Atmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung: Informatika.



Gambar 7. Grafik Perubahan Suhu Kopi Robusta



Gambar 8. Grafik Perubahan Suhu Kopi Robusta



Gambar 9. Grafik Perubahan Suhu Kopi Arabika

Model AR.Drone Dengan Indoor dan Outdoor Hull

Agung Prayitno, Veronica Indrawati

Jurusan Teknik Elektro
Universitas Surabaya, UBAYA
Surabaya, Indonesia
prayitno_agung@staff.ubaya.ac.id
veronica@staff.ubaya.ac.id

Abstract— In this paper, a model of AR.Drone will be designed by assuming that the AR.Drone hardware and its internal controller as a single system. The model will be designed for the AR.Drone with indoor and outdoor hull. Movements of AR.Drone are controlled by 4 inputs: pitch, roll, vertical rate and yaw rate. For the modeling process, AR.Drone will be flown by accessing the internal board controller using LabVIEW software which has been prepared in the ground station. Set point pitch, roll, yaw rate and vertical rate given to the AR.Drone as inputs and navigation data such as actual pitch, roll, yaw, altitude, forward speed, sideward speed will be recorded alternately. From the data obtained, the model parameter will be estimated using a least-squares method to obtain 4 pieces models representing each input. The model is validated with a new navigation data to demonstrate the accuracy of the model for a given input range. Furthermore, the model with the indoor hull will be compared with the model with outdoor hull.

Keywords—AR.Drone model; roll; pitch; vertical rate; yaw rate; least-squares method; indoor hull; outdoor hull

Abstrak— Dalam paper ini, model AR.Drone akan dirancang dengan mengasumsikan bahwa hardware AR.Drone dan kontroler elektronik bawaannya sebagai satu kesatuan sistem. Model yang akan dirancang adalah model AR.Drone yang diterbangkan dengan menggunakan indoor hull dan outdoor hull. Pergerakan dari AR.Drone dikontrol dengan 4 buah input yaitu: pitch, roll, vertical rate dan yaw rate. Untuk proses pemodelan, AR.Drone akan diterbangkan dengan mengakses internal controller dengan menggunakan software LabVIEW yang telah disiapkan di ground station. Setpoint pitch, roll, yaw rate dan vertical rate diberikan ke AR.Drone sebagai input dan data navigasi seperti halnya actual pitch, roll, yaw, altitude, forward speed, sideward speed akan direkam secara bergantian. Dari data yang diperoleh, parameter model akan diestimasi dengan menggunakan metode least-square untuk mendapatkan 4 buah model yang merepresentasikan setiap input. Model akan divalidasi dengan menggunakan data navigasi baru untuk menunjukkan performansi dari model untuk beberapa rentang nilai input. Selanjutnya model dengan indoor hull akan dibandingkan terhadap model dengan outdoor hull.

Kata kunci—AR.Drone model; roll; pitch; vertical rate; yaw rate; least-squares method; indoor hull; outdoor hull

I. PENDAHULUAN

Quadrotor menjadi salah satu platform riset yang sangat berkembang pada beberapa tahun ini. Quadrotor dipilih karena mempunyai mekanik yang sederhana namun mampu untuk terbang hover, terbang secara vertikal, serta dapat bermanuver lincah. Akan tetapi ada beberapa kelemahan pada pesawat antara lain terbatasnya supply energi dan beban yang dapat diangkat. Tantangan lain adalah susah dikontrolnya pesawat ini secara autonomous karena sistemnya yang unstable[1]. Quadrotor saat ini banyak digunakan untuk laporan berita kondisi lalu lintas, fotografi dan video, pembuatan video promosi suatu kawasan, untuk reality games dan masih banyak lagi.

AR.Drone adalah salah satu platform quadrotor yang secara harga relatif murah namun on-board electronics di dalamnya sudah terdapat motherboard lengkap dengan processor dan Wi-Fi chip, sensor accelerometer, gyroscope, ultrasonic, mikrokontroler dan dua buah kamera. Dalam AR.Drone ini juga telah disertakan real time operating system yang memungkinkan berbagai tugas dapat dilakukan secara bersamaan seperti berkomunikasi dengan ground station melalui Wi-Fi, sensor acquisition, video data sampling, image processing, state estimation, dan closed-loop control[2]. Dengan alasan fitur-fitur yang dimiliki tersebut maka AR.Drone tersebut digunakan sebagai salah satu platform riset di Jurusan Teknik Elektro Universitas Surabaya (JTEUS).

Dengan internal kontroler bawaan pada AR.Drone memungkinkan pengguna untuk mengendalikan manuver terbang AR.Drone dengan mudah karena sebenarnya AR.Drone dirancang sebagai sebuah reality game. Aplikasi untuk mengendalikan AR.Drone ini dapat didownload di Google Play bagi pengguna Android ataupun di App Store bagi pengguna Apple. Beberapa aplikasi yang dapat digunakan untuk mengontrol AR.Drone ini adalah AR.FreeFlight 2.0 dan AR.Race 2. Namun demikian, Parrot, sebagai pembuat AR.Drone juga menyertakan Software Development Kit (SDK) [3] yang memungkinkan pengguna untuk mengakses AR.Drone dengan Wi-fi sehingga dapat melakukan kontrol, merancang algoritma kontrol sendiri dan melakukan data acquisition dengan berbagai macam software. Pada internal controller yang sudah disertakan pada AR.Drone pengguna dapat melakukan beberapa kontrol dasar yang meliputi take-off, landing, hover dan emergency stop. Setiap perintah kontrol tersebut sudah tersedia closed-loop control

pada *internal controller* AR.Drone tersebut. Sebagai contoh perintah *take-off*, *internal controller* akan melakukan aksi dengan urutan sebagai berikut: [4]

- Jalankan semua motor
- Naikkan *thrust* dari semua motor secara berimbang untuk menaikkan ketinggian AR.Drone hingga stabil di sekitar 1 meter.
- Lakukan koreksi kecepatan rotor untuk mempertahankan *zero attitude (roll, pitch)* dan *zero yaw*.
- Monitoring kamera bawah untuk mempertahankan posisi drone agar tetap di atas titik *take-off* nya tadi.

Selain kontrol dasar tersebut, pengguna dapat mengontrol gerak AR.Drone dengan 4 buah input yang meliputi: *pitch angle*, *roll angle*, *yaw rate* dan *vertical rate*. Jika keempat input ini tidak ada (bernilai 0) maka secara otomatis drone akan bekerja seperti halnya pada kondisi *hover*. Untuk setiap input yang diberikan pengguna, algoritma kontrol akan bekerja sesuai dengan *closed loop* yang tersedia pada internal kontrolnya.

Tantangan terbesar dalam riset algoritma kontrol AR.Drone di JTEUS adalah belum adanya model AR.Drone yang benar benar bagus. Implementasi algoritma kontroler yang dilakukan dengan cara coba coba atau *trial and error* akan sangat beresiko dan rusaknya AR.Drone akibat pergerakan yang tidak terkontrol. Dengan latar belakang tersebut maka keberadaan model AR.Drone sebagai *simulator* perancangan algoritma kontrol AR.Drone menjadi penting. Keberadaan model AR.Drone juga dapat digunakan untuk menjelaskan karakteristik respon dari drone terhadap input dan *disturbances* yang ada.

Beberapa riset [5,6], yang menjelaskan bagaimana cara untuk mendapatkan model dinamik dari platform *quadrotor* yang mereka gunakan. Secara garis besar proses yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Menentukan *reference frame* yang terdiri dari *body frame* dan *inertial frame*.
- Mendeskripsikan koordinat *linear* dan *angular* dari persamaan state gerak kinematik dari *quadrotor* pada *body frame*.
- Mendapatkan hubungan translasional dan rotasionalnya pada *inertial frame*.
- Mendapatkan persamaan dinamik dari gerak sistem fisik *quadrotor* akibat adanya torsi dan *thrust* dari masing masing baling baling.
- Mendapatkan parameter model melalui pengukuran maupun identifikasi sistem

Pemodelan yang dilakukan tersebut dilakukan dengan analisis persamaan sistem fisik dari *quadrotor*.

Ada dua buah cara untuk mendapatkan model dari AR.Drone dari beberapa riset yang dilakukan oleh beberapa orang. Cara pertama dilakukan oleh Sun Yue [5], pemodelan

dilakukan dengan menggunakan persamaan persamaan kinematik dan dinamik dari sistem fisik AR.Drone seperti halnya cara untuk mendapatkan model *quadrotor* pada umumnya. Model ini menggunakan *thrust* dan torsi sebagai input dari model dinamik *quadrotor* dan *height*, *roll*, *pitch* dan *yaw* sebagai output utama dari model.[5,7] Cara kedua dilakukan dengan menganggap *hardware* AR.Drone lengkap dengan *electronic controller*-nya sebagai sebuah sistem. Sebagai input dipilih *setpoint pitch*, *setpoint roll*, *setpoint yaw rate*, *setpoint vertical rate* sedangkan sebagai output berurutan adalah (*pitch dan forward speed*), (*roll dan sideward speed*), *yaw rate* dan *vertical rate*. Proses pemodelan dilakukan dengan menerbangkan *quadrotor* untuk masing masing input yang diinginkan dan merekam data navigasi yang diperlukan untuk pemodelan. Dari data navigasi yang diperoleh, parameter model diestimasi dengan menggunakan *least square method*. Pemodelan dengan cara ini mensyaratkan bahwa AR.Drone sudah terkontrol dengan baik[1]

Tujuan dari paper ini adalah untuk merealisasikan model AR.Drone dengan pendekatan cara kedua di atas dengan menggunakan data navigasi yang direkam secara eksperimen. AR.Drone yang dipakai adalah AR.Drone versi 2 dengan firmware versi 2.4.8 dengan menggunakan *indoor hull* dan *outdoor hull* seperti pada Gambar 1. Program yang digunakan untuk kontrol dan proses *data acquisition* AR.Drone disiapkan oleh salah satu anggota tim riset, Gabriel, dengan melakukan modifikasi AR.Drone LabVIEW Toolkit [3] karena masih dirancang untuk AR.Drone versi 1 saat itu. Model yang didapat akan divalidasi ulang dengan data navigasi baru untuk menunjukkan akurasi dari model yang didapatkan. Dengan model ini diharapkan simulasi saat perancangan algoritma kontrol dapat dilakukan dengan mudah. Dengan model tersebut dinamika gerak dari AR.Drone juga akan mudah dipelajari.



Gambar 1. AR.Drone dengan *Indoor* dan *Outdoor Hull*

II. STRUKTUR MODEL DARI AR.DRONE

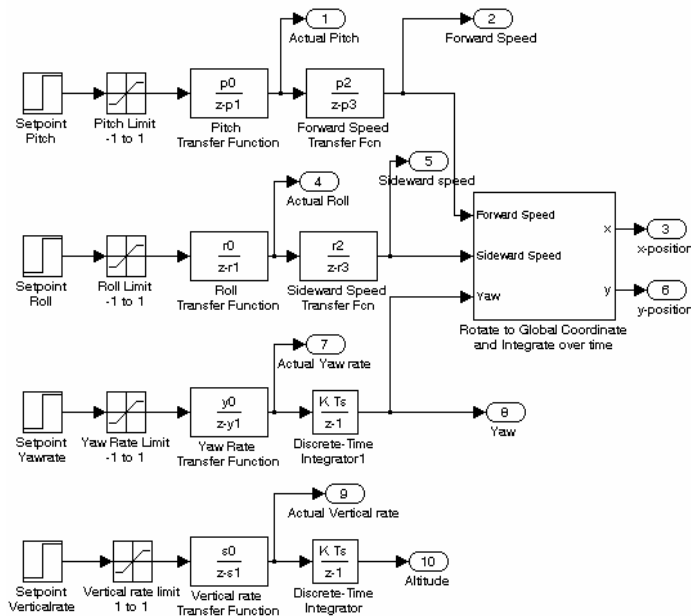
Struktur model AR.Drone yang dipakai adalah model yang digunakan oleh Krajnik [1] seperti ditunjukkan pada Gambar.2 di bawah. Dari struktur tersebut terlihat bahwa model AR.Drone terdiri dari 4 buah model yang merepresentasikan hubungan input-output antara *setpoint pitch - actual pitch - forward speed*; *setpoint roll - actual roll - sideward speed*, *setpoint yaw rate - actual yaw rate - yaw*, dan *setpoint vertical rate - actual rate vertical - altitude*. Input mempunyai rentang nilai dari -1 to 1 yang merepresentasikan nilai *minimum* dan

maximum dari sudut / kecepatan yang disetting pada software controller.

Subsistem rotate to global coordinate berupa rotational matrix yang merupakan mapping vektor kecepatan translasi AR.Drone dari earth frame ke body-fixed frame yang kemudian diintegrasikan terhadap waktu untuk mendapatkan x dan y-position. Diasumsikan bahwa ketinggian AR.Drone dijaga konstan maka x dan y-position juga dipengaruhi oleh sudut yaw dari AR.Drone sesuai dengan matrik rotasional seperti yang dinyatakan dalam (1).

$$\begin{bmatrix} v_x^E \\ v_y^E \\ v_z^E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x^B \\ v_y^B \\ v_z^B \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana v_i^E adalah kecepatan translational AR.Drone pada earth frame, sedangkan v_i^B adalah kecepatan translational pada body-fixed frame dengan $i=x,y,x$



Gambar.2. Struktur Model AR.Drone

III. PROSEDUR EKSPERIMEN PENGAMBILAN DATA TERBANG

Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk mendapatkan parameter model pada masing-masing discrete transfer function di Gambar 2 yang meliputi $p_0, p_1, p_2, p_3, r_0, r_1, r_2, r_3, y_0, y_1, z_0$ and z_1 . Untuk estimasi masing masing parameter tersebut diperlukan data terbang dari masing masing model. Prosedur pengambilan data navigasi AR.Drone pada paper ini adalah sebagai berikut:

- **Pitch:** berikan nilai setpoint pitch yang diinginkan (misalkan -0.3) dan take-off kan dengan kondisi hover

on, setelah ketinggian AR.Drone stabil di 1 meter switch-off hover sehingga drone akan bergerak ke depan dengan sudut pitch tertentu beberapa detik kemudian switch-on hover lagi dan landing-kan. Data yang direkam selama terbang adalah setpoint pitch (dalam rentang -1 s.d 1), pitch yang terukur θ [dalam satuan derajat], forward speed v_x [m/s], dan estimasi x-position [meter]

- **Roll:** berikan nilai setpoint roll yang diinginkan (misal 0.25) dan take-off kan dengan kondisi hover on, setelah ketinggian AR.Drone stabil di 1 meter switch-off hover sehingga drone akan bergerak ke samping dengan sudut roll tertentu beberapa detik kemudian switch-on hover lagi dan landing-kan. Data yang direkam selama terbang adalah setpoint roll (dalam rentang -1 s.d 1), roll yang terukur ϕ [dalam satuan derajat], sideward speed v_y [m/s], dan estimasi y-position [meter]
- **Yaw rate:** berikan nilai setpoint yaw rate yang diinginkan (misalkan -0.2) dan take-off kan dengan kondisi hover on, setelah ketinggian AR.Drone stabil di 1 meter switch-off hover sehingga drone akan bergerak pivot pada ketinggian tersebut dengan kecepatan putar tertentu selama beberapa detik kemudian switch-on hover lagi dan landing-kan. Data yang direkam selama terbang adalah setpoint yaw rate (dalam rentang -1 s.d 1), yaw yang terukur ψ [dalam satuan derajat]. Yaw rate dihitung dengan menghitung selisih sudut antar sampling dan dibagi dengan sampling time.
- **Vertical rate:** berikan nilai setpoint vertical rate yang diinginkan (misalkan 0.2) dan take-off kan dengan kondisi hover on, setelah ketinggian AR.Drone stabil di 1 meter switch-off hover sehingga drone akan bergerak dengan kecepatan tertentu selama beberapa detik kemudian switch-on hover lagi dan landing-kan. Data yang direkam selama terbang adalah setpoint vertical rate (dalam rentang -1 s.d 1), ketinggian yang terukur z [dalam satuan meter]. Vertical rate v_z dihitung dengan menghitung selisih ketinggian antara $z(t)$ dan $z(t-1)$ dibagi dengan sampling time.

Gambar 3 menunjukkan proses pengambilan data terbang untuk proses pemodelan ini. Data yang diambil meliputi nilai setpoint untuk pitch, roll, yaw rate dan vertical rate yang masih dalam rentang normal operating point (diambil rentang nilai dari -0.3 s.d 0.3). Data terbang diambil untuk AR.Drone dengan indoor hull dan outdoor hull.



Gambar 3. Pengambilan Data Terbang AR.Drone

IV. ESTIMASI PARAMETER MODEL

Estimasi parameter model pada masing masing struktur model pada Gambar 1 dilakukan dengan menggunakan *least-square method*. Untuk menjelaskan proses estimasi diambil contoh estimasi nilai r_0 dan r_1 . Untuk estimasi parameter ini diperlukan data setpoint roll ϕ_{ref} dan roll yang terukur ϕ . Kedua data terbang ini disusun sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \phi(t) \\ \phi(t+1) \\ \vdots \\ \phi(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi(t-1) & \phi_{ref}(t-1) \\ \phi(t) & \phi_{ref}(t) \\ \vdots & \vdots \\ \phi(n-1) & \phi_{ref}(n-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Secara umum persamaan di atas dapat dinyatakan dengan bentuk sebagai berikut

$$\psi = \Phi \vartheta \tag{3}$$

dimana ψ adalah vektor output, Φ adalah *matrix regressor* dan ϑ adalah vektor parameter. Dengan menggunakan *least-square method* vektor parameter dapat dicari dengan menggunakan persamaan (4).

$$\vartheta = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T \psi \tag{4}$$

Dengan menggunakan persamaan (4) diperoleh nilai parameter dari ke empat model seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

TABLE I. NILAI PARAMETER MODEL

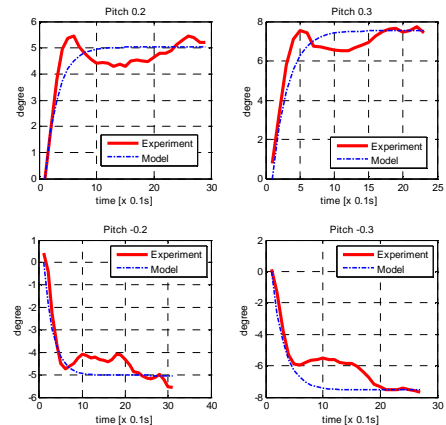
Parameters of model	Indoor Hull	Outdoor Hull
p_0	9.0989	7.2056
p_1	0.6382	0.6465
p_2	-0.0233	-0.0221
p_3	0.9197	0.9600
r_0	8.3805	8.9479
r_1	0.6613	0.6232
r_2	0.0199	0.0217
r_3	0.9277	0.932
y_0	95.9915	83.6962
y_1	0.121	-0.0105
z_0	0.4808	0.2795
z_1	0.5167	0.7278

V. VALIDASI MODEL

Hasil validasi model akan dipaparkan disini untuk model AR.Drone dengan *indoor hull*. Di akhir sesi ini akan

ditampilkan komparasi grafik validasi model antara *indoor hull* dengan model *outdoor hull*. Untuk menguji apakah parameter model yang dihasilkan menghasilkan model yang valid untuk AR.Drone dilakukan validasi dengan menggunakan data navigasi baru lagi dengan prosedur pengambilan data yang sama dengan sebelumnya. Dari data yang diperoleh beberapa validasi dilakukan diantaranya sebagai berikut:

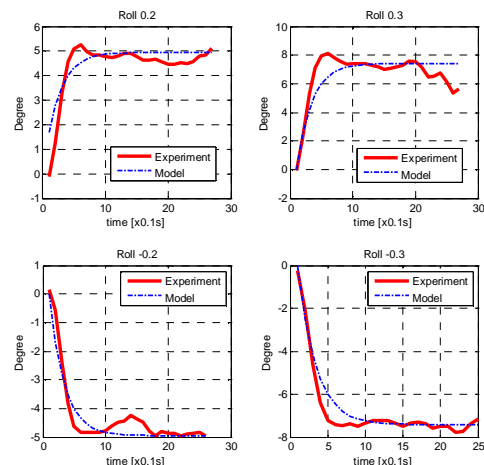
- Validasi *pitch*: validasi *pitch* dilakukan untuk mengetahui apakah model *pitch* yang didapatkan dapat merepresentasikan *real time experiment data pitch*. Berikut adalah grafik hasil perbandingan model dan *real time experiment*



Gambar 4. Validasi model untuk beberapa input pitch

Terlihat bahwa model dapat merepresentasikan *real time data experiment* dengan baik walaupun ada sedikit overshoot di awal awal. Secara umum respon *real time data* mencapai *settling* pada kisaran waktu 2.5 detik.

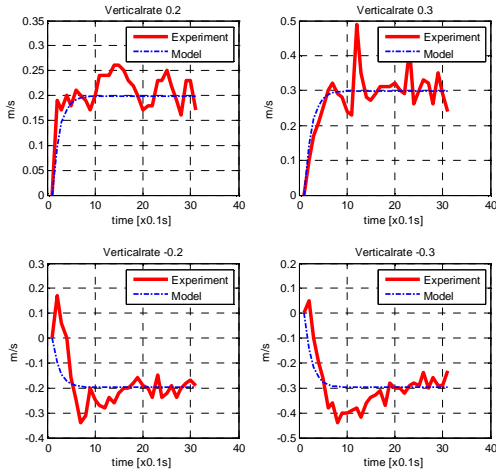
- Validasi *roll* : validasi *roll* dilakukan untuk melihat performansi model untuk berbagai input *roll*. Gambar 5 menunjukkan hasil perbandingan model dengan data *real time experiment*.



Gambar 5. Validasi model untuk beberapa input roll

Terlihat bahwa model yang dihasilkan dapat mengikuti data *experiment* untuk berbagai kemungkinan input *roll* dengan sangat baik

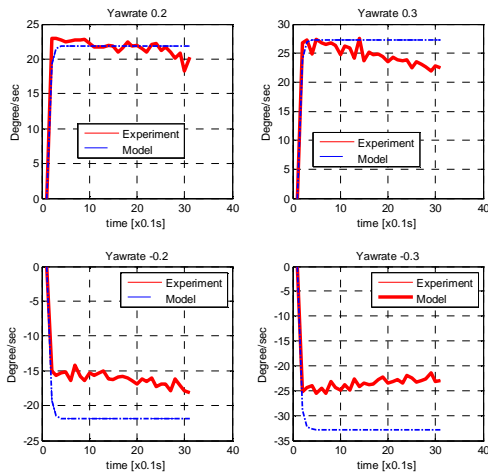
- Validasi *vertical rate*: validasi dilakukan untuk melihat performansi model dalam mengestimasi *vertical rate* dari AR.Drone. Gambar 6 di bawah menunjukkan hasil dari validasi model *vertical rate*



Gambar 6. Validasi model untuk beberapa input *vertical rate*.

Dari validasi terlihat bahwa model sangat bagus merepresentasikan data eksperimen untuk berbagai nilai *vertical rate*.

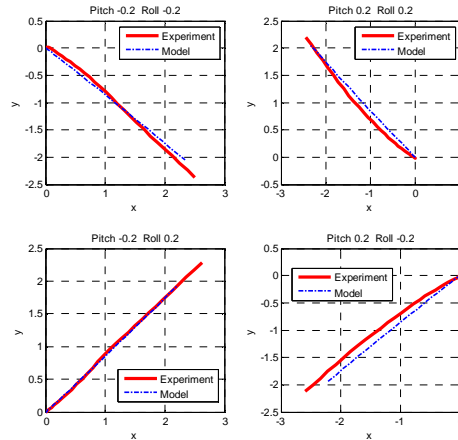
- Validasi *yaw rate*: validasi dilakukan untuk melihat performansi model dalam mengestimasi *yaw rate* dari AR.Drone. Gambar 7 menunjukkan hasil dari validasi ini.



Gambar 7. Validasi model untuk input *yawrate*

Dari Gambar 7 terlihat bahwa model *yaw rate* dapat merepresentasikan data untuk input 0.2 dengan baik, namun untuk input lain terlihat ada error yang relatif konstan.

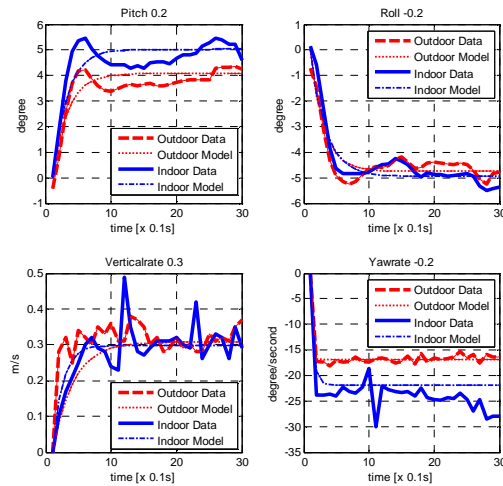
- Validasi *x* dan *y-position*: validasi dilakukan untuk melihat performansi model dalam mengestimasi posisi *x* dan *y* secara bersamaan sebagai hasil perhitungan *rotation matrix* dan integrasinya terhadap waktu. Gambar 8 menunjukkan hasil dari validasi ini



Gambar 8. Validasi model *x* dan *y-position* untuk kombinasi beberapa input.

Dari grafik terlihat bahwa model *x* dan *y-position* model dapat merepresentasikan *real time experiment data* dengan baik.

- Perbandingan *indoor* dan *outdoor hull*: validasi ini untuk menunjukkan perbandingan model AR.Drone dengan *indoor hull* dan *outdoor hull* dalam merepresentasikan data eksperimen. Gambar 9 menunjukkan hasil perbandingan ini.



Gambar 9. Perbandingan model dengan *indoor* dan *outdoor hull*.

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa ada perbedaan antara model AR.Drone dengan *indoor* dan *outdoor hull* untuk *pitch* dan *yaw rate*. Ini berarti bahwa penggunaan *indoor hull* dan *outdoor hull* sangat mempengaruhi dinamika model pada *pitch* dan *yaw rate*. Pada model *vertical rate* terlihat bahwa bahwa penggunaan *indoor* dan *outdoor hull* kurang signifikan

mempengaruhi *vertical rate* terlihat bahwa grafik relatif mempunyai *steady state* yang sama. Selanjutnya terlihat perbedaan sedikit antara *indoor* dan *outdoor hull* pada *yaw rate*.

VI. KESIMPULAN

Hasil validasi yang didapat menunjukkan bahwa model dapat merepresentasikan dinamika *pitch*, *roll* dan *vertical rate* untuk berbagai variasi input dengan baik. Namun demikian untuk *yaw rate* hasilnya masih kurang memuaskan yang kemungkinan disebabkan adanya pergeseran bacaan pada *yaw* AR.Drone. Penggunaan *indoor* dan *outdoor hull* mempengaruhi dinamika model terutama pada *pitch*, *roll* dan *yawrate* namun untuk *vertical rate* hasilnya relatif konstan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krajnik.T, Vonasek.V, Fiser.D, Faigl.J, "AR-Drone as a platform for Robotic Research and Education", draft version of the paper in Research and Education in Robotics: EUROBOT 2011, Heidelberg, Springer , 2011.
- [2] P. Jean Bristeau, F. Callou, D. Vissiere, N. Petit, " The Navigation and Control Technology Inside the AR Drone Micro UAV", Preprints of the 18th IFAC World Congress,Milano, Italy, August 28 – September 2, 2011.
- [3] M. Mogenson, "The AR Drone LabVIEW Toolkit: A Software Framework for the Control of Low-Cost Quadrotor Aerial Robots", Master Thesis, TUFTS University, May 2012
- [4] G. Martin,"Modeling and Control of the Parrot AR.Drone", Final Project Report SEIT, UNSW Canberra, 2012.
- [5] Y.Sun, "Modeling, Identification and Control of a Quadrotor Drone Using Low-Resolution Sensing ," Master of Science Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2012
- [6] M. De Lellis Costa de Oliveir, "Modeling, Identification and Control of Quadrotor Aircraft ," Master Thesis, Dept.of Control Engineering, Czech Technical University in Prague, 2011.
- [7] A. Prayitno, "Perancangan Simulink Model Dari AR.Drone Sebagai Simulator Kontrol Quadrotor," Proceeding Seminar Nasional Riset Teknologi Informasi, 2013, pp. 203-209.

Desain Smart Meter Untuk Memantau Dan Identifikasi Pemakaian Energi Listrik Pada Sektor Rumah Tangga Menggunakan Backpropagation Neural Network

Koko Hutoro^[1], Adi Soeprijanto^[2], Ontoseno Penangsang^[3], Mat Syai'in^[4]

^{[1],[2],[3]} Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

^[4] Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jalan Raya ITS, Surabaya 60111, Indonesia

koko12@mhs.ee.its.ac.id, adisup@ee.its.ac.id, ontosenop@ee.its.ac.id, matt.syaiin@gmail.com

Abstract – This paper proposes a concept of smart meters as a replacement of kWh meters. Smart meters are one of the energy management solutions that allow consumers to obtain statistical data of electrical energy consumption in detail. Smart meters are designed to have features that can monitor the load current, identify electronic appliances and record the actual electrical energy consumption include the use of electronic appliances and the time to show the cost to be paid by the consumer. In addition, smart meters have the ability to identify different loads with the same active power. These features are not owned by the kWh meter analog and digital. In the design process, smart meters is using ACS712 current sensor devices as a substitute for the current transformer. The reason ACS712 current sensor selection is to minimize the distortion phenomenon in the current measurement of the current transformer. Experimental and simulation results obtained to validate the methodology and to demonstrate some benefits that can be achieved with the introduction of smart meters are applied to the household sector in the context of the identification of the load profile. In addition, this study implements backpropagation neural network method as a method that is able to identify the load offline. Of the proposed method, obtained significant results that include an efficient computational time and accuracy.

Keywords – Smart Meter, Energy Management, Backpropagation Neural Network, Identification Load Profile

Abstrak—Makalah ini mengusulkan sebuah konsep smart meter sebagai pengganti kWh meter. Smart meter merupakan salah satu solusi manajemen energi yang memungkinkan konsumen untuk memperoleh data statistik konsumsi energi listrik secara terperinci. Smart meter yang dirancang memiliki fitur-fitur yang dapat memantau arus beban, mengidentifikasi peralatan-peralatan elektronika dan mencatat pemakaian energi listrik secara aktual meliputi waktu penggunaan peralatan elektronika serta menampilkan biaya yang harus dibayarkan oleh konsumen. Selain itu, smart meter memiliki kemampuan mengidentifikasi beban yang berbeda dengan daya aktif yang sama. Fitur-fitur tersebut tidak dimiliki oleh kWh meter analog dan digital. Dalam proses perancangan, smart meter menggunakan piranti sensor arus ACS712 sebagai pengganti transformator arus. Alasan pemilihan sensor arus ACS712 adalah untuk meminimalkan fenomena distorsi dalam pengukuran arus dari transformator arus. Hasil eksperimen dan simulasi diperoleh untuk memvalidasi metodologi dan untuk menunjukkan beberapa manfaat yang dapat dicapai dengan pengenalan smart meter yang diaplikasikan pada sektor rumah tangga dalam konteks identifikasi profil beban. Selain itu, penelitian ini menerapkan metode backpropagation neural network sebagai metode yang mampu mengidentifikasi beban secara offline. Dari metode yang diusulkan, diperoleh hasil yang

signifikan yang meliputi waktu komputasi yang efisien dan akurasi yang baik.

Kata kunci – Smart Meter, Manajemen Energi, Backpropagation Neural Network, Identifikasi Profil Beban

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini, konservasi energi merupakan isu yang menantang karena secara eksponensial meningkatkan kebutuhan energi. Sumber daya energi fosil yang terbatas dan diperkirakan kebutuhan energi global akan meningkat dua kali lipat pada akhir tahun 2030 [1]. Hal ini akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan yakni menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur dioksida (SO_2). Para peneliti sedang berusaha untuk mengembangkan solusi teknologi untuk mengatasi masalah ini [2]. Perekonomian, perubahan iklim dan krisis energi pada suatu negara secara langsung dipengaruhi oleh pertumbuhan konsumsi energi. Penurunan pemborosan energi dapat dicapai melalui pemantauan konsumsi energi dan menyampaikan informasi ini kembali (umpan balik) kepada konsumen [3-4]. Beberapa studi menunjukkan bahwa penghematan energi maksimum dapat dicapai dengan menggunakan mekanisme umpan balik langsung yaitu memberikan informasi penggunaan energi listrik secara *real time* [4].

Secara umum, sistem instrumentasi pemantauan beban klasik menggunakan banyak sensor karena sensor dipasang pada setiap beban. Sistem ini membutuhkan biaya yang besar untuk pemasangan dan pemeliharaan. Oleh karena itu, sistem instrumentasi pemantauan beban klasik terlalu rumit untuk diterapkan pada sektor rumah tangga [5]. Dimasa depan, sistem pemantauan beban akan fokus pada teknik pengembangan strategi untuk meminimalkan jumlah peralatan instrumentasi dengan menggunakan sistem *Non Intrusive Load Monitoring (NILM)* [5-6]. Sistem *Non Intrusive Load Monitoring* hanya memerlukan sensor tegangan dan arus. Kedua sensor ini tidak terpasang pada setiap beban. Sensor ini mengirimkan informasi penggunaan energi listrik untuk sistem manajemen energi rumah untuk pemantauan dan pengendalian beban. Melalui teknik ini, penggunaan energi setiap beban dapat diperoleh dan dikendalikan [7]. Sistem *Non Intrusive Load Monitoring* menawarkan instalasi peralatan instrumentasi yang sederhana. Oleh karena itu, sistem *Non Intrusive Load Monitoring* menjadi skema sistem manajemen energi yang handal [8-9].

Saat ini telah ada jurnal – jurnal yang membahas jaringan saraf tiruan untuk meningkatkan kinerja sistem *Non Intrusive*

Load Monitoring sebagai metode identifikasi beban. Beberapa metode telah digunakan untuk mengidentifikasi beban berdasarkan kondisi transien menggunakan transformasi wavelet [10] dan *steady state* menggunakan transformasi fast fourier [11] menggunakan metode kecerdasan buatan yang memiliki kemampuan klasifikasi yakni *multilayer perceptron*, *radial basis function*, *support vector machine*, dan *backpropagation neural network* secara *offline*.

Penelitian ini mengusulkan konsep smart meter yang sederhana untuk memantau dan identifikasi pemakaian energi listrik pada sektor rumah tangga dengan memanfaatkan besarnya arus *root mean square* dengan variasi sampel tegangan yang berbeda dari setiap peralatan-peralatan elektronika tanpa menggunakan transformasi wavelet maupun transformasi fast fourier. Proses identifikasi beban dilakukan secara *offline* dan *online*. Metode *backpropagation neural network* dengan metode pelatihan Lavenberg-Marquardt hanya digunakan untuk identifikasi *offline*. Konsep smart meter dalam penelitian ini menawarkan biaya teknologi yang murah tetapi memiliki fitur-fitur yang tidak dimiliki kWh meter analog maupun digital yang terpasang dirumah-rumah konsumen. Perlu ditegaskan bahwa penelitian ini dirancang tidak terlepas dari konsep dan tujuan sistem *Non Intrusive Load Monitoring* sehingga akan memberikan manfaat bagi masyarakat.

II. DATA PERSIAPAN

Gambar. 1 menggambarkan skema smart meter yang digunakan untuk memantau gelombang arus dari peralatan-peralatan elektronika. Smart Meter ini terdiri dari satu sumber listrik satu fasa (1ϕ), satu buah sensor arus, perangkat mikrokontroler ATmega 328, sebuah laptop dan lima buah peralatan elektronika sebagai beban yang terdiri dari setrika, kompor listrik, pemanas air minum (dispenser), blender, dan mixer.

A. Akuisisi Data

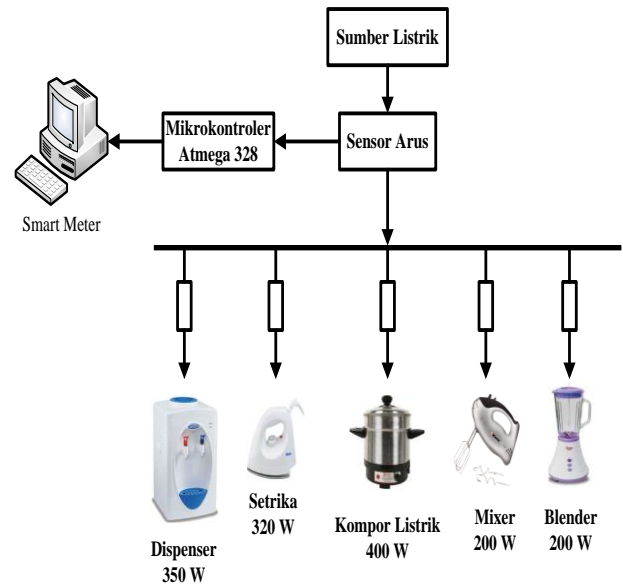
Parameter utama yang akan diperoleh adalah arus dengan tegangan yang bervariasi dari peralatan-peralatan elektronika. Sampel data arus yang representatif dari beban peralatan-peralatan elektronika harus dipantau dan dikumpulkan untuk tujuan pelatihan *backpropagation neural network*. Frekuensi sampling adalah sekitar 120 Hz.

B. Data Preprocessing

Pelatihan *backpropagation neural network* dapat dibuat lebih efisien jika langkah-langkah *preprocessing* tertentu dilakukan pada masukan jaringan. Sebelum pelatihan, seringkali dilakukan penskalaan pada masukan dan target dalam kisaran tertentu dengan tujuan untuk menormalisasi data dengan menggunakan mean dan deviasi standar. Persamaan normalisasi masukan dan target :

$$p_n = (P - \text{mean}_p) / \text{std}_p \quad (1)$$

$$t_n = (t - \text{mean}_t) / \text{std}_t \quad (2)$$



Gambar 1. Skema smart meter

Dengan matriks P dan t adalah masukan jaringan asli dan target. Meanp adalah mean pada matriks masukan asli. Meant adalah mean pada matriks target asli. Stdp adalah deviasi standar pada matriks masukan asli. Stdt adalah deviasi standar pada matriks target asli.

III. METODE YANG DIUSULKAN

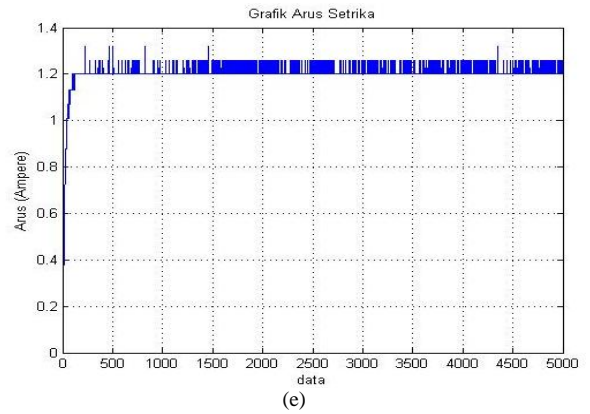
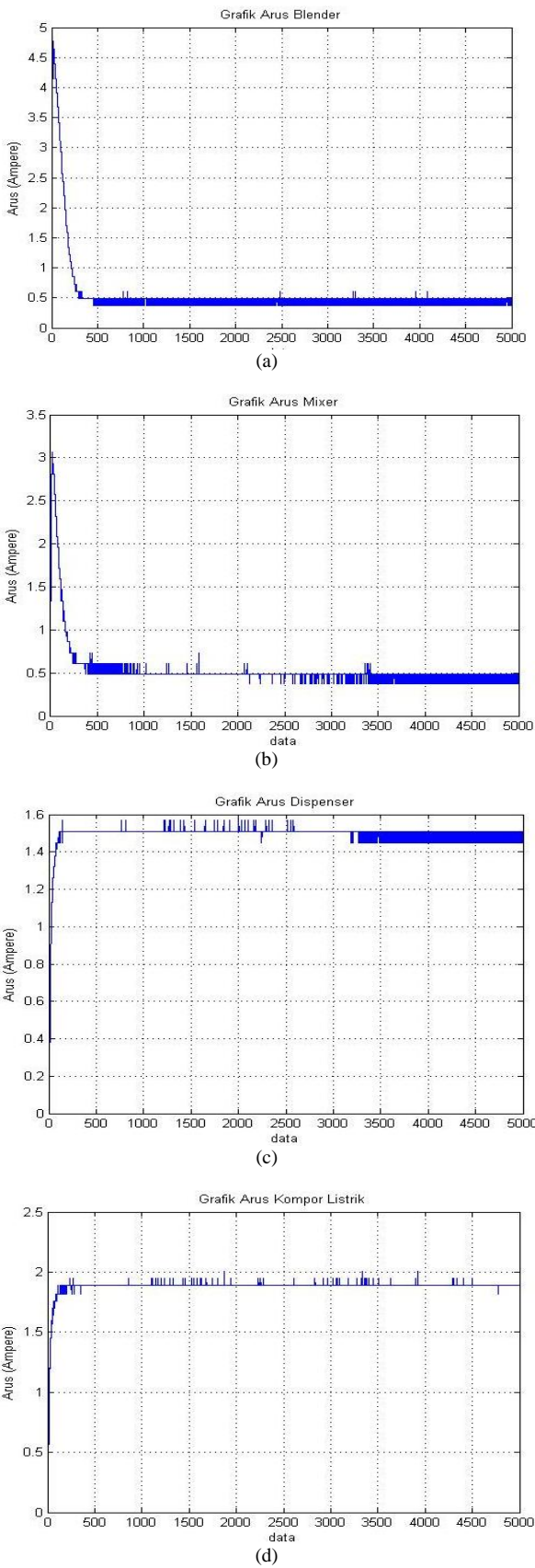
A. Pengukuran arus root mean square peralatan-peralatan elektronika

Modul sensor ini memiliki keunggulan dalam pengukuran arus dengan ketepatan yang tinggi karena didalamnya terdapat rangkaian *low offset*, rangkaian *linear hall* yang terbuat dari tembaga, terintegrasi dengan rangkaian *operational amplifiers* tambahan untuk meningkatkan sensitivitas dan tidak menggunakan *iron cores*. Arus yang mengalir melalui tembaga menghasilkan medan magnet lalu dikonversikan oleh Hall IC menjadi tegangan proporsional. Selain itu, distorsi pengukuran arus yang dihasilkan lebih sedikit apabila dibandingkan dengan menggunakan transformator arus.

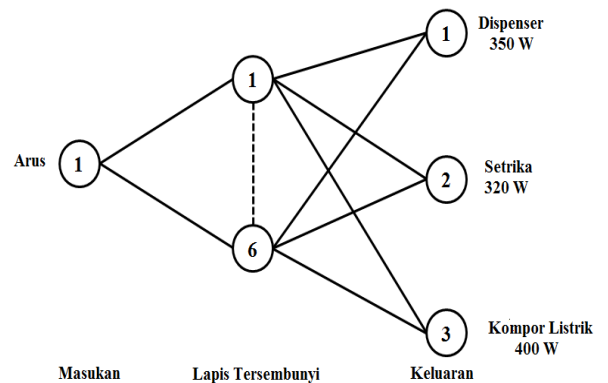
Modul sensor arus ACS712 digunakan untuk mendeteksi dan mengukur arus *root mean square* dari peralatan-peralatan elektronika seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Pada metode ini, modul sensor arus ACS712 terhubung secara seri dengan beban peralatan-peralatan elektronika. Jumlah modul sensor arus ACS712 yang digunakan berjumlah satu.

B. Backpropagation Neural Network (BPNN)

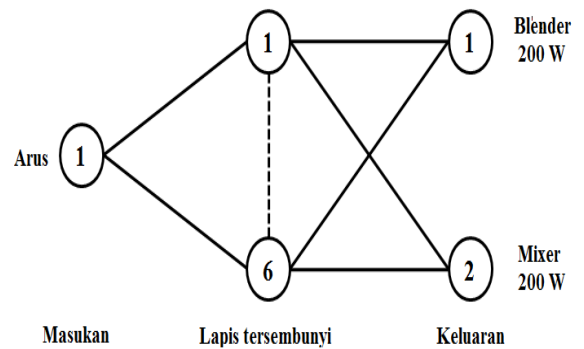
Secara umum, arsitektur *backpropagation neural network* terdiri dari tiga bagian yaitu bagian masukan, lapis tersembunyi dan bagian keluaran termasuk neuron. Neuron pada struktur *backpropagation neural network* merupakan elemen pemroses.



Gambar 2. Plot arus *root mean square* dari setiap beban peralatan-peralatan elektronika yang dideteksi dan diukur oleh smart meter. Pada Gambar. 2 (a) dan (b), merupakan grafik arus dari sebuah blender dan mixer 200 watt. Pada Gambar. 2 (c) dan (d), merupakan grafik arus dari sebuah dispenser 350 watt, kompor listrik 400 watt dan setrika 320 watt.



Gambar 3. Model BPNN yang dirancang untuk operasi tiga beban pada studi kasus 1.



Gambar 4. Model BPNN yang dirancang untuk operasi dua beban pada studi kasus 2.

Gambar 3 dan 4 menunjukkan struktur *backpropagation neural network* untuk operasi beban yang berbeda dalam studi kasus 1 dan 2. *Backpropagation neural network* terdiri dari tiga lapisan. Neuron masukan berjumlah satu yaitu arus. Pada semua studi kasus, lapis tersembunyi berjumlah enam. Neuron keluaran pada studi kasus 1 berjumlah tiga dan neuron keluaran pada studi kasus 2 berjumlah dua. Peralatan individu yang diidentifikasi merupakan neuron keluaran. Neuron pada lapis tersembunyi berjumlah enam karena ditentukan oleh kompleksitas pemetaan pada masukan dan keluaran.

C. Metode Lavenberg-Marquardt

Metode pelatihan yang digunakan pada *backpropagation neural network* adalah Levenberg-Marquardt. Algoritma Levenberg Marquardt dirancang dengan menggunakan turunan orde dua tanpa harus menghitung matriks Hessian. Apabila jaringan syaraf *feedforward* menggunakan fungsi kinerja *sum of square*, maka persamaan matriks hessian adalah:

$$H = J^T J \quad (3)$$

Dan gradient dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$g = J^T e \quad (4)$$

Dengan J adalah matriks Jacobian yang berisi turunan pertama dari *network errors* yang berhubungan dengan bobot dan bias, dan e adalah vektor *network errors*. Matriks Jacobian dapat dihitung melalui teknik *backpropagation* standar yang jauh lebih sederhana daripada menghitung matriks Hessian.

$$X_{k+1} = X_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (5)$$

Dengan scalar μ bernilai nol.

Algoritma Levenberg-Marquardt pada persamaan (5) menggunakan pendekatan untuk menghitung matriks Hessian melalui perbaikan metode Newton.

IV. HASIL EKSPERIMEN

A. Studi Kasus

Studi kasus terbagi menjadi dua jenis yaitu studi kasus untuk mengidentifikasi beban yang berbeda dengan daya aktif yang berbeda (studi kasus 1). Adapun beban-beban yang digunakan adalah dispenser 350 watt, setrika 320 watt dan kompor listrik 400 watt. Pada studi kasus 1, dengan mengubah pemutus sirkuit nomor 1 sampai ke nomor 3 pada beberapa operasi berbeda akan menghasilkan sampel data arus untuk beberapa kombinasi beban. Dari ketiga jenis beban tersebut maka akan diperoleh tujuh kombinasi beban. Setiap data kombinasi beban mencakup variasi tegangan dari -5% sampai +5% pada interval 1%. Jumlah data yang dihasilkan sebesar 77 sampel data arus.

Studi kasus untuk mengidentifikasi beban yang berbeda dengan daya aktif yang sama (studi kasus 2). Adapun beban-beban yang digunakan adalah blender 200 watt dan mixer 200 watt. Pada studi kasus 1, dengan mengubah pemutus sirkuit nomor 1 sampai ke nomor 2 pada beberapa operasi berbeda akan menghasilkan sampel data arus untuk beberapa kombinasi beban. Dari kedua jenis beban tersebut maka akan diperoleh tiga kombinasi beban. Setiap data kombinasi beban mencakup variasi tegangan dari -5% sampai +5% pada interval 1%. Jumlah data yang dihasilkan sebesar 33 sampel arus.

Data untuk algoritma *backpropagation neural network* dikategorikan menjadi dua jenis yaitu data pelatihan dan data pengujian. Pada studi kasus 1, dari tiga jenis beban maka akan

diperoleh tujuh kombinasi beban. Jumlah data yang dihasilkan sebesar 77 sampel data arus. Data pelatihan yang digunakan sebanyak 56 sampel data arus dan data pengujian yang digunakan sebanyak 21 sampel data arus. Pada studi kasus 2, dari dua jenis beban maka akan diperoleh tiga kombinasi beban. Jumlah data yang dihasilkan sebesar 33 sampel data arus. Data pelatihan yang digunakan sebanyak 24 sampel data arus dan data pengujian yang digunakan sebanyak 9 sampel data arus.

Data pelatihan dan data pengujian dipilih secara acak dari semua data. Simulasi program *backpropagation neural network* dirancang menggunakan MATLAB. Pada setiap kasus, *backpropagation neural network* dilatih dengan maksimum epoch adalah 5000, laju pelatihan adalah 0.1, gradien minimum adalah 1e-10, maksimum kegagalan adalah 5 dan kinerja tujuan adalah 1e-10. Program dijalankan pada laptop MSI dengan spesifikasi intel core i3 2.53 Ghz.

B. Hasil

Pada studi kasus 1, algoritma *backpropagation neural network* digunakan untuk mengidentifikasi beban dalam kondisi arus dengan beban yang berbeda dan daya yang berbeda. Beban ini termasuk dispenser 350 watt, setrika 320 watt dan kompor listrik 400 watt.

TABEL I
HASIL IDENTIFIKASI BEBAN PADA STUDI KASUS 1

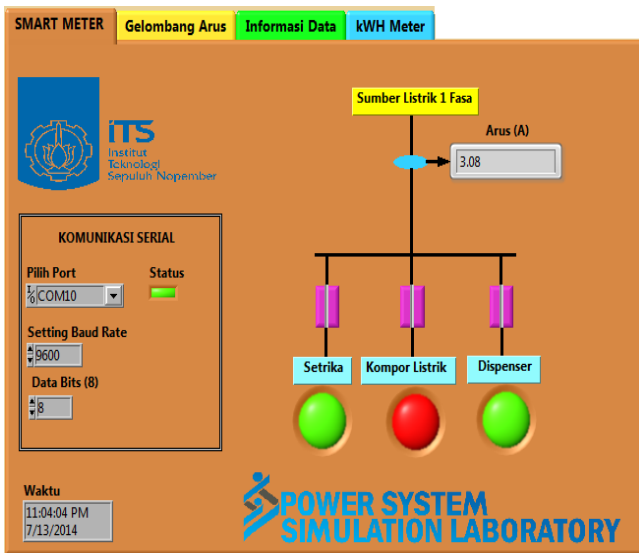
Jumlah sampel (data)	77
Akurasi Pelatihan (%)	100
Akurasi pengujian (%)	99
Waktu Pelatihan (detik)	139
Waktu Pengujian (detik)	4.8
Jumlah epoch (iterasi)	307

Tabel I menunjukkan bahwa akurasi pengenalan uji beban dengan beberapa operasi yang berbeda menggunakan metode yang diusulkan (*backpropagation neural network* dengan metode pelatihan Lavenberg-Marquardt) mencapai akurasi pelatihan sebesar 100% dan akurasi pengujian sebesar 99% dengan waktu komputasi 139 detik untuk pelatihan dan 4.8 detik untuk pengujian.

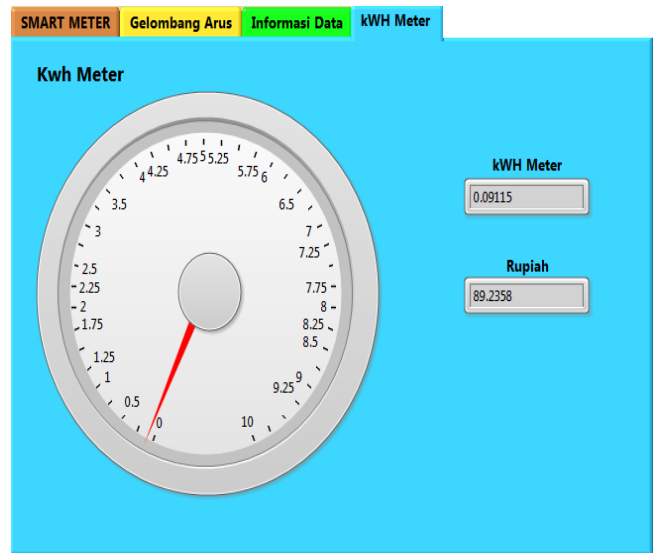
Pada studi kasus 2, algoritma *backpropagation neural network* digunakan untuk mengidentifikasi beban dalam kondisi arus dengan beban yang berbeda dan daya yang sama. Beban ini termasuk blender 200 watt dan mixer 200 watt.

TABEL II
HASIL IDENTIFIKASI BEBAN PADA STUDI KASUS 2

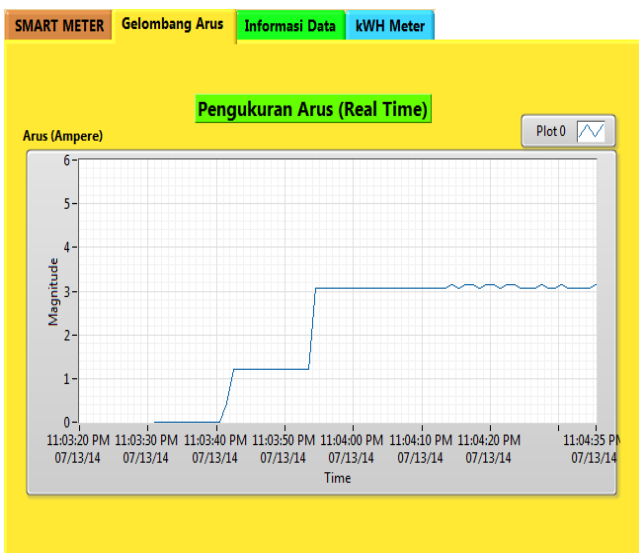
Jumlah sampel (data)	33
Akurasi Pelatihan (%)	100
Akurasi pengujian (%)	99
Waktu Pelatihan (detik)	52
Waktu Pengujian (detik)	3.46
Jumlah epoch (iterasi)	42



Gambar 5. Smart meter pada studi kasus 1



Gambar 8. Pengukuran penggunaan energi dan billing secara aktual



Gambar 6. Pengukuran arus dari smart meter secara aktual

Sistem Informasi Data Beban

Tanggal	Waktu	Dispenser	Kompor	Setrika	Arus (A)	kVA
7/13/2014	11:04:47 PM	1	0	1	3.080000	0.677600
7/13/2014	11:04:48 PM	1	0	1	3.080000	0.677600
7/13/2014	11:04:49 PM	1	0	1	3.080000	0.677600
7/13/2014	11:04:50 PM	1	0	1	3.080000	0.677600
7/13/2014	11:04:51 PM	1	0	1	3.080000	0.677600
7/13/2014	11:04:52 PM	1	0	1	3.020000	0.664400
7/13/2014	11:04:53 PM	1	0	1	3.020000	0.664400
7/13/2014	11:04:54 PM	1	0	1	3.080000	0.677600
7/13/2014	11:04:55 PM	1	0	1	3.020000	0.664400
7/13/2014	11:04:56 PM	1	0	1	3.020000	0.664400
7/13/2014	11:04:57 PM	1	0	1	3.020000	0.664400
7/13/2014	11:04:58 PM	1	0	1	3.020000	0.664400
7/13/2014	11:04:59 PM	1	0	1	3.020000	0.664400

Gambar 7. Sistem informasi beban

Tabel II menunjukkan bahwa akurasi pengenalan uji beban dengan beberapa operasi yang berbeda menggunakan metode yang diusulkan (*backpropagation neural network* dengan metode pelatihan Lavenberg-Marquardt) mencapai akurasi pelatihan sebesar 100% dan akurasi pengujian sebesar 99% dengan waktu komputasi 52 detik untuk pelatihan dan 3.46 detik untuk pengujian.

Gambar 5-8 menunjukkan fitur-fitur yang dimiliki oleh smart meter meliputi tampilan indikator kondisi beban (hidup dan mati), pengukuran arus secara aktual, sistem informasi data beban berdasarkan indikator beban, jumlah penggunaan energi, dan billing yang harus dibayarkan oleh konsumen. Fitur-fitur tersebut tidak dimiliki oleh kWh meter analog maupun digital yang terpasang dirumah-rumah konsumen.

V. KESIMPULAN

Makalah ini menerapkan metode *backpropagation neural network* dengan metode pelatihan Lavenberg-Marquardt untuk meningkatkan efisiensi identifikasi beban dan kecepatan komputasi secara *offline*. Dari hasil eksperimen menyatakan bahwa metode yang diusulkan pada makalah ini memiliki akurasi yang baik dalam mengidentifikasi beban secara *offline* sebesar 99% untuk akurasi pengujian pada kedua studi kasus. Selain itu, metode konvensional dengan memanfaatkan magnitude arus *root mean square* dari masing-masing peralatan elektronika menunjukkan kehandalan yang baik. Hal ini dapat ditinjau dari pengujian terhadap variasi tegangan yang berbeda, perubahan konsumsi daya beban, dan mode operasional beban yang berbeda-beda secara simultan.

RENCANA PENELITIAN SELANJUTNYA

Penelitian ini dibuat dengan dua konsep yaitu identifikasi *offline* dan *online* dengan menggunakan perangkat lunak yang berbeda. Hal ini dikarenakan, pada saat ini penulis masih belum bisa menerapkan dan mengembangkan metode *backpropagation neural network* pada perangkat lunak

labview untuk identifikasi *online*. Untuk rencana penelitian selanjutnya, penulis akan mencoba menerapkan metode kecerdasan buatan dengan menggunakan perangkat lunak labview.

REFERENSI

- [1] Uteley, J., Shorrock, L, "Domestic Energy Fact File 2008", Technical Report for Building Research Establishment : Garston, UK, 2008.
- [2] Zoha, A., Gluhak, A., Imram, M. Ali., and Rajasegarar, S, "Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey", Sensors, 2012.
- [3] Ehrhardt Martinez, K., Donnelly, K.A., Laitner, J.A, "Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Households Electricity-Saving Opportunities", Technical Report E105 for American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEE), USA, 2010.
- [4] Energy Consumption in United Kingdom, Technical Report for Department of Energy & Climate Change, London, 2010
- [5] Hart, G.W, " Nonintrusive Appliance Load Monitoring", Proceedings IEEE, Vol. 80, No. 12, December 1992.
- [6] J. G. Roos, I. E. Lane, E. C. Botha, and G. P. Hanche, "Using neural networks for non-intrusive monitoring of industrial electrical loads," in Proceedings of IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 10-12 May 1994.
- [7] Lin, H.Y., and Tsai, M.S, "Applications Of Hierarchical Support Vector Machines For Identifying Load Operation In Nonintrusive Load Monitoring Systems", Proceeding Of World Congress On Intelligent Control And Automation, 21-25 June 2011.
- [8] Laughman, C., Lee, K., Cox, R., Shaw, S., Leeb, S., Norford, L., Armstrong, P. "Power Signature Analysis". IEEE Power & Energy Magazine, March/April 2003.
- [9] Hong, Y.Y, Chou, J.H, "Nonintrusive Energy Monitoring for Microgrids Using Hybrid Self-Organizing Feature-Mapping Networks," Energies, 2012.
- [10] Chang, H.H., Chen, K.L., Tsai, Y.P., and Lee, W.J., "A New Measurement Method for Power Signatures of Nonintrusive Demand Monitoring and Load Identification," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 48, March/April 2012
- [11] D, Srinivasan., S, Ng.W., C, Liew.A., "Neural-Network-Based Signature Recognition For Harmonic Source Identification," IEEE Transactions Power Delivery, Vol 21, January 2006

Aplikasi Jaringan Sensor Nirkabel Untuk Monitoring Korban Bencana Alam

M. Zen Samsono Hadi¹, Jodi Ryan Setyawan¹, Rahardita W.S¹, H. Uehara²

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia
Kampus PENS, Jl. Raya ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Toyohashi University of Technology, Japan

zenhadi@pens.ac.id, jodiryan@student.eepis-its.edu, widi@pens.ac.id, uehara@tut.jp

Abstract - Natural disasters often occur in Indonesia and make people in a drastic decline of health. This requires a rapid and serious handling of the medical team in order to avoid death. The management system is intended to monitor the health of disaster victims with its location. The technology used is a Wireless Sensor Network in which the telecommunications infrastructure in the affected areas down so that it needs alternative technology. On the side of the victims, sensor nodes will be equipped with devices to transmit data such as heart rate, body temperature and GPS. The node uses the ARM microcontroller with pulse sensor and TMP35. Node sends data to the base station using wireless technology XBee Pro S1. From the test results showed that TMP35 is able to detect the body temperature with an error rate of 0,55% and for time transmission of GPS SkyNav SKM53 requires an average 53 seconds.

Bencana alam sering terjadi di Indonesia dan mengakibatkan orang mengalami penurunan kesehatan yang drastis. Tentunya hal ini memerlukan penanganan yang cepat dan serius dari tim medis agar terhindar dari kematian. Sistem yang dibuat ini bertujuan untuk melakukan monitoring kesehatan korban bencana alam disertai lokasinya. Teknologi yang digunakan adalah Jaringan Sensor Nirkabel di mana infrastruktur telekomunikasi pada daerah bencana lumpuh sehingga diperlukan alternatif teknologinya. Pada sisi korban akan dilengkapi perangkat sensor simpul untuk mengirimkan data kondisinya berupa detak jantung dan suhu tubuh, selain itu juga dilengkapi GPS untuk mengetahui lokasi korban tersebut. Simpul tersebut menggunakan mikrokontroler ARM yang merupakan arsitektur prosesor 32-bit dan menggunakan pulse sensor untuk mendeteksi denyut nadi korban serta TMP35 untuk mendeteksi suhu tubuh korban. Pengiriman data ke sisi base station menggunakan teknologi nirkabel Xbee Pro S1. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa TMP 35 mampu mendeteksi suhu tubuh dengan error rate sebesar 0.55%. Untuk waktu transmisi GPS SkyNav SKM53 memerlukan rata-rata 53 detik.

Keywords: Jaringan Sensor Nirkabel, pulse sensor, suhu tubuh, GPS

I. PENDAHULUAN

Wilayah negara Indonesia memiliki kondisi geologis dan geografis yang menjadikannya rawan terhadap bencana alam. Berdasarkan pencatatan BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), data sementara menyebutkan telah terjadi lebih dari 300 kejadian bencana di triwulan pertama di tahun 2013 [1], dengan demikian rata-rata 10 kali kejadian terjadi setiap harinya. Hal ini

membuktikan begitu besarnya ancaman bencana bagi kehidupan masyarakat di Indonesia terutama yang tinggal di daerah rawan bencana.

Seiring berkembangnya teknologi, bermunculan berbagai sistem atau alat yang dapat mengetahui kondisi alam pada daerah rawan bencana sehingga dapat diramalkan jika akan terjadi bencana sebagai peringatan dini. Kondisi real yang terjadi di lapangan, warga cenderung panik dan tidak mengetahui lokasi pengungsian yang aman secara cepat dan tepat, sehingga pada saat terjadi bencana alam banyak jatuh korban jiwa. Permasalahan lain yang timbul adalah hampir semua infrastruktur lumpuh, begitu pula sistem telekomunikasi tidak berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Oleh karena itu digunakan suatu sistem jaringan sensor nirkabel sebagai solusi lumpuhnya komunikasi pada suatu lokasi bencana.

Pada saat terjadi bencana alam, jaringan sensor nirkabel atau biasa disebut Wireless Sensor Network memiliki keunggulan, yaitu jaringan sensor nirkabel dapat diterapkan pada berbagai kondisi lingkungan seperti perkotaan, di dalam kondisi *non-line-of-sight* (nLOS) maupun *line of sight* (LOS), sehingga sangat cocok digunakan daerah bencana.

Penelitian sebelumnya telah menggunakan jaringan sensor nirkabel untuk beberapa aplikasi seperti monitoring aktifitas gunung [2], kondisi hutan [3] dan sistem pengendali jarak jauh [4]. Dan pada penelitian ini dikembangkan untuk monitoring kondisi korban pada daerah bencana alam.

II. TEORI PENUNJANG

A. Jaringan Sensor Nirkabel

Jaringan Sensor Nirkabel (JSN) adalah suatu infrastruktur jaringan wireless yang menggunakan sensor untuk memonitor fisik atau kondisi lingkungan sekitar, seperti suhu, suara, getaran, gelombang elektromagnetik, tekanan, gerakan, dan lain-lain. Masing-masing simpul dalam jaringan sensor nirkabel biasanya dilengkapi dengan *radio transceiver* atau alat komunikasi *wireless* lainnya, *mikrokontroler* kecil, dan sumber energi, biasanya baterai.

Sebuah JSN umumnya terdiri atas bagian-bagian berikut :

1. *Transceiver*, berfungsi untuk menerima / mengirim data dengan menggunakan protokol IEEE 802.15.4

kepada perangkat lain seperti *concentrator*, *modem Wifi*, dan *modem RF*.

2. *Mikrokontroler*, berfungsi untuk melakukan fungsi perhitungan, mengontrol dan memproses perangkat-perangkat yang terhubung dengan mikrokontroler.
3. *Power Source*, berfungsi sebagai sumber energi bagi sistem WSN secara keseluruhan.
4. *External Memory*, berfungsi sebagai tambahan memory bagi sistem WSN.
5. *Sensor*, berfungsi untuk men-sensing besaran-besaran fisis yang hendak diukur.

B. ARM (STM32F405RGT6)

ARM merupakan arsitektur prosesor 32-bit RISC yang dikembangkan oleh *ARM Limited*. Dikenal sebagai *Advanced RISC Machine* yang sebelumnya dikenal sebagai *Acorn RISC Machine*.



Gambar 1. Mikrokontroler ARM Cortex M4

Tabel 1. Spesifikasi Zyrex Cruiser LE4741

Core	ARM 32-bit Cortex-M4
Frekuensi	10 MHz
Supply	1.8 V to 3.6 V
RAM	128 KB
ROM	512 KB

STM32 F4-series [5] adalah kelompok pertama STM32 mikrokontroler berdasarkan inti *ARM Cortex-M4* seperti terlihat pada gambar 1.

C. Pulse Sensor

Pulse Sensor seperti gambar 2 adalah sebuah alat *sensor* untuk mendeteksi detak jantung. Sensor ini ini bersifat *plug and play* sehingga alat ini dapat digunakan secara langsung. *Pulse Sensor* dapat digunakan oleh atlet untuk memperoleh data detak jantung secara nyata.



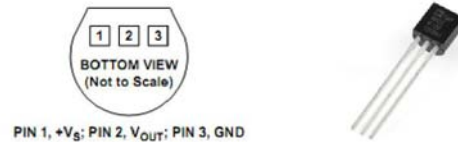
Gambar 2. *Pulse sensor* dan peralatan pelengkap

Tabel 2. Spesifikasi SEN-11574

Supply	3 V atau 5V
Arus keluaran	100 mA
Deteksi heart beat	Indikator lampu LED

D. Sensor Temperatur (TMP-35)

Pada gambar 3 adalah TMP-35, yaitu sensor suhu tegangan rendah dan presisi. *Sensor* ini memiliki tegangan berbanding lurus dengan suhu celcius. Sensor ini dapat bekerja pada tegangan dari 2.7 V hingga 5.5 V. Sensor ini memiliki 3 kaki yang mempunyai fungsi yang berbeda. Berikut adalah gambar dari sensor tersebut:



Gambar 3. (a) Konfigurasi pin ; (b) TMP35

Tabel 3. Spesifikasi TMP35

Supply	2.7 V hingga 5.5 V
Scale Factor	10 mV / °C
Offset Voltage	0 V

E. Global Positioning System (GPS)

Global Positioning System (GPS) merupakan sistem koordinat global yang dapat menentukan koordinat posisi benda di mana saja di bumi baik koordinat lintang, bujur, maupun ketinggiannya. Teknologi ini sudah menjadi standar untuk digunakan pada dunia pelayaran dan penerbangan di dunia.

Berikut adalah spesifikasi dan bentuk fisik dari *SkyNav SKM53* yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4. Spesifikasi *SkyNav SKM53*

Supply	5 V
Protokol	NMEA
Port	1 Serial Port
Sensivitas	-165 dBm
Receiver Type	22 tracking/ 66 acquisition-channel



Gambar 4. Bentuk fisik *SkyNav SKM53*

F. Xbee Pro S1

Xbee Pro S1 merupakan perangkat yang digunakan untuk proses pengiriman dan penerimaan data antar simpul.

Tabel 5. Spesifikasi Xbee Pro S1

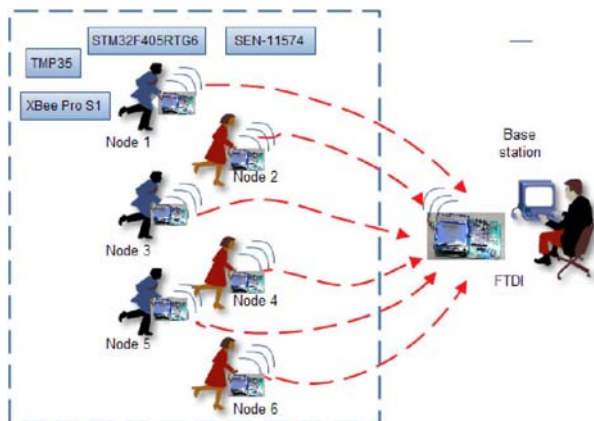
Supply	3.3 V
I/O Port	8 Digital
Range	1500m (datasheet)
Data rate	250 Kbps
Antena	Built in Antena



Gambar 5. Bentuk Xbee Pro S1

III. DESAIN SYSTEM

Perancangan sistem pada penelitian ini dalam memonitor kondisi korban bencana alam berbasis jaringan sensor nirkabel dapat dilihat dalam gambar 6.



Gambar 6. Blok Diagram Sistem

Penjelasan dari blok diagram diatas adalah sebagai berikut:

- a. STM32F405
 STM32F405 merupakan mikrokontroler yang dipakai pada penelitian ini. Mikrokontroler ini akan mengolah data dari TMP35, SEN-11574, dan GPS. Kemudian data tersebut dibuat menjadi satu frame data yang nantinya akan dikirim ke *base station* secara *Single hop* menggunakan Xbee Pro S1.
- b. TMP35
 TMP35 adalah sensor temperatur. Pada penelitian ini sensor tersebut berfungsi sebagai mengukur temperatur suhu tubuh korban dalam derajat Celcius. Nilai dari sensor tersebut berupa nilai bit yang dikonversikan ke suhu pada program yang dibuat. Selanjut nilai suhu tersebut diambil dan diletakkan pada frame data untuk pengiriman ke *base station*.
- c. SEN-11574
 SEN-11574 merupakan *pulse sensor*. Pada penelitian ini sensor tersebut berfungsi sebagai mengukur detak jantung korban dalam BPM (*Beat Per Minute*). Nilai BPM dari sensor diambil dan diletakkan pada frame data untuk pengiriman ke *base station*. Sensor ini diletakkan pada pergelangan tangan korban.
- d. SkyNav SKM53
 SkyNav SKM53 adalah sebuah GPS *transceiver*. GPS berfungsi untuk mengetahui lokasi korban dalam data *longitude* dan *latitude*. Data *longitude* dan *latitude*

diambil dan diletakkan pada *frame data* untuk pengiriman ke *base station*.

- e. Xbee Pro S1
 Xbee Pro S1 merupakan *RF modul* untuk komunikasi *wireless*. Modul tersebut berfungsi sebagai pengiriman frame data yang telah dibuat dari simpul menuju *base station*
- f. FTDI
 FTDI berfungsi sebagai pengolahan data yang diterima dari simpul. Data tersebut kemudian di parsing menggunakan Software yang dibuat pada *Base station*. Setelah itu data tersebut ditampilkan secara visual pada *Base station*.
- g. *Single hop*
Single hop merupakan pengiriman data dari satu simpul ke satu simpul yang lain secara *point-to-point*. Pengiriman data menggunakan *single hop* yang mana data dikirim dari simpul langsung menuju *base station*.
- h. *Base station*
Base station merupakan penerima data dari simpul. Data tersebut kemudian di parsing dan ditampilkan secara visual menggunakan software yang dibuat pada *base station*.

Sesuai dengan blok diagram sistem di atas, simpul mengirim *frame data* ke sisi *base station*. *Frame data* tersebut berisi informasi lokasi (*longitude, latitude*), suhu tubuh dan detak jantung korban serta simpul ID. *Base station* kemudian mendeteksi header dari *frame* tersebut yang ditandai dengan karakter “#”.

Berikut adalah format untuk *frame data* yang dikirim dari simpul ke *base station* di mana *Node_ID* yang diberikan disesuaikan dengan *Node_ID* yang terdaftar di *base station*.

#	Node_ID	Long	Lat	Suhu	BPM	%
---	---------	------	-----	------	-----	---

Gambar 7. Frame data pengiriman

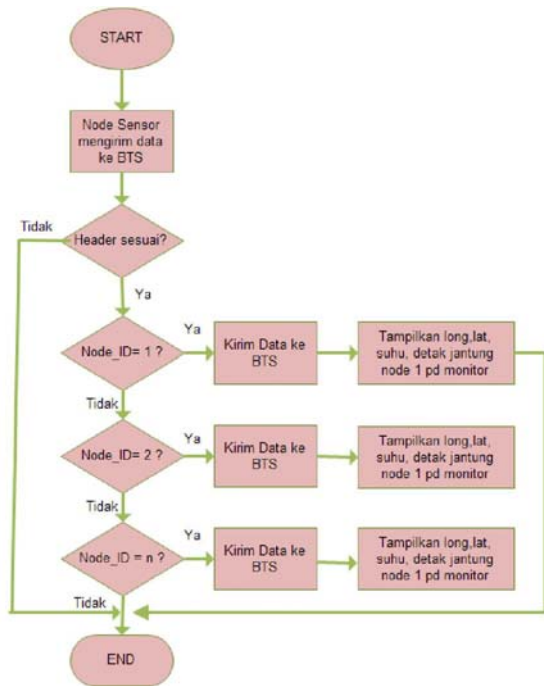
Sebagai *header* data adalah karakter “#”, sedangkan *tail* data adalah karakter “%”. Untuk informasi korban yang dikirim adalah lokasi (*longitude, latitude*), suhu tubuh dan detak jantung / BPM (*beat per minute*).

Flowchart sistem dapat dilihat pada gambar 8, saat simpul sensor mengirim data ke *base station* maka *base station* akan melakukan pengecekan *header* dan *node_ID*. Jika *node_ID* itu sesuai dengan informasi yang *base station* maka data dari simpul tersebut akan ditampilkan.

IV. IMPLEMENTASI DAN ANALISIS SISTEM

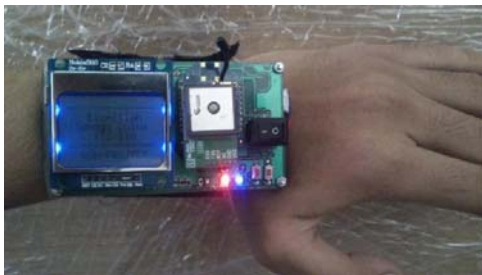
A. Implementasi Sistem

Implementasi dari sistem yang diatas dapat dilihat pada gambar 9. Konsumsi tegangan pada simpul sebesar 3.3 V, hal ini dikarenakan mikrokontroler STM32F405 memiliki konsumsi daya berkisar 1.8 V dan 3.6V. Selain itu sensor TMP35 dan SEN-11574 juga membutuhkan konsumsi daya 3.3 V. Maka dari itu dibutuhkan rangkaian regulator sebagai filter tegangan yang masuk dan juga untuk menghilangkan *ripple* tegangan yang dapat menyebabkan performa simpul tersebut tidak maksimal. Regulator yang digunakan adalah LM1117 3.3 V.



Gambar 8. Flowchart Sistem

Simpul tersebut akan dilekatkan pada pergelangan tangan korban untuk mengetahui kondisi kesehatannya. Setiap saat data akan dikirim ke *base station* kemudian dilakukan pemetaan posisi korban di sisi *base station*.



Gambar 9. Hardware simpul sensor

B. Analisis Sistem

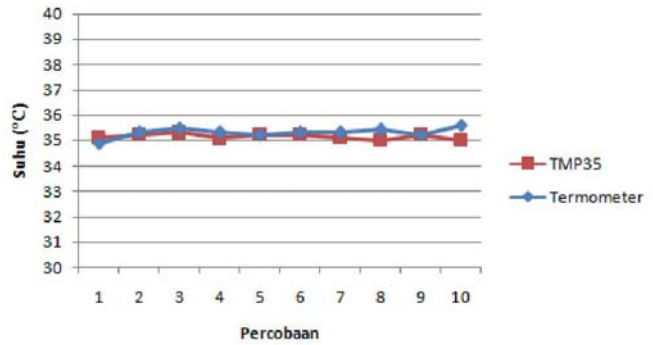
• Pengujian Akurasi Sensor Suhu (TMP35)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah data sensor suhu sebanding dengan data termometer. Sehingga sensor suhu dapat digunakan untuk mendeteksi suhu tubuh dengan akurat.

Setting pengujian:

1. TMP35 dan termometer digital dipasang pada kulit bagian lengan.
2. Simpul mengambil data suhu dari TMP35
3. Simpul mengirim data suhu ke base station.
4. Kemudian data suhu ditampilkan di Hyper Terminal.

Pebandingan TMP35 VS Termometer



Gambar 10. Pengujian suhu

5. Hasil data suhu kemudian diambil 6 sampel dan dibuat rata-rata.
6. Hasil rata-rata dibandingkan dengan termometer digital.

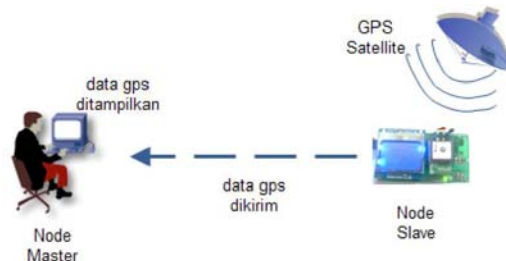
Dari grafik perbandingan data antara hasil TMP35 dengan termometer hampir mendekati. Dari error yang dihasilkan rata-rata mencapai maksimal 1,6. Maka dari itu TMP35 dapat digunakan untuk mendeteksi suhu tubuh.

• Pengujian *lock* sinyal GPS

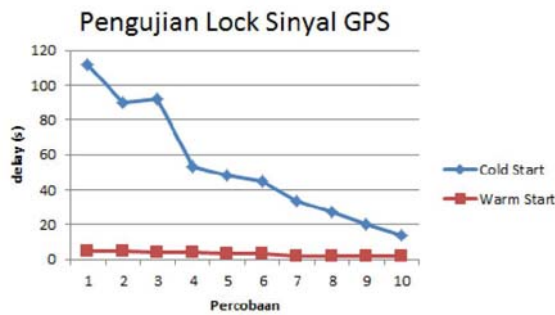
Pengujian *lock* sinyal GPS adalah menganalisis waktu yang dibutuhkan GPS untuk memperoleh koordinat longitude dan latitude. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui seberapa cepat GPS menerima informasi koordinat lokasi dari *satelit* pada saat GPS lama tidak digunakan.

Setting pengujian:

1. Percobaan dilakukan 10 kali dan *outdoor*.
2. Skema pengujian pada gambar 11.
3. Simpul *slave* mengambil data dari GPS SkyNav SKM53.
4. Simpul *slave* mengirim ke simpul master. Kemudian data dtampilkan *Hyper Terminal*.
5. *Stopwatch* menghitung lama waktu GPS mengambil koordinat *longitude* dan *latitude* dan kemudian ditampilkan di *Hyper Terminal*.



Gambar 11. Skema Pengujian GPS



Gambar 12. Pengujian GPS

Dari grafik di atas, GPS ketika kondisi *cold start* memerlukan waktu yang lebih lama mengakuisisi data daripada ketika kondisi *warm start*. Ini disebabkan GPS yang mulai menyala dari keadaan mati akan memerlukan waktu untuk mendapatkan sinyal dari satelit daripada keadaan *warm start* yang telah *lock data* dari satelit.

• Pengujian *Pulse Sensor*

Pengujian ini adalah untuk menganalisis akurasi dari *pulse sensor*.

Setting pengujian:

1. Skema pengujian pada gambar 13.
2. Simpul *slave* mengambil data detak jantung dengan SEN-11574.
3. Simpul *slave* mengirim data detak jantung ke simpul master
4. Data tersebut ditampilkan pada *HyperTerminal*



Gambar 13. Pengujian *Pulse Sensor*

Tabel 6. Hasil pengujian *pulse sensor*

No.	Usia	Sensor (BPM)	Ukur Tangan/Manual (BPM)
1.	21	76	73
2.	23	75	79
3.	20	82	79
4.	21	78	78
5.	21	80	83

Dari pengujian di atas didapat nilai BPM dari setiap orang yang diuji. Perbedaan hampir mendekati dengan cara mengukur denyut dengan tangan yaitu sekitar 2-4 poin. Untuk mengukur denyut dengan tangan dengan cara menghitung jumlah denyut dengan jari

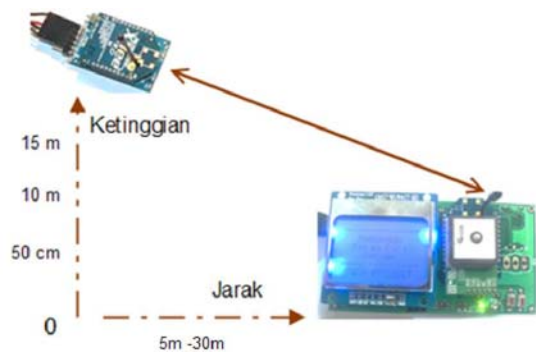
selama 10 detik. Kemudian Untuk mendapat nilai BPM secara akurat, *pulse sensor* harus diletakkan pada titik denyut pada pergelangan tangan. Untuk mencari titik denyut dapat menggunakan jari tangan untuk merasakan denyutan. Kemudian *pulse sensor* diletak di titik denyut tersebut. Denyut manusia kondisi normal berada pada 60 – 100 BPM.

• Pengujian Pengaruh Jarak dan Tinggi

Pengujian ini adalah untuk menganalisis delay pengiriman data yang dipengaruhi oleh jarak dan ketinggian.

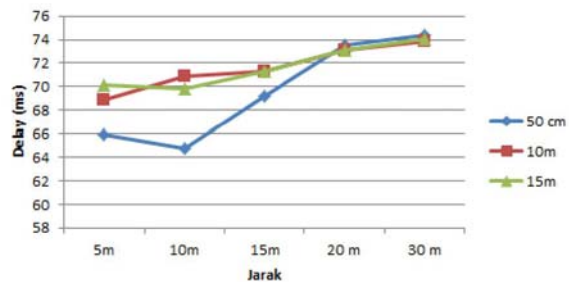
Setting pengujian:

1. Skema Pengujian pada gambar 14.
2. Jarak yang diberikan 5m, 10m, dan 15m
3. Ketinggian yang diberikan 50cm, 10m, dan 15m
4. Pengiriman dengan mengirimkan beberapa karakter kemudian ditampilkan di *base station*.



Gambar 14. Skema pengujian jarak dan tinggi

Hasil rata-rata sistem pengiriman



Gambar 15. Hasil pengujian Jarak dan Tinggi

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa simpul dengan jarak yang dekat, delay terkecil adalah yang memiliki posisi paling tinggi. Akan tetapi semakin jauh jarak simpul dengan *base station* maka ketinggian tidak begitu berpengaruh dalam delay pengiriman data.

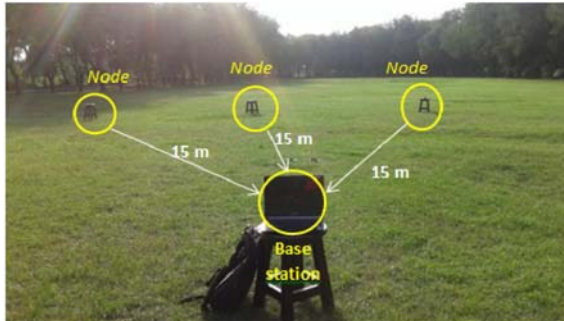
• Pengujian pengiriman data *single hop*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menganalisis pengiriman data secara *single hop* dari simpul *slave* hingga simpul *master*.

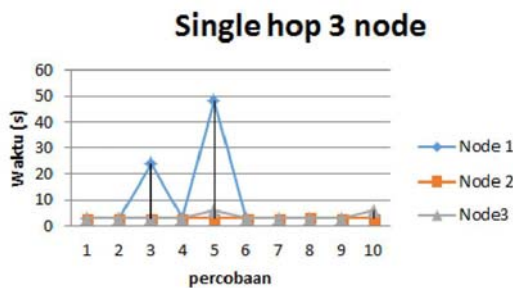
Setting pengujian:

1. Simpul *slave* mengirim data berupa informasi berisi:
 #,1,-7.51234, 112.450356,36,80

2. Simpul master menerima informasi tersebut.
3. Mencari keberhasilan pengiriman dan delay yang terjadi
4. Skema pengujian:
-Pengiriman 1 simpul, 2 simpul dan 3 simpul



Gambar 16. Skema pengujian *single hop*



Gambar 17. Hasil pengujian *single hop*

Untuk kondisi *single hop* dengan 3 simpul dilakukan 10 kali percobaan. Waktu pengiriman data dari simpul 1 memiliki waktu rata-rata pengiriman 13,592 detik. Sedangkan pada simpul 2 waktu rata-rata pengiriman untuk sampai ke *base station* sebesar 3,024 detik dan *simpul 3* sebesar 3,629 detik. Hal ini disebabkan karena adanya *collision* (tabrakan) data. Semakin banyak simpul yang mengirim data ke *base station* secara bersamaan, maka semakin banyak juga data yang hilang akibat *collision*.



Gambar 18. Pemetaan kondisi korban

- Pengujian tampilan di *base station*

Data *sensor* dari semua simpul akan diterima oleh *base station* dan ditampilkan dalam bentuk peta. Peta tersebut menampilkan posisi korban dan kondisi kesehatannya seperti warna kuning untuk waspada dan merah untuk tanda bahaya kondisi korban. Informasi tersebut dapat dilihat pada gambar 18. Data mengenai

Date Node
10

ID	Longitude	Latitude	Suhu	Detak Jantung	Kategori
1	112.78970	-7.27550	36.5	60	normal
2	112.78990	-7.27650	36.5	70	normal
3	112.78980	-7.27660	36.5	110	waspada
4	112.78990	-7.27670	36.5	120	bahaya
5	112.78990	-7.27670	37.6	110	waspada
6	112.78990	-7.27670	37.5	50	waspada
7	112.78990	-7.27670	37.5	120	bahaya
8	112.78990	-7.27670	20	90	bahaya
9	112.78990	-7.27670	20	45	bahaya
10	112.78990	-7.27670	20	200	bahaya

kondisi korban dianalisis dari semua informasi *sensor* yang menempel pada tangannya. Data tersebut meliputi suhu dan detak jantung sebagaimana terlihat pada tabel 7.

Tabel 7. Informasi *sensor* pada semua node

V. KESIMPULAN

1. *Sensor* suhu TMP35 memiliki perbandingan *error* yang sedikit dengan termometer digital dengan rata-rata *error* 0,55%.
2. *Pulse sensor* menghasilkan nilai BPM yang hampir mendekati nilai BPM yang dihitung secara manual dengan selisih antara 3-4 poin.
3. *Delay* pengiriman pada jarak dekat, simpul dengan posisi tinggi memiliki delay terendah sedangkan pada jarak jauh memiliki delay hampir sama.
4. Pengiriman dengan *single hop* dengan *simpul* yang banyak akan terjadi tabrakan data sehingga berpengaruh terhadap delay pengiriman data.
5. Kondisi kesehatan korban sudah bisa dipilah sesuai data dari sensor simpul disertai dengan lokasinya.

REFERENCES

- [1] P. Data, Info Bencana, Jakarta: BNPB, 2013.
- [2] Geoffrey Werner-Allen, "Deploying a Wireless Sensor Network on an Active Volcano", Chicago: IEEE Computer Society, 2006.
- [3] G. Kharisma, "Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras untuk Pemantau Kondisi Hutan dengan Sistem Komunikasi 802.15.4 (ZigBee)", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, 2009.
- [4] A. MUHARAM, "Desain dan Implementasi Sistem Pengendali Objek Jarak Jauh Menggunakan Xbee Pro Wireless Berbasis Mikrokontroler", IT TELKOM Bandung, 2011.
- [5] STMicroelectronics, "STM32F405xx Datasheet," STMicroelectronics group of companies, 2013.

Studi Perbandingan Metode Penilaian Kualitas Citra pada Citra Retina

Titin Yulianti, Hanung Adi Nugroho, Noor Akhmad Setiawan

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia
titinyulianti@gmail.com

Abstract—Retinal image quality assessment is one of the most important steps in retinal disease automatic detection. The fault of the detection result is caused by the worst retinal image quality. Some image quality methods have been conducted, but a different method can give different result on the same image. This research is focused on comparative study of image quality assessment methods that used for assessing retinal image quality. Retinal images are taken from the DRIVE database that added with salt and pepper noise. The images have also been enhanced by histogram equalization and contrast stretching methods. Retinal image quality is assessed by PSNR, PSNR-HVS, SSIM, MS-SSIM and FSIM methods. The result shows that FSIM method can assess retinal image quality as well as percentage of salt and pepper noise. FSIM can also assess the enhanced images having better quality than original and salt and pepper retinal images.

Intisari—Penilaian kualitas citra retina merupakan salah satu tahapan penting dalam pendeteksian otomatis penyakit pada retina. Kualitas citra retina yang buruk akan berdampak pada kesalahan hasil pendeteksian. Berbagai metode penilaian kualitas citra telah dikembangkan, namun metode yang berbeda dapat memberikan hasil penilaian yang berbeda terhadap citra yang sama. Penelitian ini difokuskan pada studi perbandingan metode penilaian kualitas citra yang digunakan untuk menilai kualitas citra retina. Citra retina yang dinilai adalah citra dari DRIVE database yang diberi *salt and pepper noise* dan citra retina yang di-*enhancement* dengan metode *Histogram equalization* dan *Contrast stretching*. Metode penilaian yang digunakan yaitu PSNR, PSNR-HVS, SSIM, MS-SSIM, dan FSIM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selain dapat menilai kualitas citra retina sesuai dengan tingkatan *salt and pepper noise* yang diberikan, metode FSIM juga dapat menilai citra yang di-*enhancement* memiliki kualitas lebih baik dibandingkan citra asli dan citra dengan *salt and pepper noise*.

Index Terms—Citra retina, PSNR, PSNR-HVS, SSIM, MS-SSIM, FSIM.

I. PENDAHULUAN

Citra retina banyak digunakan dalam pendeteksian otomatis suatu penyakit seperti *Diabetic retinopathy*, *Age-related*

macular degeneration, *Glaucoma*, *Cardiovascular*, dan *Hypertensive retinopathy* [1, 2]. Hasil pendeteksian penyakit-penyakit tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu kualitas citra yang digunakan. Adanya distorsi akibat lensa kamera yang kotor, di luar fokus, citra yang blur, *underexpose*, atau *overexpose* merupakan contoh hal-hal yang dapat mengakibatkan buruknya kualitas citra retina [3]. Citra retina dengan kualitas yang buruk dapat mengakibatkan kesalahan dalam mendiagnosis penyakit. Oleh karena itu, penilaian kualitas citra retina penting dilakukan sebelum melakukan proses diagnosis dalam sistem pendeteksian otomatis.

Metode penilaian kualitas citra telah banyak dikembangkan oleh para peneliti. Metode dengan pendekatan *signal-to-noise ratio* seperti PSNR dan PSNR-HVS. Metode lainnya dengan pendekatan *similarity* yaitu SSIM, MS-SSIM, dan FSIM. Tsung-Jung, L., *et al.* [4] telah melakukan penelitian dengan membandingkan metode-metode penilaian kualitas citra terhadap satu database citra yaitu TID2008. Dalam penelitiannya ditunjukkan bahwa metode penilaian kualitas citra memiliki performa yang berbeda terhadap tipe distorsi yang berbeda. Penelitian Tsung-Jung, L., *et al.* yang berikutnya [5] dengan membandingkan metode-metode penilaian kualitas citra pada beberapa database citra yang berbeda. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa performa suatu metode penilaian kualitas citra dapat berbeda antara satu citra dengan citra yang lain tergantung pada karakteristik citra dan tipe *noise*. Sebagai contoh metode PSNR dapat menilai dengan baik citra dengan *additive noise* namun tidak untuk citra dengan tipe distorsi lainnya. Berdasarkan hal ini, dalam kedua penelitian tersebut dilakukan penggabungan beberapa metode untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih baik.

Citra retina memiliki karakteristik tersendiri. Suatu metode penilaian kualitas citra memiliki performa penilaian yang baik pada citra umum belum tentu baik pada citra retina. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui metode yang dapat menilai kualitas citra retina dengan baik.

Penelitian ini difokuskan untuk membandingkan performa metode-metode penilaian kualitas citra terhadap penilaian

kualitas citra retina. Metode penilaian kualitas citra yang dibandingkan yaitu PSNR, PSNR-HVS [6], SSIM [7], MS-SSIM [8], dan FSIM [9].

II. TEORI

A. Metode Penilaian Kualitas Citra

Beberapa metode penilaian kualitas citra retina yaitu:

1) PSNR

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) merupakan metode penilaian kualitas citra berdasarkan distorsi namun metode ini tidak berkorelasi dengan penilaian secara subyektif.

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} (x_0[m, n] - x_r[m, n])^2 \quad (2)$$

Dimana M dan N adalah panjang dan lebar citra, x_0 dan x_r adalah citra asli dan citra terdistorsi, $[m, n]$ merupakan koordinat masing-masing pixel.

2) PSNR-HVS

Peak Signal-to-Noise Ratio-Human Visual System (PSNR-HVS) merupakan modifikasi dari metode PSNR. PSNR-HVS dihitung dengan persamaan berikut:

$$PSNR - H = 10 \log \left(\frac{255^2}{MSE_H} \right) \quad (3)$$

$$MSE_H = K \sum_{i=1}^{I-7} \sum_{j=1}^{J-7} \sum_{m=1}^8 \sum_{n=1}^8 ((X[m, n]_{ij} - X[m, n]_{ij}^e) T_c[m, n])^2 \quad (4)$$

Dimana I, J adalah ukuran citra, $K=1/[(I-7)(J-7)64]$, X_{ij} adalah koefisien DCT 8x8 blok dengan koordinat kiri atas (*left upper*) sama dengan i dan j, X_{ij}^e adalah koefisien DCT blok yang berhubungan dalam citra asli dan T_c merupakan matrik *correcting factor* [6].

3) SSIM

Z.Wang, et al. [7] mengembangkan suatu metode penilaian kualitas citra yang disebut *Structural Similarity* (SSIM). SSIM merupakan metode penilaian kualitas citra yang membandingkan *luminance*, *contrast* dan *structure* citra asli dan citra terdistorsi. Nilai *luminance* dan *contrast* yang digunakan adalah *local luminance* dan *local contrast*.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (5)$$

Dimana μ_x dan μ_y adalah rata-rata area *window* x dan y, σ_x^2 dan σ_y^2 adalah *variance*, σ_{xy} adalah *covariance*, C_1 dan C_2 merupakan variabel untuk menstabilkan bagian dengan *weak denominator*.

4) MS-SSIM

Multi Scale-Structural Similarity (MS-SSIM) menilai kualitas citra dengan menghitung rata-rata SSIM indeks dari *quality map*. Citra referensi dan citra terdistorsi diaplikasikan secara iteratif pada *low pass filter* (LPF) dan *downsamples* citra terfilter dengan faktor 2. Citra referensi diindeks dengan skala 1 dan skala tertinggi M, sehingga terdapat M-1 iterasi. Perbandingan *contrast* dan *structure* dihitung dan dinotasikan sebagai $C_j(x, y)$ dan $s_j(x, y)$. Perbandingan *luminance* dihitung hanya pada skala M dan dinotasikan dengan $l_M(x, y)$. Sehingga perhitungan SSIM secara keseluruhan dituliskan sebagai:

$$SSIM(x, y) = [l_M(x, y)]^{\alpha M} \prod_{j=1}^M [C_j(x, y)]^{\beta j} [s_j(x, y)]^{\gamma j} \quad (6)$$

5) FSIM

Perhitungan FSIM terdiri dari dua langkah yaitu *similarity map local* dan menghitungnya menjadi nilai *single similarity*.

$$FSIM = \frac{\sum_{x \in \Omega} S_L(x) \cdot PC_m(x)}{\sum_{x \in \Omega} PC_m(x)} \quad (7)$$

Dimana Ω merupakan total *image spatial domain*.

B. Salt and Pepper Noise

Salt and pepper noise dinamakan sebagai derau impuls positif dan negatif, derau tembakan, atau derau biner. *Salt and pepper noise* biasanya disebabkan oleh gangguan yang tiba-tiba dan tajam pada proses perolehan isyarat citra. Bentuknya berupa titik-titik hitam atau putih di dalam citra. *Noise* ini sering muncul pada citra yang diperoleh melalui kamera [10]. Oleh karena itu, *salt and paper noise* digunakan dalam penelitian ini.

C. Metode Evaluasi

Evaluasi bertujuan untuk menilai performa suatu metode penilaian kualitas citra. Pada penelitian ini evaluasi dilakukan dengan menggunakan *Spearman's rank correlation coefficient* (SRCC) [11]. Perhitungannya menggunakan rumus berikut:

$$SRCC = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N(N^2 - 1)} \quad (8)$$

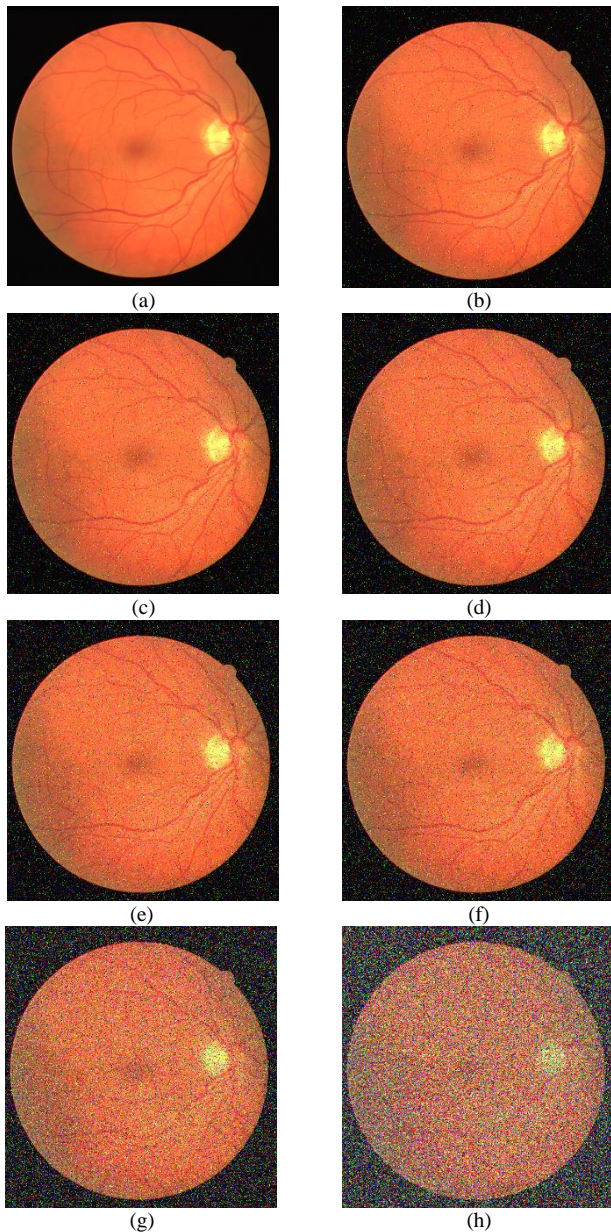
Dimana d_i adalah perbedaan antara ranking citra pada penilaian obyektif dan penilaian subyektif. SRCC merupakan metric korelasi berdasarkan ranking yang *non-parametric*.

III. DATASET

Citra retina yang digunakan adalah citra dari database DRIVE [12] yang terdiri dari 40 citra retina beserta citra *mask* masing-masing. DRIVE merupakan database citra retina yang diambil dengan menggunakan kamera Canon CR5 non-mydratic 3 CCD dengan 45 derajat FOV dalam format TIFF.

Sebagai citra referensi, dilakukan *enhancement* terhadap citra database DRIVE dengan menggunakan *Contrast Limited*

Adaptive Histogram Equalization (CLAHE). CLAHE dapat meningkatkan *contrast vessel* dan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan metode-metode *global-based* seperti *Histogram equalization* dan *Contrast stretching* [13]. Pada penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi, proses *enhancement* dengan CLAHE hanya dilakukan pada *green channel* citra retina. Hal ini dikarenakan *green channel* memiliki *contrast* yang lebih baik dibandingkan *red* dan *blue channel* lainnya [14].



Gambar 1. Contoh Citra yang dinilai (a) citra asli DRIVE; (b)-(h) citra dengan *salt and pepper noise* 2%, 4%, 6%, 10%, 25% dan 50%

Pada gambar 1 diberikan contoh citra yang dinilai kualitasnya. Data citra yang akan dinilai yaitu citra asli dari DRIVE database dan citra DRIVE yang diberi *salt and pepper noise* secara bertingkat (2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 25% dan 50%). Jumlah data Citra yang dinilai sebanyak 360 citra dengan enam

metode penilaian. Selain itu, penilaian juga dilakukan pada citra retina yang telah di-*enhancement* menggunakan *Histogram equalization* dan *Contrast stretching*. Gambar 2 merupakan contoh citra referensi yang digunakan.



Gambar 2. Contoh citra referensi

IV. METODOLOGI

Penelitian ini terdiri dari tiga pengujian yaitu penilaian terhadap citra dengan *salt and pepper noise*, penilaian terhadap citra setelah proses *enhancement* dan perbandingan waktu komputasi rata-rata. Penilaian kualitas citra retina meliputi tiga proses utama, yaitu:

A. Preprocessing

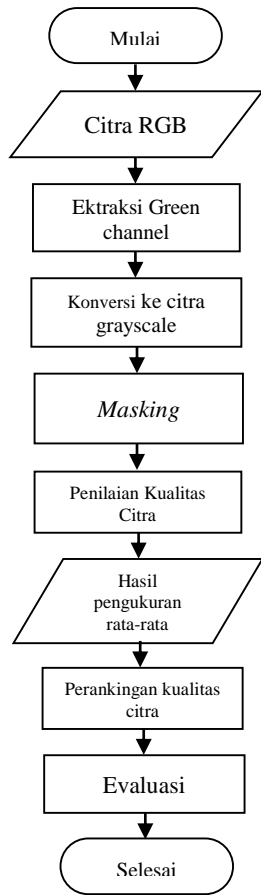
Tahap *Preprocessing* dimulai dengan mengekstraksi *green channel* citra retina. *Green channel* masing-masing citra dikonversi ke citra *grayscale* yang kemudian dilakukan masking yaitu mengalikan citra retina tersebut dengan citra *mask* yang juga telah dikonversi ke citra *grayscale*. Masking bertujuan untuk untuk menghilangkan *noise* pada *background* citra retina yang mempengaruhi hasil pengukuran kualitas citra retina. Dengan adanya *masking* ini maka yang dinilai adalah citra retina sebagai *region of interest* (RoI).

B. Pengukuran kualitas citra

Pada penelitian ini pengukuran kualitas Citra dilakukan dengan lima metode, yaitu PSNR, PSNR-HVS, SSIM, MS-SSIM, dan FSIM. Metode-metode tersebut merupakan metode penilaian kualitas citra yang sering digunakan untuk menilai kualitas citra yang umum, serta memerlukan citra referensi (*full-reference method*)

C. Evaluasi

Pada tahap evaluasi dilakukan perhitungan nilai rata-rata hasil pengukuran dari setiap metode untuk selanjutnya dilakukan perankingan berdasarkan kualitas citra dan dibandingkan dengan ranking citra berdasarkan besarnya probabilitas *noise*. Semakin tinggi probabilitas *salt and pepper noise* yang diberikan maka kualitas citra retina semakin buruk. Terdapat beberapa metode evaluasi yang umum digunakan, pada penelitian ini digunakan metode perhitungan *Spearman's Rank Correlation Coefficient* (SRCC) [11]. Adapun Tahapan penilaian kualitas citra digambarkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart penelitian

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas citra ditentukan oleh besarnya nilai dari hasil penilaian pada setiap metode. Citra yang bernilai besar merupakan citra yang memiliki kualitas yang baik dan sebaliknya. Untuk mempermudah dalam penulisan maka Citra yang dinilai diberi indeks seperti pada Tabel I. Hasil penilaian rata-rata kualitas citra retina yang diberi *salt and pepper noise* ditunjukkan pada Tabel II.

TABEL I. INDEKS CITRA

Indeks	Nama Citra
C0	Original
C2	Salt and Pepper 2%
C4	Salt and Pepper 4%
C6	Salt and Pepper 6%
C8	Salt and Pepper 8%
C10	Salt and Pepper 10%
C25	Salt and Pepper 25%
C50	Salt and Pepper 50%

TABEL II. HASIL PENILAIAN RATA-RATA KUALITAS CITRA RETINA YANG DIBERI SALT AND PEPPER NOISE

Citra	Hasil Penilaian				
	PSNR (dB)	PSNR-HVS (dB)	SSIM	MS-SSIM	FSIM
C0	71,89125	67,61674	0,999475	0,999929	0,989268
C2	67,74005	64,86975	0,998950	0,999839	0,969160
C4	66,47466	64,44007	0,998790	0,999837	0,955784
C6	65,50734	64,06097	0,998990	0,999835	0,947875
C8	64,72880	63,71307	0,999005	0,999832	0,942486
C10	64,06724	63,40091	0,999024	0,999829	0,938660
C25	60,95567	61,52290	0,999071	0,999797	0,923166
C50	58,28716	59,37164	0,998897	0,999707	0,913085

Dari tabel tersebut dapat dilihat nilai yang variatif. Namun, semua metode menunjukkan bahwa citra yang memiliki kualitas terbaik yaitu C0 (citra original). Urutan kualitas citra hasil penilaian dengan metode PSNR, PSNR-HVS, MS-SSIM dan FSIM sesuai dengan urutan besarnya *salt and pepper noise* yang diberikan. Hal ini berbeda pada hasil penilaian dengan metode SSIM. Seperti terlihat pada tabel II bahwa citra dengan *salt and pepper noise* sebesar 25% (C25) memiliki nilai lebih besar dibandingkan citra dengan *salt and pepper noise* 2% (C2) dan sebagainya.

Tabel III merupakan perankingan kualitas citra sesuai dengan nilai rata-rata hasil penilaian pada tabel II. Citra yang memiliki nilai rata-rata terbesar berarti memiliki kualitas yang paling baik dan diberi ranking teratas (satu), sebaliknya citra dengan nilai rata-rata terkecil memiliki kualitas citra paling buruk dan diberi ranking terbawah (sebanyak jumlah citra). Sebagai pembandingan, dilakukan perankingan dengan asumsi bahwa citra citra asli dari DRIVE database merupakan citra dengan kualitas paling baik dan seterusnya sesuai dengan semakin besarnya *salt and pepper noise* yang diberikan.

TABEL III. RANKING CITRA BERDASARKAN HASIL PENILAIAN SETIAP METODE

Metode	Citra							
	C0	C2	C4	C6	C8	C10	C25	C50
Asumsi berdasarkan <i>salt and pepper noise</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
PSNR	1	2	3	4	5	6	7	8
PSNR-HVS	1	2	3	4	5	6	7	8
SSIM	1	6	8	5	4	3	2	7
MS-SSIM	1	2	3	4	5	6	7	8
FSIM	1	2	3	4	5	6	7	8

Dari perankingan pada tabel III dilakukan evaluasi dengan menghitung nilai SRCC untuk melihat performa masing-masing metode. SRCC bertujuan untuk melihat korelasi antara hasil penilaian masing-masing metode terhadap nilai berdasarkan

besarnya *noise*. Nilai SRCC berada pada *range* -1 sampai 1. Nilai mendekati -1 berarti *negative correlation*, mendekati 0 berarti *no linear correlation*, dan mendekati 1 berarti *positive correlation*. Semakin besar nilai SRCC maka semakin baik performa metode tersebut. Pada penelitian ini metode SSIM memiliki nilai SRCC terendah yaitu 0,071429 seperti ditunjukkan pada Tabel IV.

TABEL IV. PERBANDINGAN SRCC SETIAP METODE

Metode	SRCC
PSNR	1
PSNR-HVS	1
SSIM	0,071429
MS-SSIM	1
FSIM	1

Pengujian selanjutnya yaitu penilaian kualitas citra retina yang telah di-*enhancement* dengan metode histogram equalization dan *contrast stretching*. Hasil penilaian pada tabel IV disimpulkan bahwa hanya metode MS-SSIM yang menunjukkan bahwa citra yang di-*enhancement* secara *contrast stretching* memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan citra retina yang di-*enhancement* dengan histogram equalization. Dengan membandingkan hasil penilaian pada tabel III dan tabel IV, diketahui bahwa hanya metode FSIM yang menunjukkan hasil penilaian kualitas citra retina yang di-*enhancement* lebih baik dibandingkan dengan kualitas citra asli dan citra dengan *salt and pepper noise*. Metode-metode lainnya menunjukkan bahwa citra retina yang di-*enhancement* memiliki kualitas lebih buruk dibandingkan citra asli bahkan lebih buruk dibandingkan citra retina dengan *salt and pepper noise* pada persentase *noise* tertentu.

TABEL V. HASIL PENILAIAN RATA-RATA KUALITAS CITRA RETINA SETELAH ENHANCEMENT

Citra	Hasil Penilaian				
	PSNR (dB)	PSNR-HVS (dB)	SSIM	MS-SSIM	FSIM
Histeq	63,82695	59,65765	0,99475	0,99905	0,98754
Contrast Stretching	62,32163	58,16294	0,99439	0,99921	0,98693

TABEL VI. PERBANDINGAN WAKTU KOMPUTASI SETIAP METODE

Metode	Waktu (sec/image)
PSNR	0,016
PSNR-HVS	2,076
SSIM	1,386
MS-SSIM	0,293
FSIM	1,332

Performa suatu metode juga tidak lepas dari waktu komputasi yang diperlukan. Waktu komputasi rata-rata per citra seperti terlihat pada Tabel VI menunjukkan bahwa penilaian kualitas citra dengan metode PSNR memiliki waktu komputasi

paling kecil disusul oleh metode MS-SSIM, FSIM, dan SSIM. Metode penilaian kualitas citra dengan waktu komputasi paling besar yaitu PSNR-HVS.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa metode PSNR, PSNR-HVS, MS-SSIM, dan FSIM dapat menilai kualitas citra retina sesuai dengan asumsi berdasarkan tingkatan *salt and pepper noise*, yaitu semakin besar probabilitas *noise* yang diberikan maka semakin buruk kualitas citra retina. Namun hanya metode FSIM yang menunjukkan bahwa citra yang di-*enhancement* dengan metode *histogram equalization* dan *contrast stretching* memiliki kualitas lebih baik dibandingkan dengan citra retina asli dan citra retina dengan *salt and pepper noise*. Dilihat dari waktu komputasi, metode PSNR dan MS-SSIM memerlukan waktu komputasi lebih kecil, diikuti oleh FSIM dan SSIM. Waktu komputasi paling besar diperlukan oleh metode PSNR-HVS. Waktu komputasi menjadi hal penting yang harus dipertimbangkan pada saat pengukuran kualitas citra diterapkan pada sistem otomatis yang mengukur kualitas citra secara *real time*. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian dengan menggabungkan beberapa metode penilaian kualitas citra untuk menilai kualitas citra retina, serta melihat performa metode tersebut dengan perbandingan penilaian oleh *expert*.

REFERENCES

- [1] M. D. Abramoff, M. K. Garvin, and M. Sonka, "Retinal Imaging and Image Analysis," *Biomedical Engineering, IEEE Reviews in*, vol. 3, pp. 169-208, 2010.
- [2] M. S. Miri and A. Mahloojifar, "Retinal Image Analysis Using Curvelet Transform and Multistructure Elements Morphology by Reconstruction," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 58, pp. 1183-1192, 2011.
- [3] Luca Giancardo, Fabrice Meriaudeau, Thomas P Karnowski, Dr Edward Chaum, and K. Tobin., "Quality Assessment of Retinal Fundus Images using Elliptical Local Vessel Density," pp. 202-226.
- [4] L. Tsung-Jung, L. Weisi, and C. C. J. Kuo, "A multi-metric fusion approach to visual quality assessment," in *Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2011 Third International Workshop on*, 2011, pp. 72-77.
- [5] L. Tsung-Jung, L. Weisi, and C. C. J. Kuo, "Image Quality Assessment Using Multi-Method Fusion," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 22, pp. 1793-1807, 2013.
- [6] K. Egiazarian, J. Astola, N. Ponomarenko, V. Lukin, F. Battisti, and M. Carli, "A new full-reference quality metrics based on HVS," in *The Second International Workshop on Video Processing and Quality Metrics*, Scottsdale, 2006.
- [7] W. Zhou, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 600-612, 2004.
- [8] Z. Wang, E. P. Simoncelli, and A. C. Bovik, "Multiscale structural similarity for image quality assessment," in *Signals*,

- Systems and Computers, 2004. Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on*, 2003, pp. 1398-1402 Vol.2.
- [9] Z. Lin, D. Zhang, and M. Xuanqin, "FSIM: A Feature Similarity Index for Image Quality Assessment," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 20, pp. 2378-2386, 2011.
- [10] A. Kadir and A. Susanto, *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*. Yogyakarta, Indonesia: ANDI OFFSET, 2013.
- [11] A. Rehman and W. Zhou, "Reduced-Reference Image Quality Assessment by Structural Similarity Estimation," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol. 21, pp. 3378-3389, 2012.
- [12] M. Niemeijer, "DRIVE: Digital Retinal Images for Vessel Extraction," ed, 2004.
- [13] P. Kee Yong, I. L. Iznita, M. H. A. Fadzil, A. N. Hanung, N. Hermawan, and S. A. Vijanth, "Segmentation of retinal vasculature in colour fundus images," in *Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications, 2009. CITISIA 2009*, 2009, pp. 398-401.
- [14] A. W. Setiawan, T. R. Mengko, O. S. Santoso, and A. B. Suksmono, "Color retinal image enhancement using CLAHE," 2013, pp. 215-217.

Peningkatan Kontras pada Citra Digital Mammogram

Faisal N, Hanung Adi Nugroho, Indah Soesanti

Department of Electrical and Information Technology
Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Indonesia
faisal_s2te12@mail.ugm.ac.id, adinugroho@ugm.ac.id,
indah@mail.ugm.ac.id

Lina Choridah

Department of Radiology, Faculty of Medicine
Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Indonesia
linachoridah@ugm.ac.id

Abstract — *Mammograms are difficult to interpret, especially of cancers at their early stages. However, early detection of breast cancer is dependent on both the radiologist's ability to read mammograms and the quality of mammogram images. Histogram equalization (HISTEQ) is one of the most popular of contrast enhancement on digital mammogram. However, this method effective only for the mammogram that affected by low noise density, thus still leaves unnecessary artefacts and noise. This research proposed improvement of HISTEQ by contrast stretching and unsharp masking filtering. The method was compared with contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE), contrast stretching, and HISTEQ itself. The result shows that the proposed method make image clearly and evaluated by radiologist assessment and with image quality assessment method consists of mean square error (MSE) and peak signal to noise ratio (PSNR).*

Intisari — Citra mammogram sangat sulit untuk diinterpretasikan, khususnya untuk deteksi dini terhadap adanya kelainan. Meskipun demikian, deteksi dini kanker payudara bergantung pada kemampuan ahli radiologi untuk membaca citra mammogram dan kualitas citra itu sendiri. *Histogram equalization (HISTEQ)* merupakan salah satu metode populer untuk peningkatan kontras pada citra mammogram. Akan tetapi, metode tersebut hanya efektif pada citra dengan derau yang rendah sehingga masih menyisakan artefak dan derau. Penelitian ini mengusulkan peningkatan metode HISTEQ dengan melakukan teknik peregangan kontras dan *filtering* menggunakan teknik *unsharp-masking*. Metode tersebut dibandingkan dengan metode *contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE)*, *contrast stretching*, dan metode HISTEQ itu sendiri. Hasil menunjukkan bahwa metode yang diusulkan membuat citra lebih jelas dan dievaluasi oleh ahli radiologi dengan memilih citra berdasarkan metode terbaik serta evaluasi berdasarkan metode penilaian kualitas citra *mean square error (MSE)* dan *peak signal to noise ratio (PSNR)*.

Kata kunci — pengolahan citra, mammogram, kanker payudara, peningkatan kontras, HISTEQ, peregangan kontras, *unsharp-masking*.

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi pencitraan medis saat ini telah meningkatkan ketertarikan pada bidang pengolahan citra digital. Teknik pengolahan yang berkonsentrasi pada peningkatan kontras citra digital mammogram bertujuan untuk mengurangi derau, meningkatkan kecerahan, sehingga diperoleh kualitas citra yang lebih baik serta mempermudah ahli radiologi dalam membedakan jenis kelainan yang diderita oleh pasien. Hal utama yang menyebabkan rendahnya kontras citra mammogram adalah perbedaan penyusutan koefisien x-ray [1]. Penelitian yang mengembangkan metode *computer*

aided diagnosis (CAD) telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, khususnya untuk kasus deteksi massa tumor dan mikrokalsifikasi pada penyakit kanker payudara. Hasil yang dicapai telah memuaskan, akan tetapi tantangan utama dalam mengidentifikasi kanker payudara pada citra digital mammogram secara dini masih menyisakan permasalahan [2].

Peningkatan kontras citra sebelum proses segmentasi merupakan hal yang sangat penting, hal ini bertujuan untuk meningkatkan perbedaan derau dan signal yang rendah yang sering ditemukan pada citra digital mammogram. Buruknya kualitas citra diakibatkan oleh pergeseran posisi payudara pada saat proses kompresi menggunakan x-ray. Selain itu, resolusi film yang ditangkap oleh mata manusia dari hasil *scanning* yang telah dikompresi ke bentuk digital tidak sama dengan resolusi yang sesungguhnya dari citra x-ray, perbedaan yang sangat kecil namun informasi penting dapat hilang. Salah satu tujuan penting dalam peningkatan kontras citra adalah memperjelas perbedaan antara daerah yang dicurigai yang terdapat kelainan dengan latarbelakangnya. Sehingga, secara langsung dapat pula berpengaruh untuk tahap segmentasi [3].

Diagnosis jaringan kanker pada citra digital mammogram membutuhkan keterampilan khusus, bahkan untuk ahli radiologi yang berpengalaman. Hal ini dikarenakan rendahnya kontras citra dan jaringan kanker tersebut sangat mirip dengan jaringan normal pada tubuh. Terlebih lagi, ahli radiologi dalam menentukan daerah kelainan pada citra mammogram masih secara konvensional, yaitu dengan penglihatan secara langsung menggunakan mata telanjang. Permasalahan yang lain adalah kesulitan pada citra mammogram yang memiliki lapisan yang cukup tebal. Dimana area payudara yang berwarna putih yang tampak pada citra mammogram membuat massa tumor dan mikrokalsifikasi sangat sulit terlihat dikarenakan mirip dengan jaringan normal.

Screening mammografi memiliki *error rate* yang tinggi, berdasarkan penelitian [4] sensitivitas *error* dilaporkan berada pada kisaran 68% - 92%. Sehingga sebuah studi menunjukkan bahwa diantara pasien yang telah melakukan *screening* mammogram dan direkomendasikan untuk proses biopsi untuk konfirmasi lebih lanjut, hanya 25% dari kasus tersebut yang ditemukan adanya jaringan kanker payudara [5]. Jika akurasi diagnosis ahli radiologi dapat ditingkatkan, maka tentunya tindakan biopsi dapat dicegah.

Histogram equalization (HISTEQ) merupakan salah satu metode umum yang digunakan untuk meningkatkan kontras suatu citra. Namun, metode tersebut masih menyisakan artefak dan derau. Sehingga dalam penelitian ini, akan dilakukan metode peningkatan HISTEQ.

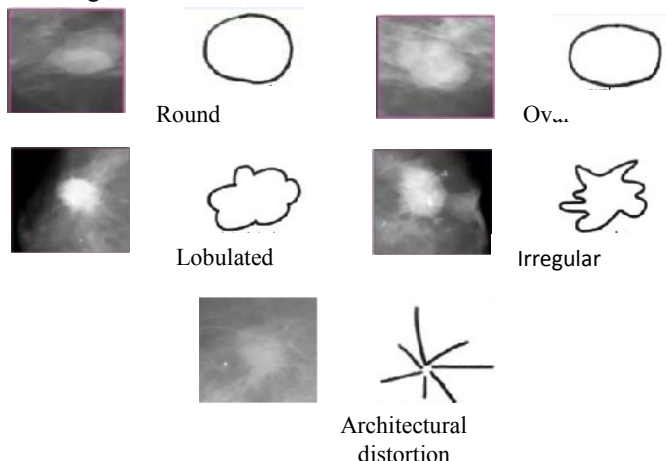
Penelitian ini akan dilakukan peningkatan kontras citra mammogram, khususnya peningkatan metode HISTEQ. Metode yang diusulkan akan dibandingkan dengan beberapa metode peningkatan kontras citra. Perbandingan tersebut berdasarkan 2 hal pendekatan. Pertama dengan konsultasi secara langsung dengan ahli radiologi untuk memilih metode terbaik dan yang kedua dengan mengevaluasi berdasarkan parameter penilaian kualitas citra secara statistik, yaitu MSE dan PSNR [6].

II. TEORI

Tujuan dari permasalahan dalam hal pengukuran peningkatan kualitas citra dapat didefinisikan sebagai berikut: sebuah citra, dan diberikan metode peningkatan $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$, metode tersebut menghasilkan *output* citra I_1, I_2, \dots, I_N , secara matematis didefinisikan sebagai kumpulan N matriks m_1, m_2, \dots, m_N , dimana masing-masing dibatasi dalam kisaran $[0,1]$, yang digunakan untuk mengukur peningkatan kualitas citra. Batas kisaran pengukuran menunjukkan spektrum secara berkelanjutan dari masing-masing nilai matriks, dengan 0 merupakan kemungkinan terburuk dari peningkatan citra dan 1 menunjukkan kemungkinan terbaik peningkatan citra. Idealnya, sebuah skema sederhana yang ada seharusnya bukan hanya linear atau nonlinear untuk kombinasi N matriks m_1, m_2, \dots, m_N ke dalam satu gabungan pengukuran yang dibatasi pada kisaran $[0,1]$ dan didefinisikan sebagai peningkatan citra. Sehingga pada akhirnya, setelah mengaplikasikan metode peningkatan kontras, secara jelas dapat terlihat bentuk, batas, dan tekstur massa tumor untuk dibedakan antara jaringan normal dan abnormal untuk kasus deteksi kanker payudara pada citra mammogram.

A. Citra Digital Mammogram

Berdasarkan anatomi payudara, berbagai jenis objek yang dapat muncul pada citra mammogram yang dapat dikatakan sebagai kelainan yang terdiri dari massa tumor, mikrokalsifikasi dan distorsi arsitektur dari pola jaringan normal yang disebabkan oleh jaringan kanker yang telah bermetastasis. Massa biasanya muncul sebagai gumpalan yang padat berupa gugusan bintik kecil, sangat sulit untuk diidentifikasi pada data mentah citra mammogram. Jika hanya dilihat dari satu sisi, maka hanya dikatakan sebagai jaringan lemak biasa, sehingga dapat dikatakan sebagai massa tumor apabila dilihat dari dua sisi proyeksi. Gambar 1 menunjukkan pembagian bentuk massa tumor pada citra digital mammogram.



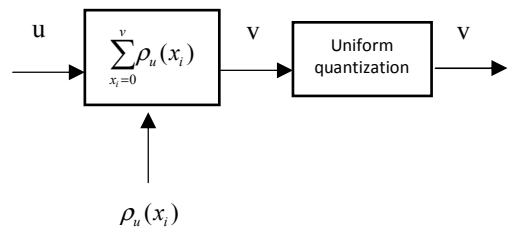
Gambar 1. Berbagai variasi bentuk massa tumor

Massa dapat dikategorikan berdasarkan bentuk, ketebalan, dan tepi/batasnya. Bentuk massa meliputi: *round, oval, lobular*, dan *irregular*. Untuk ketebalan meliputi *high density, low density, equal density*, dan *fat containing*. Sedangkan tepinya meliputi *spiculated*. Kategori tersebut membantu ahli radiologi untuk mendeskripsikan massa yang ditemukan pada mammogram dan mengklasifikasi potensi jinak (*benign*) atau ganas (*malignant*).

B. Histogram equalization

Histogram equalization merupakan salah satu metode populer yang sering digunakan untuk meningkatkan kontras pada citra mammogram [7][8][9][10]. Metode ini memiliki prinsip kerja mengubah derajat keabuan suatu piksel (r) dengan derajat keabuan yang baru (s) dengan suatu fungsi transformasi T , yang dalam hal ini $s = T(r)$. Gambar 2 menunjukkan proses transformasi metode HISTEQ:

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w)dw \tag{1}$$

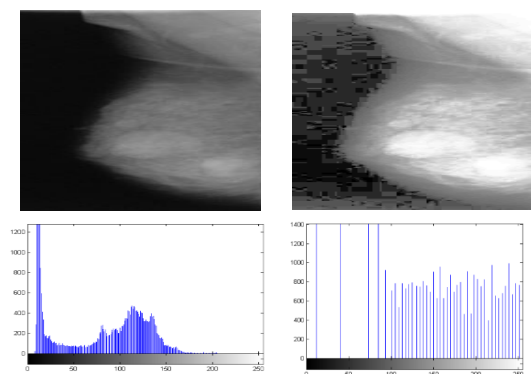


Gambar 2. Transformasi *histogram equalization*

Dua sifat yang dipertahankan pada transformasi ini;

- Nilai s merupakan pemetaan 1 ke 1 dari r . Ini untuk menjamin representasi intensitas yang tetap. Ini berarti r dapat dipetakan kembali dari s dengan transformasi invers: $r = T^{-1}(s), 0 \leq s \leq 1$
- Untuk $0 \leq r \leq 1$, maka $0 \leq T(r) \leq 1$. Ini untuk menjamin pemetaan T konsisten pada rentang nilai yang diperbolehkan.

Normalnya, histogram merupakan spektrum yang sangat padat (Gambar 3), hal ini disebabkan karena citra yang terlalu cerah atau terlalu gelap. Perbedaan bagian citra dengan intensitas keabuan yang berbeda pula akan sangat sulit untuk dideteksi oleh mata. Gambar 3 menunjukkan aplikasi metode HISTEQ pada citra digital mammogram.



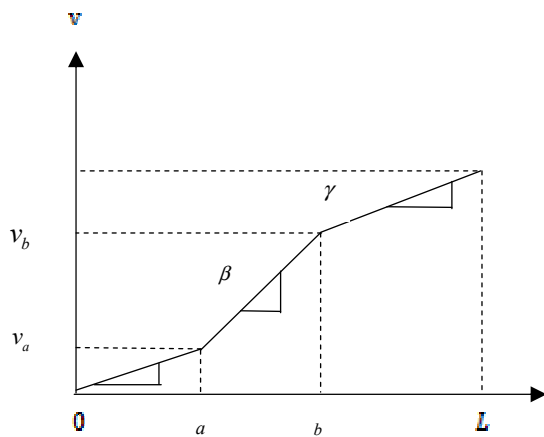
Gambar 3. Citra asli dan citra hasil HISTEQ (baris pertama), histogram citra asli dan histogram citra HISTEQ (baris kedua)

C. Peregangan kontras

Citra dengan kontras rendah seringkali terjadi karena kondisi pencahayaan yang buruk ataupun ketidakseragaman dari cahaya tersebut. Hal ini disebabkan oleh sensor-sensor penangkap citra yang tidak linear [11]. Metode peregangan kontras bertujuan untuk meningkatkan area dengan perubahan kontras yang sangat halus [8]. Agar distribusi intensitas piksel berubah perlu dilakukan peregangan kontras dengan persamaan:

$$Y = \begin{cases} ax & 0 \leq x < a \\ \beta(x - a) + y_a & a \leq x < b \\ \gamma(x - b) + y_b & b \leq x < L \end{cases} \quad (2)$$

Kemiringan transformasi dipilih lebih besar dari kumpulan di area yang diregangkan. Parameter a dan b dapat diperoleh dengan memeriksa histogram citra. Misalnya, interval skala aras keabuan intensitas piksel yang paling sering terjadi sebagian besar akan diregangkan untuk meningkatkan keseluruhan visibilitas pandangan [17]. Gambar 4 menunjukkan transformasi metode *contrast stretching*.



Gambar 4. Transformasi metode *contrast stretching*

D. Filtering

Salah satu alternatif metode peningkatan tepi berbasis *filtering* terhadap Laplacian dan segmentasi area pada citra mammogram adalah *unsharp-masking filtering* yang juga dikenal sebagai *boost filtering*. Metode ini mengurangi unsur halus dalam citra asli untuk penekanan pada *high frequency* informasi citra tersebut. *Unsharp-masking* berdasarkan segmentasi area [12] menggunakan mekanisme yang selektif dalam pemilihan peningkatan tiap piksel citra. Mengingat penggunaan *high pass filter* yang merupakan teknik konvensional, sehingga tidak begitu efektif untuk peningkatan berbasis operasi morfologi matematika. Persamaan untuk peningkatan berdasarkan *high pass filter* dapat dituliskan sebagai berikut:

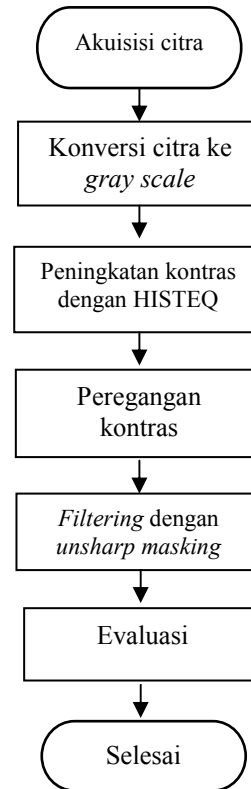
$$f'(x, y) = h(x, y) - l(x, y) \quad (3)$$

Dimana $f'(x, y)$ merupakan citra hasil *high pass filter*, $h(x, y)$ adalah citra masukan, dan $l(x, y)$ adalah citra yang

berisi latarbelakang informasi yang diperoleh dari *low pass filter*.

III. METODOLOGI

Penelitian ini, peningkatan kontras citra digital mammogram dilakukan melalui 5 tahap, pertama konversi citra mammogram ke citra dengan skala keabuan. Kedua, peningkatan kontras dengan metode HISTEQ. Ketiga, peregangan kontras dengan metode *contrast stretching*. Keempat, *filtering* dengan menggunakan metode *unsharp-masking*, dan terakhir tahap evaluasi. Gambar 5 menunjukkan alur tahapan penelitian.

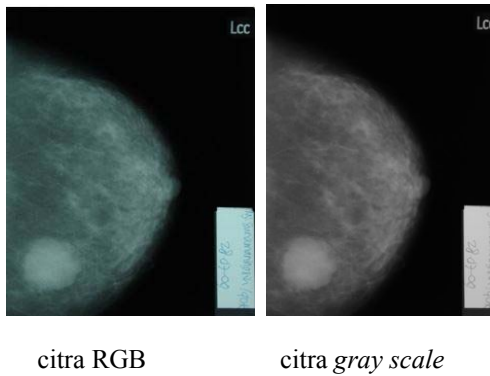


Gambar 5. Diagram alir metode peningkatan kontras citra mammogram

Format citra asli dari sumbernya adalah JPEG. Untuk format JPEG, beberapa informasi dibuang selama proses kompresi untuk memperoleh ukuran yang lebih kecil. Meskipun hal ini menyebabkan hilangnya informasi, hal tersebut tidak terdeteksi langsung oleh mata manusia. Sebaliknya, proses tersebut mengurangi kualitas citra, sehingga sangat krusial untuk diagnosis di bidang medis. Format data citra TIFF merupakan format yang sangat populer untuk kompresi *lossless* pada citra. Dalam penelitian ini, format data citra TIFF digunakan.

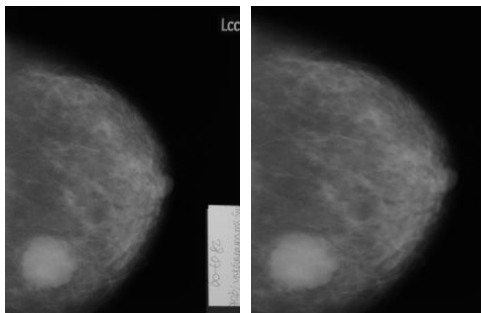
Pertama, mengkonversi citra dari RGB ke *gray scale*. Tujuan konversi citra ke bentuk *gray scale* adalah untuk mengetahui intensitas keabuan citra mammogram, mengingat proses peningkatan kontras citra berbasis pada pemerataan

histogram. Selain itu untuk mempermudah proses selanjutnya. Prosesnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Konversi citra RGB ke *gray scale*

Kedua, menghilangkan (*cropping*) label pasien yang tertera pada citra dan mengaplikasikan HISTEQ untuk meningkatkan kontras yang mengubah nilai intensitas citra sehingga penyebarannya seragam (*uniform*) dan setiap derajat keabuan memiliki jumlah piksel yang sama (Gambar 3). Kelebihan dari metode HISTEQ tersebut yaitu sederhana, dan algoritme mudah untuk diimplementasikan. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 7. Citra hasil *cropping*

Histogram equalization merupakan metode sederhana untuk meningkatkan kontras citra dengan mengatur kontras menggunakan histogram citra. Tujuan dari metode HISTEQ adalah untuk mendapatkan keluaran histogram citra yang seragam. Misalnya, sebuah keluaran citra dengan nilai $u \geq 0, u \geq 0, u \geq 0$ menjadi *random* variabel dengan *probability density function* (PDF) kontinu $P_u(u)$ dan *cumulative probability distribution* $F_u(u) \triangleq P[u \leq u]$ kemudian *random* variabel dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$V \triangleq F_u(u) \triangleq \int P_u(u) du \quad (4)$$

Akan menjadi distribusi seragam meliputi (0, 1). Implementasi transformasi diatas pada citra masukan u memiliki L derajat aras keabuan $x_i, i = 0, 1, \dots, L-1$ dengan probabilitas $P_u(x_i)$ dapat ditentukan dari histogram citra diberikan

$h(x_i)$ jumlah piksel dengan nilai aras keabuan (x_i) , kemudian diformulasikan;

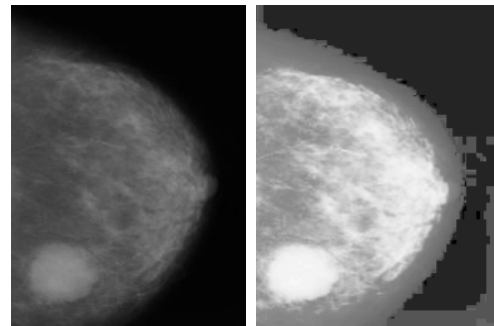
$$p_u(x_i) = \frac{h(x_i)}{\sum_{i=0}^{L-1} h(x_i)} \quad i = 0, 1, \dots, L-1 \quad (4)$$

Keluaran v' juga dianggap memiliki L level yang diformulasikan sebagai berikut:

$$v \triangleq \sum_{x_i=0}^u p_u(x_i) \quad (5)$$

$$v' \triangleq \text{Int} \left[\frac{(v - v_{min})}{1 - v_{min}} (L - 1 + 0.5) \right] \quad (6)$$

Dengan v_{min} nilai positif yang paling kecil dari v yang diperoleh dari persamaan (5), selanjutnya v dapat didistribusikan seragam. Gambar 8 menunjukkan citra dengan metode HISTEQ.



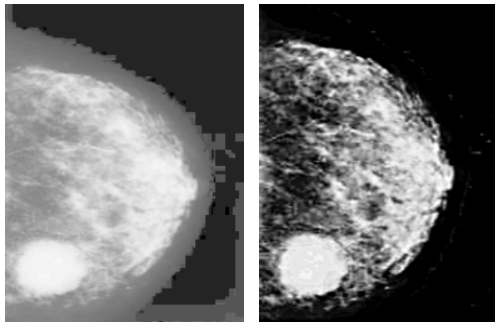
Gambar 8. Citra hasil metode HISTEQ

Gambar 8 menunjukkan peningkatan kontras yang merupakan payudara padat yang awalnya citra tersebut memiliki kontras yang rendah. Namun, disadari bahwa peningkatan derau terdapat pada citra yang telah ditingkatkan. Hal ini disebabkan oleh karakter citra yang *high frequency*, sehingga derau akan meningkat juga.

Peregangan kontras bertujuan untuk meregangkan intensitas keabuan citra dengan mengatur \max_{ROI} (255) yang merupakan nilai maksimum intensitas citra dan \min_{ROI} (0) nilai minimum intensitas citra. *Unsharp-masking* sebagai proses *filtering* bertujuan untuk menghilangkan artefak dan derau yang diakibatkan oleh proses peningkatan kualitas citra. Dibandingkan dengan metode *filtering* lainnya [13][8], *unsharp-masking* menunjukkan hasil citra mammogram yang lebih jelas. Gambar 9 menunjukkan hasil *filtering* dengan menggunakan metode *unsharp-masking*.

Tahap akhir yaitu proses evaluasi. Pada proses ini, metode yang diusulkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan metode peningkatan kontras lainnya, yaitu HISTEQ itu sendiri, *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), dan *contrast stretching*. Penilaian perbandingan metode tersebut diatas dilakukan dengan dua pendekatan. Pertama dengan analisis langsung oleh ahli radiologi dengan memilih

metode terbaik berdasarkan kualitas citra dan kedua dengan metode penilaian kualitas citra MSE (*mean square error*) dan PSNR (*peak signal to noise ratio*).

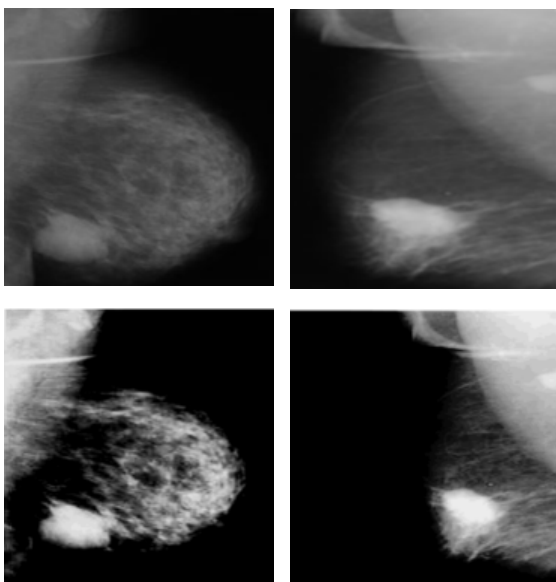


Gambar 9. Citra hasil metode *unsharp masking*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra yang digunakan dalam penelitian ini berupa data mammogram dari *database* Klinik Khusus Onkologi Kota Baru Yogyakarta yang terdiri 40 citra mammogram dengan CC (*Cranio Caudal*) dan MLO (*Mediolateral Oblique*), dimana data tersebut telah di digitalkan menggunakan *scanner* dengan resolusi 50 *microns* dan format TIFF untuk masing-masing citra.

Peningkatan kontras pada citra mammogram merupakan hal yang sangat penting sebelum menerapkan metode segmentasi terhadap objek massa tumor. Kepadatan jaringan parenkim menyembunyikan massa tumor dan hal tersebut menyebabkan sulitnya untuk memisahkannya dari latarbelakang citra. Sebagai metode yang diusulkan, peningkatan kontras dengan metode ekualisasi histogram dilakukan. *Contrast stretching* dan *filtering* dengan *unsharp masking* bertujuan untuk menghapus artefak yang disebabkan oleh proses peningkatan sebelumnya. Hasil ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil peningkatan kontras citra mammogram

Mean Square Error (MSE) dan *Peak Signal Noise Ratio* (PSNR) digunakan untuk mengevaluasi kualitas citra setelah ditingkatkan. Untuk membandingkan metode yang diusulkan, *Histogram Equalization* (HISTEQ), *contrast limited adaptive histogram equalization* (CLAHE), dan *contrast stretching* digunakan sebagai pembanding. Tabel 1 dan Tabel 2 masing-masing menunjukkan nilai rata-rata MSE dan PSNR evaluasi peningkatan 40 citra dengan metode yang diusulkan dan metode pembanding.

Tabel 1. Nilai MSE tiap metode

MSE	HISTEQ	CLAHE	CS	Metode usulan
Average	15.526218	14.211146	11.44985	9.030755

Tabel 2. Nilai PSNR tiap metode

PSNR	HISTEQ	CLAHE	CS	Metode usulan
Average	36.2208	36.62613	37.595105	38.6884927

Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan MSE dan PSNR untuk setiap metode. HISTEQ, CLAHE, *contrast stretching* dan metode yang diusulkan menunjukkan bahwa nilai MSE menurun berturut-turut. Ini berarti bahwa nilai *error* minimum dari metode yang diusulkan (9.030755) menunjukkan kualitas baik untuk citra setelah peningkatan kontras. Di sisi lain, Tabel 2 menunjukkan nilai peningkatan PSNR untuk setiap metode. Ini berarti bahwa nilai maksimum dari metode yang diusulkan (38.6884927) juga menunjukkan kualitas yang baik dari citra setelah proses peningkatan kontras.

Berdasarkan analisis oleh ahli radiologi terhadap hasil yang diperoleh dari perbandingan metode yang dilakukan, metode yang diusulkan menunjukkan hasil yang lebih baik dengan alasan kualitas citra yang lebih baik, daerah yang curigai menjadi lebih jelas, bentuk massa tumor yang lebih tampak dengan tepi yang lebih tegas dibandingkan dengan citra asli dan dengan metode yang lain. Berikut citra hasil dengan metode peningkatan kontras.

V. KESIMPULAN

Metode peningkatan kontras citra telah dilakukan pada penelitian ini. Metode *histogram equalization* sangat umum digunakan untuk peningkatan kontras citra mammogram. Namun, metode ini hanya efektif pada citra mammogram yang memiliki derau rendah. Sedangkan untuk citra yang berderau tinggi memunculkan artefak dan derau baru. Peregangan kontras dan proses *filtering* dengan metode *unsharp-masking* yang diterapkan pada citra mammogram dapat mengurangi derau dan artefak, sehingga citra akan semakin jelas.

Ahli radiologi memilih metode yang diusulkan berdasarkan kejelasan daerah yang dicurigai, bentuk massa tumor yang lebih tampak, dan tepi yang lebih tegas. Sedangkan untuk metode penilaian kualitas citra menggunakan MSE dan PSNR, didapatkan nilai yang lebih baik untuk metode yang diusulkan dibandingkan dengan metode HISTEQ, CLAHE dan *contrast stretching*.

REFERENSI

- [1] T. Ji, M. K. Sundareshan, and H. Roehrig, "Based on Human Visual Properties," vol. 13, no. 4, 1994.
- [2] S. Singh and K. Bovis, "An evaluation of contrast enhancement techniques for mammographic breast masses.," *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 9, no. 1, pp. 109–19, Mar. 2005.
- [3] P. S. S. P. (eds. -A. A. Jasjit S. Suri, S. K. Setarehdan (auth.), Jasjit S. Suri PhD, S. Kamaledin Setarehdan PhD, "Advances in Computer Vision and Pattern Recognition," 2002, pp. 485–486.
- [4] Yankaskas, B. C., Schell, M. J., Bird, R. E. and Desrochers, D. A., "Reassessment of Breast Cancers Missed During Routine Screening Mammography: A Community-Based," *Am. Roentgen Ray Soc.*, vol. 177, pp. 535–541, 2001.
- [5] et al. Ries, LAG, Harkins, D., Krapcho, M., "SEER Cancer Statistics Review 1975-2003," no. National Cancer Institute., 2006.
- [6] G. A. W. D. Jobson, Z. Rahman, "Retinex image processing: Improved fidelity for direct visual observation," *Proc. IS&T Fourth Color Imaging Conf.*, no. Color Science, Systems, and Applications, pp. pp. 124–126, IS&T., 1996.
- [7] F. L. S. Nunes, H. Schiabep, R. H. Benatti, R. C. Stamato, M. C. Escarpinati, C. E. Gdes, D. De Fisica, and I. Universidade, "A method to contrast enhancement of digital dense breast images aimed to detect clustered microcalcifications," pp. 305–308.
- [8] A. Yadav, B. Singh, and S. Singh, "Comparative analysis of different enhancement method on digital mammograms," *2011 2nd Int. Conf. Comput. Commun. Technol.*, pp. 159–163, Sep. 2011.
- [9] M. F. Angelo, A. C. Patrocinio, H. Schiabel, R. B. Medeiros, and S. R. Pires, "Comparing mammographic images.," *IEEE Eng. Med. Biol. Mag.*, vol. 27, no. 3, pp. 74–81, 2008.
- [10] A. Antonie, M., Zaiane, O.R., Coman, "Techniques for Medical Image Classification," *Proc. Second Intl. Work. Multimed. Data Min*, 2001.
- [11] C Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*. 1989, p. Prentice Hall.
- [12] G. c. J. L. Q. huan. Y.B.Yang, H.B.Shang, "Adaptive unsharp masking method based on region segmentation," *Opt. Precis. Eng.*, vol. 11, pp. 188–191.
- [13] F. Engineering and K. Marije, "Local Contrast Enhancement in Digital Mammography by Using Mathematical Morphology."

Perbaikan Citra untuk Peningkatan Kinerja Deteksi Wajah Fitur HAAR-like dengan Variasi Pencahayaan

Laurentius Kuncoro Probo Saputra¹, Hanung Adi Nugroho², Teguh Bharata Adji³

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

kuncoro.saputra89@gmail.com¹, adinugroho@ugm.ac.id², adji.tba@gmail.com³

Abstract—Face detection is important in face recognition especially in an image that contains many faces. The famous HAAR-like face detector is developed by Viola Jones. However, it has a weak performance under adverse lighting condition. In this paper, we propose an enhancement method using MSRCR and CLAHE to improve the performance of HAAR-like face detector for compensating non-uniform illuminations and increasing the robustness of Haar-like face detector. First, MSRCR method is used to make the brightness more uniform and followed by CLAHE is used for adaptive histogram normalization. Finally, HAAR-like face detector is used face detection. Results show that MSRCR and CLAHE have a degradation accuracy until 75.71% in bad condition of illumination. MSRCR and CLAHE can remove non-uniform illumination and improve the HAAR-like face detector performance under adverse lighting condition.

Intisari—Deteksi wajah sangat penting dalam pengenalan wajah terutama pada citra yang memiliki banyak obyek wajah. Deteksi wajah dengan fitur HAAR-like yang sangat populer tetapi masih memiliki kelemahan pada kinerjanya disaat kondisi pencahayaan yang lemah. Pada paper ini, kami mengajukan metode peningkatan citra dengan MSRCR dan CLAHE yang dapat meningkatkan kinerja deteksi wajah dengan fitur HAAR-like untuk menangani pencahayaan yang tidak merata dan meningkatkan sifat adaptifnya. Pertama, metode MSRCR digunakan untuk pencahayaan pada citra menjadi seragam dan CLAHE digunakan sebagai metode perbaikan histogram yang adaptif. Tahap terakhir, deteksi wajah dengan fitur HAAR-like dilakukan untuk menandai lokasi obyek wajah pada citra. Hasil percobaan menunjukkan bahwa MSRCR dan CLAHE memiliki penurunan kinerja sampai 75,71% pada kondisi pencahayaan yang lemah. MSRCR dan CLAHE dapat menghilangkan pencahayaan yang tidak seragam dan meningkatkan kinerja dari deteksi wajah di bawah pencahayaan yang lemah.

Kata kunci; *Multi Scale Retinex; CLAHE; illumination; deteksi wajah HAAR-like.*

I. PENDAHULUAN

Deteksi wajah telah menjadi salah satu topik penelitian di bidang pengolahan citra dengan semakin berkembangnya teknologi komputer. Banyak aplikasi berkembang dengan memanfaatkan deteksi wajah seperti sistem pemantauan, sistem identifikasi berbasis pengenalan wajah, seperti sistem keamanan dan sistem absensi [1, 2]. Deteksi wajah yang dikembangkan oleh Viola-Jones [3] dengan menggunakan fitur HAAR-like

banyak digunakan di berbagai aplikasi karena deteksi wajahnya yang cepat. Tetapi kinerja dari metode deteksi wajah ini sangat sensitif terhadap perubahan pencahayaan, seperti yang dikemukakan oleh [4, 5]. Kinerja deteksi wajah akan berkurang seiring menurunnya kondisi pencahayaan. Min Yao dkk [4] telah mengembangkan sebuah metode untuk memperbaiki kinerja deteksi wajah tersebut dengan metode segmentasi *Otsu* dan *Half Histogram Truncating and Stretching* (HHTS). Tetapi permasalahan kinerja deteksi wajah dalam kondisi pencahayaan yang kurang masih perlu ditingkatkan.

Perbaikan citra masukan dapat dilakukan guna meningkatkan kinerja deteksi wajah. Citra yang diambil dengan kondisi pencahayaan yang rendah memiliki nilai kontras yang rendah pula. Sehingga, perbaikan citra masukan dapat dilakukan dengan peningkatan kontras dari citra tersebut. Beberapa metode telah dikembangkan dalam peningkatan kontras sebuah citra, salah satunya dengan memperbaiki histogram dari citra. Perbaikan histogram dapat dilakukan dengan metode *Cumulative Histogram Equalisation* (CHE), *Histogram Equalisation* (HISTEQ), *Adaptive Histogram Equalisation* (AHE), maupun *Contras Limited Adaptive Histogram Equalisation* (CLAHE) [6] yang merupakan perbaikan dari AHE karena kelemahannya pada peningkatan kontras yang terlalu berlebih.

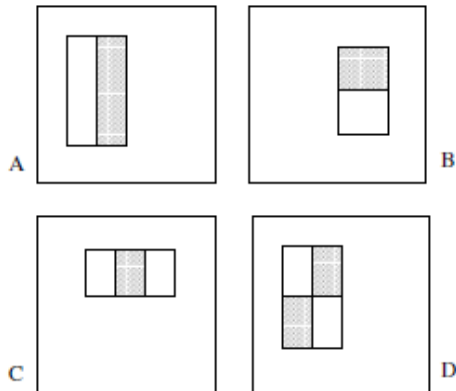
Peningkatan citra dapat pula dilakukan dengan restorasi warna dan kontras citra seperti pada metode *Multi Scale Retinex with Color Restoration* (MSRCR) yang dilakukan oleh Sudharsan Parthasarathy dan Praveen Sankaran [7] memperlihatkan peningkatan kontras dan intensitas warna dari citra pada pencahayaan yang rendah. MSRCR merupakan pengembangan metode MSR (*Multi Scale Retinex*). MSR sangat baik digunakan pada citra *grayscale*, tetapi akan menimbulkan permasalahan pada citra berwarna karena tidak memperhitungkan intensitas relatif dari tiap kanal warna. Penyelesaian permasalahan ini ialah metode MSRCR yang menggunakan bobot untuk tiap kanal warna yang bergantung pada intensitas relatif dari 3 kanal warna pada citra asli [8].

Penelitian ini akan dilakukan perbaikan citra masukan yang berupa citra warna sehingga dapat meningkatkan kinerja deteksi wajah dengan penggabungan metode MSRCR dan CLAHE. Metode yang diusulkan akan dibandingkan dengan beberapa metode peningkatan kontras citra. Perbandingan akan melihat tingkat akurasi deteksi wajah setelah citra masukan mengalami peningkatan kontras.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Deteksi Wajah Fitur HAAR-like

Deteksi wajah merupakan proses untuk mendeteksi dan menangkap sebuah obyek pada citra yang diindikasikan sebagai obyek wajah. Metode Viola-Jones [3] merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam proses deteksi wajah [4, 9, 10]. Metode ini menggunakan beberapa fitur yang dinamakan dengan fitur HAAR-like untuk mendeteksi apakah obyek tersebut merupakan wajah atau bukan wajah. Gambar 1 [3] memperlihatkan fitur HAAR yang digunakan.



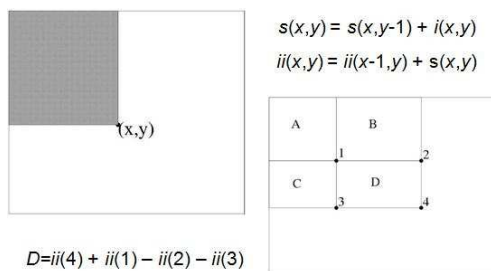
Gambar 1. Fitur HAAR (A) dan (B) 2 fitur bujur sangkar. (C) 3 fitur bujur sangkar. (D) 4 fitur bujur sangkar.

Konsep deteksi wajah dengan fitur HAAR-like ini akan melihat obyek tersebut ialah wajah atau bukan apabila jumlah dari seluruh daerah citra masukan yang diberi bobot nilai sesuai dengan yang ditunjukkan oleh fitur HAAR-like ke-j melebihi batas *threshold* θ_j tertentu. Detektor akan memindai seluruh area pada citra untuk mendapatkan obyek wajah. Proses mengubah citra ke dalam bentuk *integral image* akan membuat proses komputasi lebih ringan. *Integral image* didapatkan dengan persamaan berikut. Ilustrasi pembentukan *integral image* diperlihatkan pada Gambar 2 [3].

$$ii(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x', y') \quad (1)$$

dengan

- $ii(x, y)$ = *integral image*
- $i(x', y')$ = citra masukan



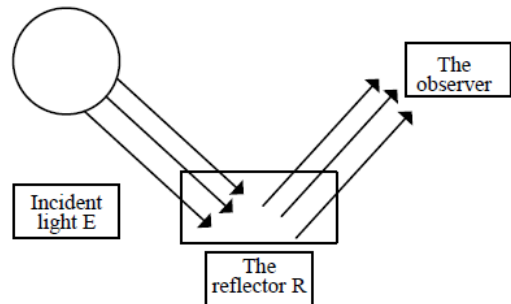
Gambar 2. Ilustrasi *Integral Image*

Sistem deteksi wajah ini dikembangkan dengan sistem pengklasifikasi bertingkat. Setiap tingkatnya

dibentuk dari pengklasifikasi AdaBoost, sebuah algoritma pelatihan dengan menggabungkan *weak classifier* menjadi *strong classifier*.

2.2 Retinex

Teori Retinex merupakan sebuah pemodelan cahaya dan persepsi warna yang dilihat oleh manusia. Teori ini diajukan oleh Edwin Land [11] yang terdiri atas 2 aspek: bahwa antara warna sebuah obyek dengan nilai mutlak intensitas pencahayaan tidak memiliki ketergantungan dan kemampuan refleksi sebuah obyek terhadap pencahayaan akan menentukan warna dari obyek itu.



Gambar 3. Diagram dari Teori Retinex [12]

Berdasarkan diagram pada Gambar 3, sebuah citra dapat dianggap sebagai hasil produk dari gabungan antar radiasi cahaya yang dipancarkan dengan pemantulan radiasi cahaya oleh obyek. Secara matematis dapat ditulis [12]:

$$I(x, y) = L(x, y) \times R(x, y) \quad (2)$$

dengan:

- $I(x, y)$ = mewakili sinyal dari gambar asli
- $R(x, y)$ = komponen refleksi
- $L(x, y)$ = komponen pencahayaan

Metode Retinex berkembang dengan salah satunya yaitu MSRCR dengan persamaan yang dapat ditulis seperti pada persamaan (3),

$$R_{MSRCRi}(x, y) = G[C_i(x, y)R_{MSRi}(x, y) + b] \quad (3)$$

dengan,

$$C_i(x, y) = f[I'_i(x, y)] \quad (4)$$

- C_i = *Color Restoration Function* untuk pita ke-i
- R_{MSRCRi} = *multi scale retinex* dengan *color restoration* untuk pita spectral ke-i

Color Restoration Function yang memberikan nilai terbaik ialah:

$$C_i = \frac{\beta \log[\alpha I'_i(x, y)]}{\beta \log[\alpha I(x, y)]} \quad (5)$$

$$= -\beta \log \left[\sum_{i=1}^S I_i(x, y) \right] \quad (6)$$

dengan β adalah konstanta *gain*, α adalah nilai control ketidaklinieran, G dan b merupakan nilai akhir dari *gain* dan *offset*.

2.3 CLAHE

Metode CLAHE merupakan metode perbaikan citra dengan melakukan operasi pada area lokal sebuah citra yang disebut dengan *tile*. Setiap *tile* akan dilakukan peningkatan *contrast* berdasarkan histogram menggunakan metode distribusi kumulatif. Setelah setiap *tile* dilakukan peningkatan kontras, metode CLAHE akan menggabungkan tiap *tile* yang bertetanggaaan dengan interpolasi bilinear untuk menghilangkan batas-batas artifisial. Metode CLAHE dapat mengatasi permasalahan peningkatan kontras yang berlebih pada metode AHE dengan memberikan nilai batas pada histogram atau biasa disebut dengan *clip limit*. *Clip limit* ini digunakan untuk membatasi nilai maksimal dari histogram citra hasil peningkatan kontras. *Clip limit* dapat dihitung dengan rumus:

$$Clip\ limit = \frac{M}{N} + \left(\frac{\alpha}{100} (M - 1) \right) \quad (7)$$

dengan:

- M = jumlah pixel dalam 1 *tile*
- N = level *grayscale*, biasanya *graylevel* dengan 256 level
- α = *clip factor*, menyatakan penambahan batas limit histogram.

Selisih antara nilai histogram dengan nilai *clip limit* untuk masing-masing level *grayscale* akan dikumulatifkan dan akan didistribusikan secara seragam di setiap level *grayscale*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, untuk meningkatkan kinerja dari deteksi wajah HAAR disaat kondisi pencahayaan rendah atau tidak merata dapat dilakukan dengan metode perbaikan citra. Sebuah citra akan melalui 3 tahap proses perbaikan citra sebelum masuk pada sistem deteksi wajah, yaitu: (1) memproses citra masukan berupa citra warna dengan metode MSRCR, (2) mengubah citra pada level grayscale, (3) meningkatkan kontras dengan metode CLAHE. Gambar 4 menunjukkan alur proses tahapan penelitian.

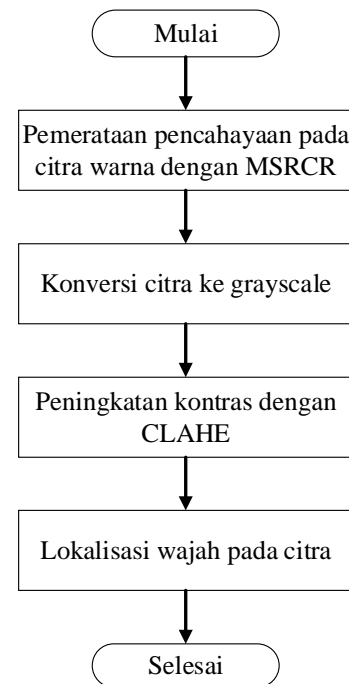
Pada tahap pertama pemrosesan citra digunakan metode MSRCR guna memperoleh citra dengan pencahayaan yang merata. Citra masukan diproses dalam citra warna. Permasalahan dalam hal pencahayaan yang kurang merata dapat diselesaikan dengan metode ini. Proses berikutnya dengan mengubah citra menjadi level *grayscale* yang selanjutnya digunakan sebagai citra masukan metode CLAHE untuk perbaikan histogram yang bertujuan untuk meningkatkan kontras citra. Setelah mendapatkan citra hasil peningkatan kontras, citra akan mulai diproses pada sistem deteksi wajah. Proses terakhir ialah melakukan evaluasi penggunaan metode MSRCR dan CLAHE

dengan cara melakukan perbandingan dengan beberapa metode peningkatan kontras lainnya. Penilaian perbandingan dilakukan dengan melihat tingkat akurasi dan penurunan akurasi kinerja sistem deteksi wajah saat kondisi pencahayaan mulai berkurang. Penilaian nilai akurasi menggunakan persamaan (8).

$$akurasi = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

dengan:

- TP = *true positif*, obyek berupa wajah dan terdeteksi
- FP = *false positif*, obyek berupa wajah tetapi tidak terdeteksi



Gambar 4. Diagram alir metode penelitian

Pada penelitian ini menggunakan citra masukan berukuran 2592x1944 yang diambil di dalam sebuah ruang kelas dengan memposisikan kamera berada di depan tengah kelas. Kondisi pencahayaan diubah yang dimulai dengan pengaktifan seluruh lampu sampai menon-aktifkan seluruh lampu di dalam kelas. Ada 4 kondisi (Gambar 5a-5d, Gambar 6a-6d) pencahayaan yang digunakan sebagai citra masukan. Pengaturan kondisi pencahayaan dilakukan dengan menyalakan sejumlah lampu TL yangdi perlihatkan pada tabel I. Kondisi I menunjukkan kondisi saat seluruh lampu diaktifkan, sampai pada kondisi IV menunjukkan seluruh lampu dinon-aktifkan.

Tabel I. Pengaturan Pencahayaan Tiap Kondisi

Kondisi Pencahayaan	Jumlah Lampu Menyala (buah @40W)
I	18
II	12
III	6
IV	0

Kondisi I
(5a)



Kondisi II
(5b)



Kondisi III
(5c)



Kondisi IV
(5d)



Gambar 5. Penurunan kondisi pencahayaan pada ruang kelas (5 orang di dalam kelas).

Kondisi I
(6a)



Kondisi II
(6b)



Kondisi III
(6c)



Kondisi IV
(6d)



Gambar 6. Penurunan kondisi pencahayaan pada ruang kelas (7 orang di dalam kelas).

IV. HASIL DAN ANALISIS

Sistem deteksi wajah dengan fitur HAAR-like sangat sensitif terhadap perubahan pencahayaan. Kinerjanya dalam hal akurasi sangat kurang baik apabila citra masukan pada Gambar 5 langsung diproses untuk deteksi wajah. Deteksi wajah dengan fitur HAAR-like memperlihatkan bahwa tidak dapat mendeteksi wajah di semua tingkat kondisi pencahayaan. Metode peningkatan citra harus mampu menguatkan fitur-fitur wajah yang terdapat pada citra masukan agar pada proses deteksi wajah, sistem mampu menentukan dengan tepat apakah obyek tersebut wajah atau bukan wajah. Hal tersebut disebabkan deteksi wajah dengan fitur HAAR-like merupakan metode yang berbasis pada penampakan fitur-fitur yang ada pada wajah dan akan memindai citra masukan untuk menemukan fitur-fitur wajah tersebut.

Percobaan awal dilakukan untuk mendapatkan pengaturan parameter yang tepat untuk metode MSRCR agar pencahayaan lebih merata pada citra dengan kondisi gelap (citra kondisi pencahayaan III dan IV). Dari hasil percobaan awal tersebut, metode MSRCR menggunakan pengaturan parameter $level = uniform$, $scale = 240$, $scale\ division = 8$, dan $dynamic = 4$. Penentuan parameter pengaturan pada metode MSRCR dilakukan dengan melihat nilai PSNR pada citra hasil MSRCR untuk pencahayaan pada kondisi III dan IV terhadap citra hasil MSRCR untuk pencahayaan pada kondisi I.

Setelah penggunaan MSRCR untuk peningkatan citra masukan, kinerja sistem deteksi wajah dengan fitur HAAR-like memperlihatkan peningkatan dalam deteksi wajah, seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Percobaan 1: Akurasi Deteksi Wajah HAAR-like dengan dan tanpa MSRRCR

Kondisi Pencahayaan	Tanpa MSRRCR (%)	MSRRCR (%)
I	0	100
II	0	100
III	0	37.14
IV	0	10

Tabel 2 memperlihatkan kinerja deteksi wajah masih kurang baik pada kondisi pencahayaan III dan IV.

Peningkatan kontras yang dilakukan dengan perbaikan pada histogram dapat juga meningkatkan kinerja akurasi sistem deteksi wajah. Tabel 3 memperlihatkan perbandingan beberapa metode perbaikan histogram guna meningkatkan kinerja akurasi sistem deteksi wajah. Parameter pada metode CLAHE menggunakan nilai *clip limit* = 0,08 dan distribusi = *uniform*.

Tabel 3. Percobaan 2: Akurasi Deteksi Wajah HAAR-like dengan Perbaikan Histogram pada Citra Masukan

Kondisi Pencahayaan	CHE (%)	HISTEQ (%)	CLAHE (%)	HHTS[4] (%)
I	100	100	100	100
II	100	100	100	100
III	75,71	82,85	78,57	90
IV	58,57	48,57	51,43	68,57

Seperti yang telah ditunjukkan pada penelitian Min Yao dkk [4], metodenya mampu memberikan kinerja yang baik pada saat terjadi penurunan kondisi pencahayaan. Hal tersebut dikarenakan HHTS melakukan segmentasi *Otsu* [13] untuk mengetahui *threshold* terkecil untuk selanjutnya dijadikan nilai pusat pada proses *truncating* dan *stretching* histogram. Min Yao dkk berasumsi bahwa wajah memiliki nilai intensitas yang rendah (pada daerah gelap) dalam kondisi gelap. Tetapi pada tabel 2 terlihat bahwa metode HHTS hanya mampu memberikan akurasi sebesar 68,57% saat kondisi seluruh lampu dinon-aktifkan.

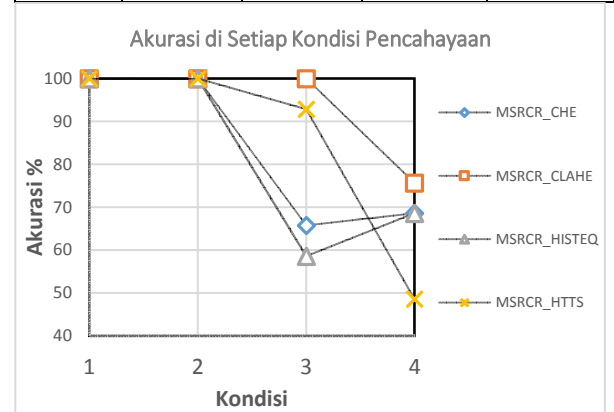
Dari 2 percobaan di atas, perbaikan citra masih perlu dilakukan untuk mendapatkan kinerja yang stabil dalam mendeteksi wajah di berbagai kondisi pencahayaan. Sehingga percobaan selanjutnya dilakukan dengan menggabungkan metode MSRRCR dengan 4 metode yang berbasis perbaikan histogram. Perbaikan citra dengan metode MSRRCR dan CLAHE memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode lainnya. Peningkatan kinerja deteksi wajah dilihat dari akurasi sistem deteksi wajah dalam mendeteksi jumlah wajah yang terdapat pada citra (Tabel 4 dan Gambar 7).

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan dalam Tabel 4, terlihat bahwa MSRRCR dan CLAHE dapat mempertahankan akurasi sampai 75,71% pada kondisi IV. Citra masukan pada kondisi IV dilakukan peningkatan kontras dan restorasi warna dengan MSRRCR sehingga citra masukan terlihat lebih baik dan tidak gelap, ditambahkan dengan perbaikan histogram dengan CLAHE yang memiliki sifat peningkatan

kontras secara lokal pada setiap *tile*-nya. Penurunan akurasi diperlihatkan pada Gambar 7. Gambar 8 menunjukkan obyek wajah yang berhasil dideteksi.

Tabel 4. Akurasi Deteksi Wajah HAAR-like MSRRCR dengan beberapa metode perbaikan histogram

Kondisi Pencahayaan	MSRRCR dan CHE (%)	MSRRCR dan HISTEQ (%)	MSRRCR dan CLAHE (%)	MSRRCR dan HHTS[4] (%)
I	100	100	100	100
II	100	100	100	100
III	65,71	58,57	100	92,85
IV	68,57	68,57	75,71	48,57



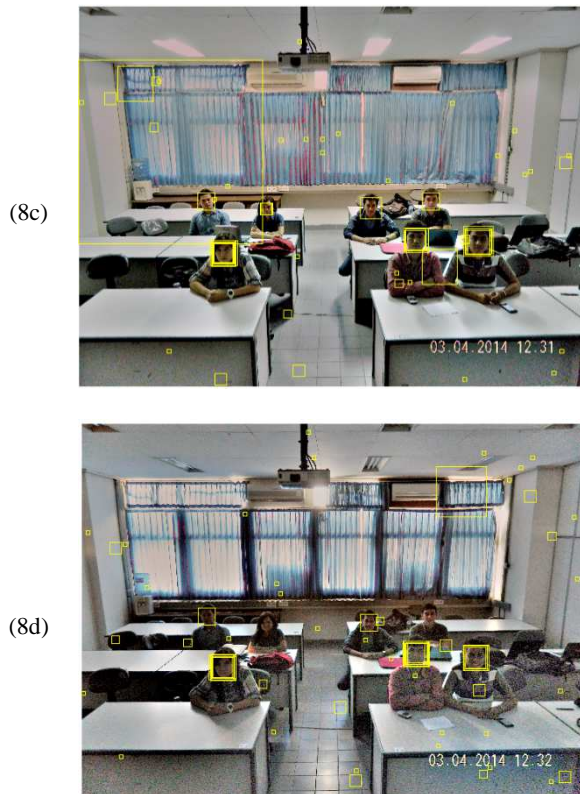
Gambar 7. Grafik kestabilan akurasi



(8a)



(8b)



Gambar 8. Hasil deteksi wajah dengan metode MSRCR+CLAHE, (a). Kondisi pencahayaan I, (b) Kondisi pencahayaan II, (c) Kondisi pencahayaan III, (d) Kondisi pencahayaan IV.

V. KESIMPULAN

Metode perbaikan citra pada citra masukan perlu dilakukan supaya kinerja dari sistem deteksi wajah dengan fitur HAAR-like mampu menangani kondisi di mana terjadi perubahan pencahayaan. Metode perbaikan citra dengan MSRCR dan CLAHE mampu meningkatkan fitur wajah sehingga detektor mampu mendeteksi wajah dengan benar dan menghasilkan kinerja yang baik saat kondisi pencahayaan mulai berkurang. MSRCR dan CLAHE mampu mempertahankan kinerjanya dalam mendeteksi wajah sampai 75,71% di kondisi pencahayaan IV.

REFRENSI

- [1] V. Shehu and A. Dika, "Using real time computer vision algorithms in automatic attendance management systems," in *Information Technology Interfaces (ITI), 2010 32nd International Conference on*, 2010, pp. 397-402.
- [2] T. D. Nguyen, Q. Lam Duong, V. Nhat Cao, T. Long Ta, H. Thang Manh, and T. de Souza-Daw, "An efficient and reliable human resource management system based on a hybrid of face authentication and RFID technology," in *Communications and Electronics (ICCE), 2012 Fourth International Conference on*, 2012, pp. 333-338.
- [3] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on*, 2001, pp. I-511-I-518 vol.1.
- [4] Y. Min, K. Aoki, and H. Nagahashi, "Segmentation-based illumination normalization for face detection," in *Computational Intelligence & Applications (IWCIA), 2013 IEEE Sixth International Workshop on*, 2013, pp. 95-100.

- [5] N. Rahmantha, "Penerapan Algoritme Viola-Jones dan Eigenface Pada Sistem Pengenalan Wajah," Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 2013.
- [6] K. Zuiderveld, *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*. San Diego, CA, USA: Academic Press Professional, Inc, 1994.
- [7] S. Parthasarathy and P. Sankaran, "An automated multi Scale Retinex with Color Restoration for image enhancement," in *Communications (NCC), 2012 National Conference on*, 2012, pp. 1-5.
- [8] A. A. Reddy, P. R. Jois, J. Deekshitha, N. S., and R. Hegde, "COMPARISON OF IMAGE ENHANCEMENT TECHNIQUES USING RETINEX MODELS," *International Journal of Advanced Computer Engineering and Communication Technology (IJACECT)*, vol. 2, 2013.
- [9] M. Niazi and S. Jafar, "Hybrid face detection with HSV Color method and HAAR classifier," in *Software Technology and Engineering (ICSTE), 2010 2nd International Conference on*, 2010, pp. V2-325-V2-329.
- [10] M. Songyan and D. Tianchang, "Improved Adaboost Face Detection," in *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2010 International Conference on*, 2010, pp. 434-437.
- [11] H. L. EDWIN and J. M. JOHN, "Lightness and Retinex Theory," *Journal of the Optical Society of America*, vol. 61, pp. 1-11, 1971.
- [12] J. Yang, L. Wan, and C. Qu, "Illumination Processing Recognition of Face Images Based on Improved Retinex Algorithm," *JOURNAL OF MULTIMEDIA*, vol. 8 No.5.
- [13] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE Trans. On System, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-9, no. 1, pp. 62-66, 1979.

Ekstraksi Ciri Suara Jantung Berbasis Metode Statistis

Domy Kristomo¹, Indah Soesanti², Oyas Wahyunggoro³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta, Indonesia, 55281

¹domykristomo@yahoo.com, ²indah@mail.ugm.ac.id, ³oyas@ugm.ac.id

Abstract - Feature extraction becomes an important step before the classification process, it aims to explore the dynamics of the data contained in the heart sounds. Especially to distinguish normal heart sounds and various types of murmurs. Therefore it is necessary to learn effective feature extraction method. In this paper developed a heart sound feature extraction method using statistical approach, namely by calculating the mean value, standard deviation, entropy, skewness, and kurtosis heart sound signal in time domain. Result range value of the mean : - 0.007 - 0.0247, standard deviation: 0.033 - 0.474, entropy: 1.852 - 4.625, skewness: -0.600 - 0.193, Kurtosis: 2.802 - 24.251. The results obtained shows normal heart sounds have a greater tendency mean value or positive, while murmurs tend to be negative. Most heart sounds have leptokurtic distribution with kurtosis values > 3.

Intisari - Ekstraksi ciri menjadi tahap yang penting sebelum proses klasifikasi, hal ini bertujuan untuk menggali dinamika yang terkandung dalam data suara jantung. Khususnya untuk membedakan suara jantung normal dan berbagai jenis murmur. Oleh karena itu perlu dipelajari metode ekstraksi ciri yang efektif. Pada paper ini telah dikembangkan sebuah metode ekstraksi ciri suara jantung menggunakan pendekatan statistis, yaitu dengan menghitung nilai *mean*, simpangan baku, *entropy*, *skewness*, dan *kurtosis* isyarat suara jantung pada ranah waktu. Jangkauan nilai yang dihasilkan *Mean*: -0.007 - 0,0247, simpangan baku: 0,033 - 0,474, *entropy*: 1,852 - 4,625, *skewness*: -0,600 - 0,193, *Kurtosis*: 2,802 - 24,251. Hasil yang diperoleh menunjukkan suara jantung normal memiliki kecenderungan nilai *mean* lebih besar atau positif, sedangkan murmur cenderung bernilai negatif. Sebagian besar suara jantung memiliki distribusi Leptokurtik dengan nilai kurtosis > 3.

Kata kunci — ekstraksi ciri, suara jantung, statistis, *mean*, simpangan baku, *entropy*, *skewness*, *kurtosis*.

I. PENDAHULUAN

Analisis suara jantung diperlukan untuk mendiagnosis adanya ketidaknormalan pada fungsi jantung. Salah satu alat bantu diagnosis adalah stetoskop elektronik, karena dapat merekam suara jantung untuk didengarkan kembali atau diolah untuk didengarkan frekuensi tertentu dari data tersebut. Pendeteksian awal penyakit jantung dengan menggunakan stetoskop disebut teknik auskultasi, yang merupakan proses interpretasi gelombang-gelombang akustik yang dihasilkan oleh aktivitas mekanik jantung. Auskultasi merupakan metode *screening* dengan biaya rendah yang digunakan sebagai alat fundamental dalam pendiagnosisan penyakit jantung [1]. Dalam pendiagnosisan, auskultasi dapat memberikan informasi mengenai fungsi katup-katup jantung dan hemodinamik

jantung, serta pendeteksian gangguan jantung, terutama permasalahan valvular. Suara jantung normal mempunyai rentang frekuensi antara 20 Hz hingga 500 Hz, sedangkan suara jantung abnormal mempunyai rentang frekuensi hingga 1000 Hz. Jantung yang tidak normal memperdengarkan suara tambahan yang disebut murmur [1]. Murmur disebabkan oleh pembukaan katup yang tidak sempurna atau stenosis (yang memaksa darah melewati bukaan sempit) regurgitasi yang disebabkan oleh penutupan katup yang tidak sempurna dan mengakibatkan aliran balik darah. Pengenalan secara detail memerlukan hasil perekaman suara jantung yang kemudian diolah dan dianalisis dengan melakukan transformasi dari energi suara jantung yang terekam berupa angka-angka, yang merupakan tahap ekstraksi fitur. Transformasi sinyal dapat menggunakan analisis terhadap ranah frekuensi dan ranah waktu. Selain itu pengolahan sinyal dapat digunakan untuk menghilangkan noise yang terjadi sehingga data suara yang didapat akan menjadi lebih jelas. Diperlukan teknik tambahan untuk menganalisis hasil auskultasi, diantaranya proses akuisisi jantung, pra pengolahan, ekstraksi ciri, dan klasifikasi.

Ekstraksi dan klasifikasi suara jantung sudah pernah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya diantaranya dengan metode *Normalized Averaging Shannon Energy* (NASE) [2], *AR spectrum energy* [2], *Morlet Wavelet* [3], Dekomposisi Wavelet [4] [5], *Principle Component Analysis* (PCA) [6], *Welch* [7][8], *Levenberg-Marquardt* [9], ANN [4] [8], *Shannon Entropy* [5], *Shannon Energy* [10], Dimensi Fraktal [10], Support Vector Machine (SVM) [11], *Wigner-Ville Distribution* (WVD) [12], *Continue Wavelet Transform* (CWT) [12].

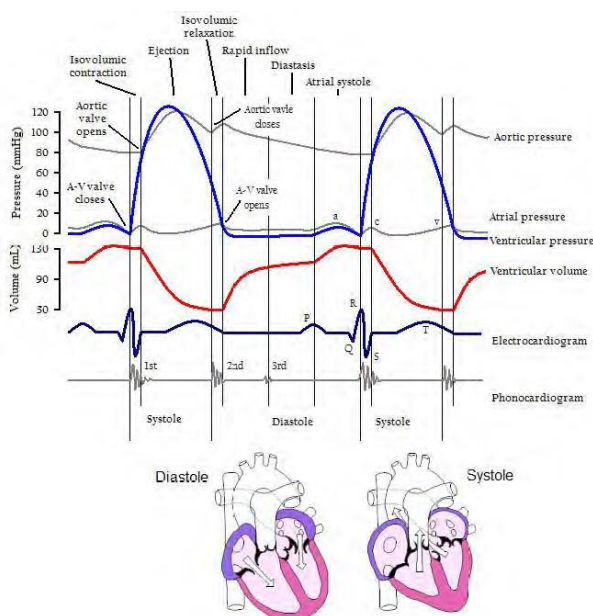
Pada penelitian sebelumnya dengan metode *welch* [12] ekstraksi ciri dilakukan dengan mencuplik PSD menjadi beberapa cuplikan, yang kemudian hasil cuplikan PSD suara jantung tersebut digunakan sebagai data pelatihan ke jaringan neural perambatan balik. Arsitektur jaringan neural yang optimal berhasil dirancang, dan diuji dengan isyarat suara jantung yang telah ditambah derau untuk menguji kemampuan jaringan neural dalam mengklasifikasi dan toleransinya terhadap derau. Penelitian lain dengan metode *Welch* [6] menggunakan ciri PSD, dimana dari *energy band* PSD tersebut dibagi menjadi tiga bagian yakni *energy low* (E_L), *energy medium* (E_m), dan *energy high* (E_h) yang kemudian dipakai sebagai ciri, selain itu ditambah dengan ciri *maximum energy* ($Maxp(dB)$), dan frekuensi korelasi dari *maximum energy* tersebut ($Maxf(Hz)$). Kelima ciri tersebut digunakan sebagai masukan ke *classifier* dengan *Full Bayesian Neural Network Model* (FBNNM). Dari kedua penelitian tersebut ekstraksi ciri dilakukan di ranah frekuensi.

Pada paper ini dipilih metode statistis. Kelebihan metode statistis adalah ekstraksi ciri dapat dilakukan di ranah waktu, sehingga komputasi lebih cepat, karena tidak memerlukan proses transformasi.

II. Ekstraksi Ciri Suara Jantung

Jantung berfungsi sebagai pompa yang mendorong darah melalui seluruh sistem vaskuler. Siklus jantung adalah interval dari akhir satu kontraksi jantung ke akhir kontraksi berikutnya. Siklus jantung terdiri dari dua periode, yaitu periode kontraksi (sistol) dan relaksasi (diastol) [1]. Selama fase sistolik dan diastolik, suara jantung dihasilkan dari pembukaan dan penutupan katub jantung, aliran darah didalam jantung, getaran otot jantung. Empat suara jantung dihasilkan di siklus kardiak [1]. Suara jantung pertama (S1) dan kedua (S2) dapat didengar dengan mudah pada jantung normal melalui stetoskop yang ditempatkan di area dada dengan tepat. Kejadian ini diperlihatkan pada kurva tekanan (Gambar 1).

Selama fase sistolik dan diastolik, suara jantung dihasilkan dari pembukaan dan penutupan katub jantung, aliran darah didalam jantung, getaran otot jantung. Suara jantung pertama memiliki empat komponen. suara jantung pertama (S1), hanya komponen dua dan tiga yang terdengar disebut M1 dan T1. Suara jantung kedua (S2) dan disebabkan oleh penutupan katup semilunar (*aortic* dan *pulmonary*) terjadi akhir ventrikular sistolik, memiliki dua komponen yaitu *aortic* (A2) dan *pulmonary* (P2). Suara jantung ketiga (S3) disebabkan oleh osilasi darah antara dinding aorta dan ventrikular. Suara jantung terakhir (S4) disebabkan oleh turbulensi dari ejsksi darah. Suara jantung ketiga dan keempat disebabkan oleh terminasi fase pengisian ventrikular, setelah fase isovolumetrik dan kontraksi atrial.terminasi fase pengisian ventrikular, setelah fase isovolumetrik dan kontraksi atrial.



Gambar 1. Gambar Hubungan Suara Jantung dan Siklus Jantung [1].

2.1 Metode Statistis

Ekstraksi ciri dapat dilakukan pada ranah frekuensi atau ranah waktu, pada paper ini dilakukan ekstraksi ciri ranah waktu dengan menghitung mean, simpangan baku, entropy, *skewness* dan kurtosis.

Nilai rata-rata dapat dicari dengan persamaan:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \tag{1}$$

Dengan

μ = Rata – rata / Mean

X_i = Nilai ke i

N = Jumlah data

Simpangan baku merupakan ukuran sebaran statistis yang mengukur bagaimana nilai-nilai data tersebar dapat dicari dengan persamaan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

Dengan

σ = Simpangan baku

x_i = Data ke-i

Entropy merupakan sebuah fitur untuk mengukur keteracakan dari distribusi intensitas yang didefinisikan dengan persamaan:

$$H = - \sum_{i=0}^N P_i \cdot \log(P_i) \tag{3}$$

Dengan

H = Entropy

P_i = probabilitas kejadian i

Skewness menunjukkan tingkat kemencengan relative kurva histogram dari suatu citra yang dapat dicari dengan persamaan:

$$Sk = \frac{E(x - \mu)^3}{\sigma^3} \tag{4}$$

Dengan

Sk = Skewness

μ = Rata – rata / Mean

σ = Simpangan baku

Jika *skewness* kurang dari -1 atau lebih dari +1, distribusinya adalah *highly skewed*. Jika *skewness* antara -1 dan -0,5 atau antara 0,5 dan 1, distribusinya adalah *moderately skewed*. Jika *skewness* antara -0,5 dan 0,5, distribusinya adalah *approximately symmetric*.

Kurtosis adalah derajat keruncingan suatu distribusi (biasanya diukur relatif terhadap distribusi normal). Kurva yang lebih lebih runcing dari distribusi normal dinamakan leptokurtik, yang lebih datar platikurtik dan

distribusi normal disebut mesokurtik. Kurtosis dihitung dari momen keempat terhadap *mean*. Distribusi normal memiliki kurtosis = 3, sementara distribusi yang leptokurtik biasanya kurtosisnya > 3 dan platikurtik < 3.

$$\alpha_4 = \frac{m_4}{m_2^2} \tag{5}$$

Dengan

$$m_4 = E(x - \mu)^4$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

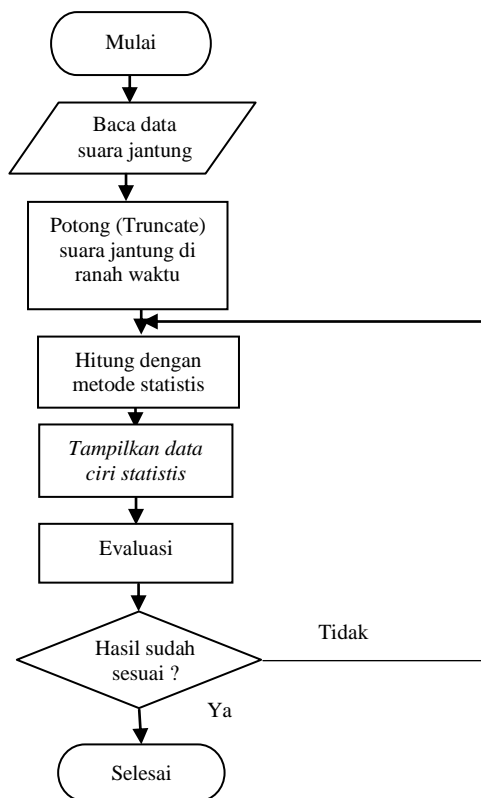
α_4 = Kurtosis / Derajat keruncingan

\bar{x} = Nilai rata-rata hitung

n = Banyaknya data

III. HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian ini, untuk mencari ciri suara jantung dilakukan melalui 4 tahap, yaitu (1) baca data suara jantung, (2) potong (*truncate*) suara jantung, (3) hitung dengan metode statistis, (4) tampilkan hasil perhitungan dalam bentuk vektor ciri. Gambar 2 menunjukkan alur tahapan penelitian.



Gambar 2. Diagram alir ekstraksi ciri dengan metode statistis

Data suara jantung normal subjek pada penelitian ini yaitu pria berusia 55 tahun, berat badan 57 kg dengan kondisi jantung normal, sedangkan data publik diperoleh

dari database [13], [14], dan [15]. Ekstraksi ciri berbasis statistis dilakukan dengan mencari *Mean*, Simpangan baku, *Entropy*, *Skewness*, dan Kurtosis untuk 46 suara jantung di ranah waktu.

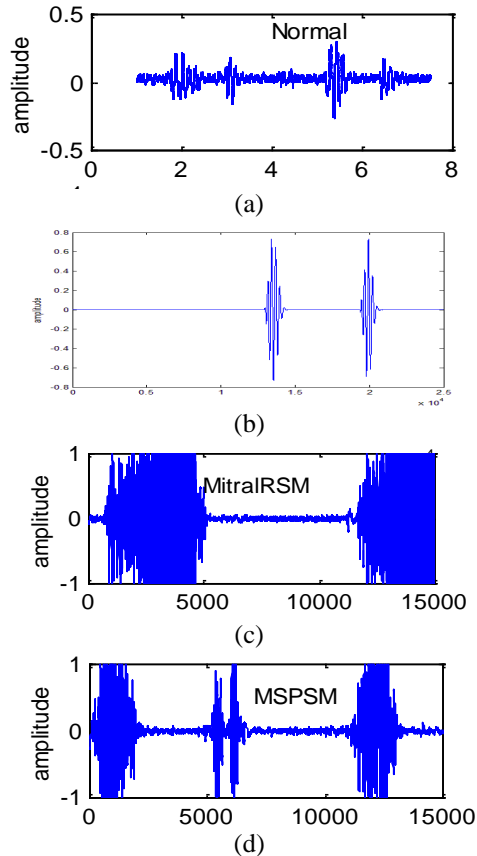
Tabel 1. Hasil Ekstraksi ciri suara jantung dengan metode statistis

No.	Jenis	Mean	Simpangan Baku	Entropy	Skewness	Kurtosis
1	Normal	0,0247	0,0512	4,3668	0,0932	8,8316
2	MRSM	-0,0046	0,4039	3,9377	-0,057	4,6415
3	MSPSM	-0,0002	0,3126	3,7638	0,0287	7,3175
4	MRHSM	-0,0042	0,4197	3,6814	0,0174	4,4366
5	AILS	-0,0008	0,0829	2,5895	-0,0269	7,8962
6	MSOS	-0,0037	0,1948	3,6057	0,0891	14,1876
7	ARF	0,0034	0,2825	3,2818	0,0513	10,2651
8	MRLS	-0,0025	0,3488	3,6271	-0,0522	6,4221
9	PDAC	-0,0008	0,0735	3,5008	0,0488	2,8015
10	TRHM	-0,0047	0,4494	3,871	-0,0175	3,9228
11	MRSM,HP	0,0014	0,3101	4,0486	0,0205	6,0432
12	SHASS	0,0019	0,1751	3,2793	0,0856	24,1513
13	ASOS	-0,0008	0,0477	2,5488	-0,3016	7,7477
14	CHBS	0,002	0,2482	3,2025	0,079	13,9203
15	MRMS	-0,0035	0,3573	3,8033	-0,0286	6,0621
16	MRSMC	-0,0046	0,4039	3,9377	-0,057	4,6415
17	MRMSS	0,0024	0,3493	4,6254	-0,046	4,5837
18	MRTHS	-0,0074	0,4741	3,9345	-0,0033	3,6284
19	MSA1	-0,0037	0,1406	3,3548	-0,1579	16,895
20	MSSMD	-0,0052	0,345	4,1871	-0,0541	5,51
21	PSHS	-0,0007	0,0995	2,5192	0,1123	9,2814
22	RBBB	0,0033	0,2339	3,5749	-0,2293	10,9717
23	VSDC	-0,0008	0,1043	2,7768	-0,0875	4,7623
24	ASDA	0,0029	0,2682	3,564	0,0401	10,3535
25	COAM	-0,0008	0,0332	1,8524	-0,6002	19,725
26	Normal	0,002	0,2482	3,2025	0,079	13,9203
27	Third HS	-0,0035	0,3573	3,8033	-0,0286	6,0621
28	Fourth HS	-0,0046	0,4039	3,9377	-0,057	4,6415
29	SG	0,0024	0,3493	4,6254	-0,046	4,5837
30	AS	-0,0074	0,4741	3,9345	-0,0033	3,6284
31	MS	-0,0037	0,1406	3,3548	-0,1579	16,895
32	PS	-0,0052	0,345	4,1871	-0,0541	5,51
33	AR	-0,0007	0,0995	2,5192	0,1123	9,2814
34	MR	0,0033	0,2339	3,5749	-0,2293	10,971
35	AF	-0,0008	0,1043	2,7768	-0,0875	4,7623
36	PFR	0,0029	0,2682	3,564	0,0401	10,3535
37	Normal Split S1	0,003	0,194	3,0255	-0,0475	7,2514
38	N Split 2nd	0,0014	0,1332	2,7963	-0,1326	24,151
39	S3	0,0016	0,1517	3,1565	0,0583	5,8589
40	S4	0,0017	0,1532	3,0369	0,1131	11,4344
41	ESM	0,0031	0,1904	2,9812	0,193	8,3811
42	LSM	0,0018	0,1519	3,1163	0,1293	11,5527
43	EC	0,0024	0,1631	2,8928	-0,0096	7,662
44	OS	0,0047	0,1882	3	0,0416	7,0523

Tabel 1. (Lanjutan)

No.	Jenis	Mean	Simpangan Baku	Entropy	Skewness	Kurtosis
45	PM	0,0024	0,1845	3,4477	-0,018	7,052
46	DR	0,0017	0,1874	3,5793	0,0003	6

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data file suara jantung dari beberapa web format WAV masing-masing data dengan ukuran dan durasi yang berbeda.



Gambar 3. (a) Isyarat suara jantung normal subjek, (b) isyarat suara jantung normal publik, (c) isyarat murmur suara jantung mitral regurgitasi sistolik, (d) isyarat murmur suara jantung mitral stenosis pre sistolik

Pada penelitian sebelumnya [8], Untuk memperoleh hasil ekstraksi ciri, isyarat suara jantung diolah dengan PSD yang mentransformasi isyarat dalam ranah waktu kedalam ranah frekuensi, rapat spektral daya (PSD) diolah menggunakan metode Welch (*pwelch*), dan isyarat PSD yang berupa isyarat dalam ranah frekuensi yang ternormalisasi dan nilai amplitudo yang bervariasi dengan deretan matriks 4097 titik. Elemen vektor yang dihasilkan adalah: 0,0009, 0,0283, 0,7236, 0,0016, 0,0043, 0,0015, 0,0017, 0,0003, 0,0001, 0,0001, 0,0000, 0,0000, 0,0000, 0,0000, 0,0000, 0,0000, 0,0000, 0,0000, 0,0000, 0,0000. Dari tersebut dapat diamati bahwa nilai yang paling besar ada pada interval ketiga, ini berarti bahwa informasi untuk isyarat ini ada disekitar frekuensi 150 Hz. Vektor ini merupakan komponen matriks yang

akan menjadi masukan bagi proses berikutnya. Penelitian lain dengan metode Welch [6] menggunakan ciri PSD, dimana dari *energy band* PSD tersebut dibagi menjadi tiga bagian yakni *energy low* (E_L), *energy medium* (E_m), dan *energy high* (E_h) yang kemudian dipakai sebagai ciri, selain itu ditambah dengan ciri *maximum energy* ($Maxp(dB)$), dan frekuensi korelasi dari *maximum energy* tersebut ($Maxf(Hz)$). Hasil ekstraksi ciri pada data kelas pertama: $E_L=0,45$, $E_m=0,3$, $E_h=0,24$, $Maxf(Hz)=82$, $Maxp(dB)=53,6$, dan data kelas kedua: $E_L=0,27$, $E_m=0,28$, $E_h=0,45$, $Maxf(Hz)=120$, $Maxp(dB)=60,2$.

Tabel 2 menunjukkan jangkauan nilai ciri statistis untuk 46 data suara jantung yakni *mean*: -0,007 – 0,0247, simpangan baku: 0,033 – 0,474, entropy: 1,852 – 4,625, *skewness*: -0,600 – 0,193, dan *Kurtosis*: 2,802 – 24,251. Hasil yang diperoleh menunjukkan suara jantung normal mempunyai nilai mean yang lebih besar dan positif (0,0247 dan 0,002) jika dibandingkan dengan murmur. Suara jantung normal mempunyai jangkauan nilai *mean* sebesar 0,002 – 0,0247. Suara jantung abnormal mitral regurgitasi maupun stenosis memberikan nilai mean yang sebagian besar bernilai negatif. Simpangan baku memiliki nilai rata-rata sebesar 0,2376 dan seluruhnya bernilai positif. *Entropy* memiliki nilai rata-rata 3,433. *Skewness* untuk murmur sistolik bernilai negatif atau condong ke kiri, yang artinya nilai mean dan median berada pada mode kiri. Nilai kurtosis seluruh data > 3 atau bersifat Leptokurtik, kecuali untuk suara jantung *Patent Ductus Arteriosus Continous Machinery Murmur* bernilai 2,8015 atau bersifat Platikurtik. Pada data kelas pertama atau suara jantung normal, vektor ciri: 0,0247, 0,0512, 4,3668, 0,0932, 8,8316. Mean bernilai 0,0247 atau positif artinya rata-rata amplitudo isyarat adalah positif. *Skewness* bernilai 0,0512 atau antara -0,5 dan 0,5 jadi distribusinya *approximately symmetric*. Kurtosis bernilai 8,8316 atau kurtosis > 3 jadi distribusinya *leptokurtic*.

IV. KESIMPULAN

Metode statistis dapat digunakan untuk mencari ciri pada suara jantung. Suara jantung normal mempunyai nilai *mean* yang lebih besar dan positif (0,0247 dan 0,002) jika dibandingkan dengan murmur. Jenis murmur regurgitasi (disebabkan penutupan katup jantung yang tidak sempurna) mempunyai simpangan baku lebih besar dibandingkan stenosis (pembukaan katup jantung yang tidak sempurna). Sebagian besar suara jantung bersifat Leptokurtik dengan nilai kurtosis > 3, kecuali *Patent Ductus Arteriosus Continous Machinery Murmur* bernilai 2,8015 atau Platikurtik. Ekstraksi ciri dengan metode statistis pada ranah waktu lebih sederhana jika dibandingkan ekstraksi ciri ranah frekuensi dikarenakan tidak adanya proses transformasi.

REFERENSI

- [1] Abbas, Abbas K dan Bassam, Rasha, *Phonocardiography Signal Processing*. Morgan & Claypool Publisher, 2009.
- [2] Liping Liu, Weilian Wang Gang Yuan, "Algorithm of Heart Sound Segmentation and Feature Extraction," 6th International Congress on Image and Signal Processing (CISP 2013), 2013, pp. 1552–1556.
- [3] Lisha Zhong, Xingming Guo*, An Ji and Xiaorong Ding, "A Robust Envelope Extraction Algorithm for Cardiac Sound Signal Segmentation," College of Bioengineering, Chongqing University, China, 2009.
- [4] Huiying Liang, Iiro Hartimo, "A Heart Sound Feature Extraction Algorithm Based on Wavelet Decomposition and Reconstruction," presented at the 2th Annual International Conference of the ZEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2007, vol. 20, No 3, pp. 1539–1542.
- [5] Sherif Omran, Prof Dr Mazhar Tayel, "A Heart Sound Segmentation and Feature Extraction Algorithm using Wavelets," Alexandria University - Faculty of engineering, 2004, pp. 235–238.
- [6] D. Avendaño-Valencia, F. Martinez-Tabares, D. Acosta-Medina, I. Godino-Llorente, G. Castellanos-Dominguez, "TFR-based Feature Extraction using PCA Approaches for Discrimination of Heart Murmurs," presented at the 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS, Minneapolis, Minnesota, USA, 2009, pp. 5665–5668.
- [7] Jing Zhou, Wei He, Chunmei Dan, Xiaosheng Que, "Feature Extraction and Recognition of Heart Sound," Chongqing University, Chongqing, China, 2008.
- [8] Yul Antonisfia, Romi Wiradinata, "Ekstraksi Ciri pada Isyarat Suara Jantung menggunakan Power Spectral Density Berbasis Metode Welch," *Media Informatika*, vol. 6, No. 1, pp. 71–84, Jun-2008.
- [9] H. M. Hadi, M. Y. Mashor, M. S. Mohamed, K. B. Tat, "Classification of Heart Sounds Using Wavelets and Neural Networks," presented at the 5th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE 2008), 2008, pp. 177–180.
- [10] Christer Ahlstrom, Peter Hult, Peter Rask, Jan-Erik Karlsson, Eva Nylander, and Ulf Dahlström, "Feature Extraction for Systolic Heart Murmur Classification," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 34, No. 11, pp. 1666–1677, Nov. 2006.
- [11] D. Kumar, P. Carvalho, M. Antunes†, R. P. Paiva, J. Henriques, "Heart Murmur Classification with Feature Selection," presented at the 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, Buenos Aires, Argentina, 2010, pp. 4856–4859.
- [12] Ira Puspasari, Achmad Arifin, Rimuljo Hendradi, "Analisis Ekstraksi Ciri Pada Suara Jantung Diastolik dengan menggunakan Wavelet Transform dan Wigner Ville Distribution," 2013.
- [13] Anonim, "HeartSounds, <http://www.sci.sdsu.edu/multimedia/heartsounds/>," 2004.
- [14] "HeartSounds&Murmurs, <http://www.dundee.ac.uk/medther/Cardiology/hsmur.html>."
- [15] "Heart&LungSounds, http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_EU/3M-Littmann-EMEA/stethoscope/littmann-learning-institute/heart-lung-sounds/."

Low Cost Remote Terminal Unit (RTU) Sistem SCADA Berbasis Android

Hendy Rudiansyah¹, Suharyanto², Adha Imam Cahyadi³

^{1,2,3} *Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55981*

hendy_mtinst12@mail.ugm.ac.id¹, suharyanto@te.ugm.ac.id², adha.imam@ugm.ac.id³

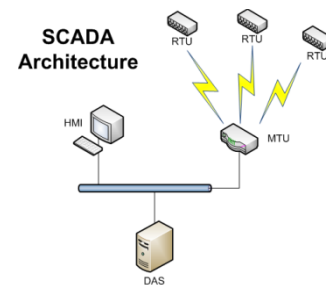
Abstrak - Kebutuhan akan pengontrolan dan pengawasan jarak jauh terhadap suatu *plant* sangatlah diperlukan saat ini, khususnya bagi industri menengah ke bawah. Sistem SCADA yang konvensional terdiri dari *master station*, *remote terminal unit (RTU)*, *human machine interface* dan sistem komunikasi. Umumnya penggunaan RTU memiliki *platform* tertentu, atau menggunakan PLC dan mikrokontroler. Tetapi kompleksibilitas dan harga pengembangan dari sistem yang menjadi kendala utama, sehingga diperlukan RTU yang lebih murah untuk mengatasi masalah tersebut. Pemanfaatan mikrokontroler dan *smartphone android* menjadi sebuah *remote terminal unit* yang *low cost*, dan mampu memenuhi persyaratan minimum dari sebuah RTU, yaitu memantau data digital, kontrol, dan data masukan analog kemudian merubahnya menjadi data digital. Khusus masukan analog menggunakan sensor suhu LM35 di *plant*, dan dipantau hasilnya di RTU, dan dianalisis dengan *regresi linier* dengan hasil kecocokan data mencapai 94%.

Kata Kunci : SCADA, Android, RTU, Low Cost

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, dituntut suatu teknologi yang mampu menghasilkan peralatan yang dapat menyelesaikan segala permasalahan industri dan mempermudah manusia dalam bekerja. Dengan peralatan tersebut mampu menggantikan sebagian atau lebih peran manusia, sehingga proses industri semakin mudah, murah, praktis dan cepat. Hal ini yang terus mendorong para ahli untuk mengembangkan teknologi, dan menciptakan peralatan yang terbaru, terkini, dan lebih baik dari peralatan sebelumnya yang dianggap lebih mahal, kurang praktis dan lambat.

SCADA merupakan suatu proses *monitoring* dan pengendalian jarak jauh, serta akuisisi data yang sangat dibutuhkan oleh semua dunia industri seperti bidang manufaktur, transportasi, pengolahan air, distribusi listrik, dan lain – lain. Sistem SCADA merupakan kontrol yang tidak langsung, karena sebenarnya yang mengontrol langsung adalah PLC, mikrokontroler atau kontroler lainnya yang terpasang langsung di *plant*, sedangkan SCADA sifatnya sebagai koordinator dari kontrol – kontrol yang berada di bawah levelnya[1].



Gbr.1 Arsitektur SCADA

Pada umumnya sistem SCADA yang konvensional terdiri atas *Master Station*, *Remote Terminal Unit (RTU)*, *Human Machine Interface (HMI)*, dan sistem komunikasi, serta *plant* yang dikendalikan. RTU yang terpasang di *plant* biasanya menggunakan kontroler PLC, mikrokontroler, atau IED, alat ini akan mengendalikan aktuator dan mengambil data dari *plant* kemudian mengirimkannya ke *Master Station* melalui sistem komunikasi, kemudian data tersebut akan diproses dan ditampilkan dalam HMI [2].

Namun dikarenakan adanya berbagai jenis *platform* yang digunakan dalam SCADA, membuat penggunaannya terkendala karena tidak kompetibel antara komponen yang digunakan, dan masalah biaya yang cukup tinggi. Termasuk dalam pemilihan RTU yang merupakan komponen penting dan harus terpasang di *plant* yang akan dikendalikan dan dipantau prosesnya [3].

Pada umumnya saat ini RTU memanfaatkan RTU ber-*platform* SCADA seperti Siemens, ABB, dll, atau menggunakan PLC, akan tetapi terkendala dengan harga yang cukup tinggi jika dimanfaatkan untuk mengendalikan *plant* yang berskala menengah ke bawah. Sedangkan untuk syarat fungsi minimum yang harus dipenuhi RTU cukuplah banyak, diantaranya adalah mampu menerima data analog dengan range 4 – 20mA dan 0 – 10 Volt, mampu menerima dan memproses data digital dari *Master Station*, mampu berkomunikasi dengan *Master Station*, memiliki kemampuan *start-up* otomatis dan inialisasi restorasi jika terjadi pemutusan daya listrik, memiliki kemampuan *download database* dari *Master Station*, memiliki cadangan baterai *backup*, dan

lain – lain. Selain itu juga harus memiliki fitur pendukung dalam memberikan hasil yang maksimal atas kinerja RTU, seperti mendukung untuk penggunaan keluaran analog untuk standar nilai 4-20mA, PLC *support*, dan lain – lain [4].

Salah satu fungsi minimum dari RTU adalah dapat memantau tiga jenis data seperti *analog*, *digital* dan kontrol. Untuk *analog*, RTU mengukur data dengan satuan seperti tegangan dengan *range* 0 – 10 Volt, dan ampere dengan *range* 4 – 20 mA. Sedangkan untuk data *digital* dijelaskan dalam status tertentu, *alarm* atau indikasi tertentu. Kemudian untuk data kontrol bisa digambarkan dalam kondisi *open* dan *close*, *raise* atau *lower* dan *reset* [4].

Oleh sebab itu dalam penelitian ini akan dibangun sebuah *remote terminal unit* yang *low cost* dengan memanfaatkan mikrokontroler[5][6] *arduino* serta *smartphone android* untuk pemantauan, kendali, serta akuisisi data terhadap *plant* yang diuji[7]. Kemudian data itu dikirimkan ke *master station* lewat jaringan internet dan ditampilkan di *master station* menggunakan *labview base*[8] dan *web base* lewat perantara *database*. Karena banyaknya syarat yang harus dipenuhi sebuah *remote unit*, maka fokus penelitian ini hanya untuk memantau data *analog* dari *plant* dengan tampilan data di RTU, lalu dirubah menjadi data digital dalam mikrokontroler, data kontrol untuk masukan serta keluaran digital.

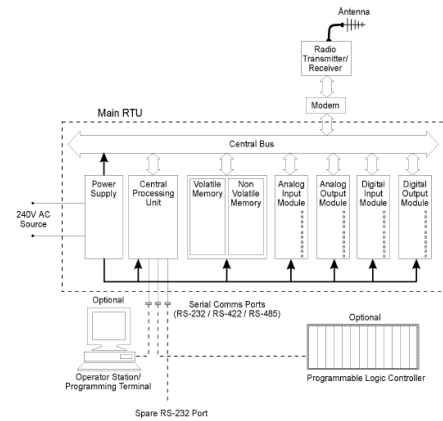
II. REMOTE TERMINAL UNIT (RTU)

RTU merupakan unit *slave* pada arsitektur SCADA berbasis mikroprosesor dan bertugas untuk mengambil data dari peralatan yang terpasang di sebuah *plant*, kemudian biasanya secara tradisional mengirimkan data tersebut ke *Master Station* yang berjarak jauh melalui komunikasi yang digunakan. Memungkinkan juga berkomunikasi secara *per to peer* dengan RTU lainnya, dan juga bisa bertindak sebagai stasion relay ke RTU lainnya yang tidak dapat diakses dari *Master Station*. Kapasitas RTU yang terkecil memiliki kurang dari 10-20 sinyal analog dan digital, yang medium memiliki 100 sinyal digital dan 30-40 masukan analog. Untuk kapasitas besar memiliki masukan/keluaran diatas medium. [9].

Hardware RTU meliputi:

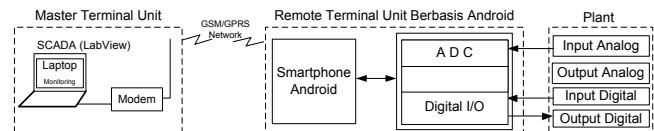
- CPU dan Memori
- Masukan Analog/Digital
- Keluaran Analog/Digital
- Counter
- Interface Keluaran Digital
- Power Supply
- Rak RTU
- dll

Secara umum konfigurasi dari sebuah RTU ditunjukkan oleh gambar 2.



Gbr.2 Arsitektur RTU

III. PERANCANGAN RTU BERBASIS ANDROID

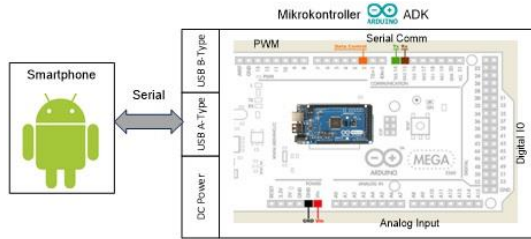


Gbr.3 Diagram Blok RTU dalam SCADA

Secara keseluruhan sistem yang dirancang seperti pada umumnya sistem SCADA dibangun. Terdapat *plant* atau aplikasi yang dikendalikan dan dimonitoring, RTU yang dirancang *low cost* karena memanfaatkan mikrokontroler[10] *arduino* dan di dalamnya terdapat fungsi ADC yang akan digunakan dalam penelitian ini, kemudian untuk akuisisi data dan kendali menggunakan *smartphone* berbasis *android*. Sehingga terdapat kombinasi antara mikrokontroler *arduino* dan *smartphone android* dalam membangun sebuah RTU yang *low cost*, untuk kombinasi diantara keduanya menggunakan *bluetooth*. Terdapat pula *Master Station* yang tertanam dalam PC dengan perangkat lunak *LabView* dan *Web Base*. Untuk komunikasi antara *Master Station* dan RTU memanfaatkan jaringan GPRS/GSM[11].

Arsitektur hardware sistem SCADA yang dirancang terdiri atas *Master Station* yang bertugas menerima data dari *plant* yang dikirimkan RTU, kemudian menyimpannya dalam *database* pusat, kemudian mampu juga mengirimkan data atau memberikan instruksi ke *plant* lewat RTU yang dirancang. Dengan bantuan jaringan GPRS yang disediakan modem yang terhubung dengan PC, maka MTU akan mudah melakukan tugas tersebut. Lalu dalam arsitektur perangkat lunak yang memanfaatkan *labview* dan *web base*, akan menyediakan tampilan SCADA dalam PC untuk memantau dan mengendalikan *plant* dari jarak jauh. Visual yang ditampilkan dalam PC menggambarkan atau mewakili proses kerja dari *plant* yang dikendalikan dan atau yang dipantau. Sistem SCADA ini harus sangat jelas yang mampu memberikan informasi sebanyak mungkin bagi operator serta bagian-bagian yang terkait.

Fungsi utama dari RTU itu sendiri adalah sebagai *slave* dan letaknya jauh dari *master station*, tetapi masih mampu berkomunikasi satu sama lain, kemudian diletakkan berdekatan dengan *plant* yang akan dikendalikan, yang berfungsi mengambil data dan mengendalikan *plant* tersebut. Struktur design yang dirancang RTU adalah sebagai berikut :



Gbr.4 RTU berbasis Android

Banyaknya persyaratan dalam memenuhi fungsi sebuah RTU, maka itu dilakukan secara bertahap untuk dapat memenuhi persyaratan tersebut[12], dan untuk penelitian kali ini hanya difokuskan dalam menguji kemampuan pin masukan analog pada mikrokontroler *arduino* untuk menerima sinyal analog dari *plant* yang terpasang, yang kemudian akan diproses menjadi data digital, atau dikenal dengan istilah *Analog To Digital Converter (ADC)*, lalu dikirimkan oleh *smartphone* menuju *Master Station* dan ditampilkan dalam *LabView*.

B. Analog To Digital Converter (ADC) dalam Arduino

Dalam penelitian ini akan mendesain sebuah RTU menggunakan mikrokontroler *arduino* Mega ADK, yang memiliki spesifikasi *processor* Atmega2560, *clock speed* 16MHz, dan 10 bit ADC. Untuk memori memiliki *flash memory* 256 Kbytes, SRAM 8 Kbytes, dan EEPROM 4 Kbytes. Untuk masukan/keluaran terdiri atas digital 54 pin (15 PWM) dan 16 pin untuk masukan analog. Sedangkan masukan *voltage* sebesar 7-12 Volt, dengan dilengkapi konektor DC power dan komunikasi jenis USB-A [13].

Dengan memanfaatkan pin masukan analog, mikrokontroler *arduino* akan menerima sinyal analog berupa potensiometer atau sensor suhu LM35 yang terpasang di *plant*, kemudian sinyal analog tersebut akan diubah ke dalam sinyal digital. Konsep ini dinamakan ADC, dan membutuhkan proses konversi sinyal analog yang bersifat kontinu ke dalam bit-bit biner diskrit. Kemudian memiliki karakteristik yang berbeda sehingga sinyal analog tersebut akan dipecah ke dalam beberapa rentang diskrit, yang dinamakan *resolusi*. Semakin tinggi *resolusi* maka rentang diskrit semakin kecil, sehingga karakteristik sinyal keluaran akan semakin kontinu, dan mendekati bentuk sinyal masukan[14].

A. Smartphone android

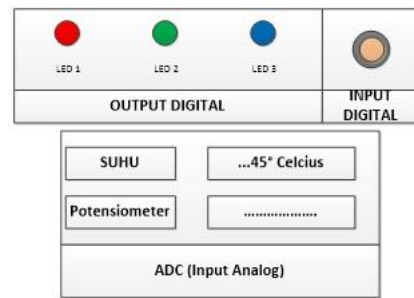
Selain menggunakan fungsi ADC dalam mikrokontroler *arduino* Mega ADK, dalam penelitian ini juga menggunakan *smartphone* berbasis *android* untuk kendali dan akuisisi data. *Smartphone* yang digunakan memiliki spesifikasi *operating system android* *froyo* atau versi 2.2 ke atas, jaringan GPRS dan GSM, port USB,

Bluetooth dan tentunya layar *touchscreen*. Struktur desain antar muka dalam *smartphone android* :



Gambar.5 Desain Komunikasi Pada Smartphone Android

Dari gambar 5, terlihat rancangan untuk menu untuk setting komunikasi antara RTU dengan *plant* menggunakan *bluetooth*, sedangkan komunikasi RTU dengan *Master Station* menggunakan jaringan internet.

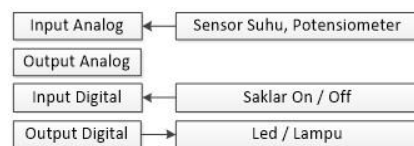


Gambar. 6 Tampilan RTU Pada Android

Dari gambar.6, terlihat rancangan untuk tampilan *monitoring plant* di sisi *android*, dengan menampilkan data masukan dan keluaran digital, serta data masukan analog.

IV. PLANT YANG DIUJI

Plant ini dibuat sebagai simulasi, dan untuk menguji kinerja dari sistem yang dirancang. Meliputi masukan analog dan digital, serta keluaran analog dan digital.



Gambar.7. Blok Diagram Plant



Gambar.8. Plant sebagai alat pengujian

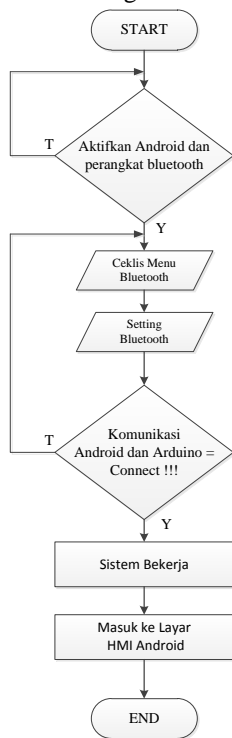
Untuk data masukan analog memanfaatkan sensor suhu LM35 dan potensiometer, tetapi untuk pengujiannya hanya menggunakan sensor suhu LM35. Sedangkan untuk data digital memanfaatkan tombol on/off dan 3 buah led dengan warna yang berbeda.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perangkat Lunak

Saat menghubungkan 2 perangkat keras, yakni mikrokontroler *arduino* dan *smartphone android* di dalam *remote terminal unit* yang dirancang, maka perlu dilakukan setting komunikasi yang telah disediakan dalam menu HMI android. Untuk menghubungkan kedua komponen diatas cukup setting di menu *Bluetooth*, sedangkan *plant* sudah terhubung secara wiring dengan terminal mikrokontroler. Untuk menghubungkan antara *remote terminal unit* dengan *master station*, maka komunikasi yang harus disetting adalah menu *hosting*, untuk alamat *hostingnya* bisa langsung diketik di menu yang sudah disediakan.

Berikut *flowchart* untuk setting komunikasi di dalam menu *android* dijelaskan dalam gambar.9

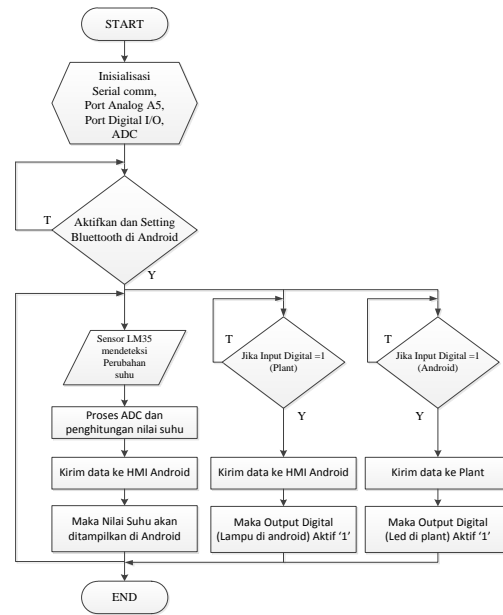


Gambar.9. *Flowchart* Setting *Bluetooth* di *Android*

Saat sudah terhubung antara mikrokontroler *arduino* dengan *smartphone android*, maka secara otomatis *plant* bisa dieksekusi oleh *smartphone android* sebagai alat kendali. Jika sensor suhu LM35 menerima pengaruh suhu dari sekitarnya, maka ia merespon dan menghasilkan tegangan keluaran yang akan dikirim ke masukan analog di sisi

mikrokontroler. Kemudian sensor *value* tersebut akan diproses dan konversi ke data digital, kemudian akan dirubah kembali menjadi satuan derajat *celcius* dan dikirimkan datanya untuk ditampilkan di HMI *android*.

Sedangkan jika ada perubahan data masukan digital misalkan dari nilai '0' menjadi '1', baik itu dari arah *plant* ataupun *android*, maka mikrokontroler akan mengeksekusinya sesuai data tersebut dan merubah data keluaran digital, dan mengirimkan ke *android* atau *plant*.



Gambar.10. *Flowchart* Prinsip Kerja *Plant* dan RTU

B. Perangkat Keras

Sesuai dengan rancangan, maka perangkat keras dibangun atas beberapa komponen utama seperti *plant* sebagai alat simulasi pengujian, *remote terminal unit* (RTU) yang terdiri atas *android* dan *arduino*, dan *master station* yang terdiri atas *modem* dan sistem SCADA atau *monitoring* dalam sebuah *personal computer*. Berikut hasilnya dalam gambar berikut ini :

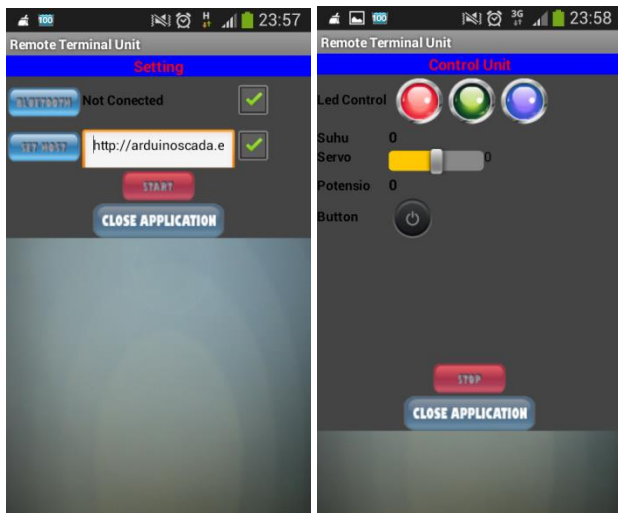


Gambar.11. Perangkat Keras

RTU adalah inti dari penelitian yang memanfaatkan *smartphone android* dan mikrokontroler *arduino* sebagai

sebuah *Remote Terminal Unit* (RTU) yang berbiaya murah dan terjangkau untuk industri menengah ke bawah.

Dikarenakan membangun sebuah remote terminal itu banyak persyaratannya, maka untuk pegujian dalam penelitian ini kita akan memanfaatkan fungsi ADC saja yang sudah termasuk dalam mikrokontroller *arduino* itu sendiri. Sedangkan penggunaan *smartphone android* untuk akusisi data dan kendali dari sebuah *remote terminal*.



Gambar.12. Tampilan Menu Setting dan HMI Android

C. Pengujian

Tabel.1 Hasil Pengujian Data Masukan Keluaran Digital 1

Tampilan di Plant		Tampilan di HMI Android	
Push Button (Masukan Digital)	Kondisi	Led (Keluaran Digital)	Kondisi
	Tombol Off		Lampu Tidak Menyala
	Tombol On		Lampu Menyala

Salah satu untuk menguji kinerja RTU adalah menguji data masukan digital. Sebuah tombol *on/off* di *plant* bisa dioperasikan oleh operator, dan secara *wiring* dihubungkan langsung dengan terminal masukan di mikrokontroller, kemudian saat mikrokontroller ini menerima data digital saat tombol *on/off* ditekan atau tidak ditekan, maka data tersebut akan *discanning* dalam program mikrokontroller dan menghasilkan kondisi sesuai data digital yang diterima mikrokontroller.

Dari hasil tabel.1. RTU berfungsi dengan baik karena saat tombol ditekan menjadi ON di *plant*, maka keluaran lampu menyala di HMI *Android*, lalu kemudian tombol ditekan menjadi OFF, maka keluaran lampu menjadi padam.

Tabel.2 Hasil Pengujian Data Masukan Keluaran Digital 2

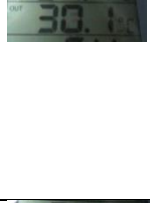
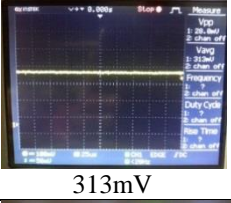


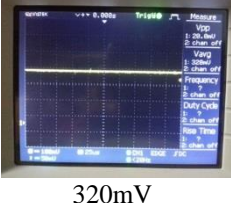


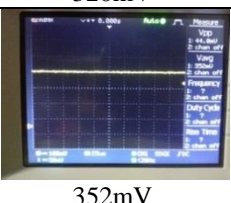
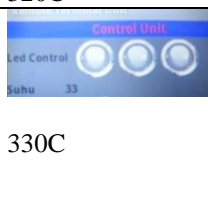

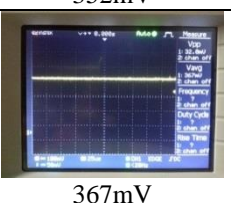

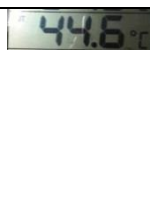
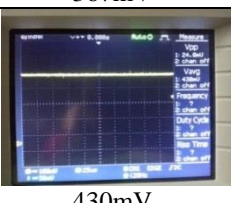


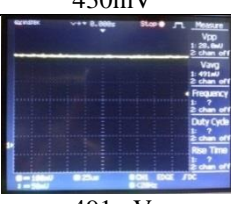

Tampilan di HMI Android		Tampilan di Plant	
Push Button (Masukan Digital)	Kondisi	Led (Keluaran Digital)	Kondisi
	All PB = 0		All Led = 0
	PB Red = 1		Led Red = 1
	PB Green= 1		Led Green = 1
	PB Blue= 1		Led Blue = 1
	PB red dan Blue = 1		Led red dan Blue = 1

Dalam tabel.2. menunjukkan hasil pengujian dari masukan data yang dikendalikan dari layar *touchscreen HMI Android*, kemudian data dikirimkan ke mikrokontroller dan keluarannya dihubungkan ke *plant*. Saat salah satu tombol di layar *touchscreen* disentuh atau diberi sinyal “1”, maka keluaran di *plant* yakni led menjadi menyala (“1”). Kemudian saat tombol tersebut disentuh kembali atau diberi sinyal “0”, maka led di *plant* akan menjadi “0”.

Dengan hasil pengujian pada tabel.1. dan tabel.2. mampu menunjukkan fungsi dari RTU dengan baik untuk data digital.

Tabel. 3 Hasil Pengujian Data Masukan Analog

Plant	Mikro Arduino	Tampilan Android
Suhu (°C)	Keluaran LM35 (mV)	Suhu (°C)
	 284mV	 29°C
	 302mV	 300C

			310C
	313mV		
			320C
	320mV		
			330C
	352mV		
			370C
	367mV		
			440C
	430mV		
			460C
	491mV		

Tabel.3. hasil dari pengukuran data masukan analog, dengan cara membaca suhu yang diterima oleh sensor LM35, kemudian menghasilkan tegangan yang dihubungkan ke kaki masukan analog mikrokontroler, yang kemudian dibaca dengan oscilloscope sesuai dengan nilai pada tabel.3 diatas. Data lengkap yang ditampilkan dalam tabel.3. hanya 8 buah data saja, dalam kenyataannya penulis mengambil contoh data sebanyak 20 buah untuk menguji kebenaran data yang dihasilkan. Data itu ditampilkan dalam tabel.4.

Dalam *plant* disediakan sebuah *thermometer* digital untuk mengukur suhu yang dideteksi oleh sensor suhu LM35. Dengan naik turunnya suhu di sekitar *plant* yang dikendalikan, maka sensor LM35 akan mengeluarkan tegangan keluaran yang dihubungkan langsung dengan pin masukan analog mikrokontroler kemudian memprosesnya. Salah satu proses yang dilakukan adalah proses ADC dengan persamaan(1) [14]:

$$ADC = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times BIT \dots\dots\dots(1)$$

Dimana : BIT = 2ⁿ dengan n=jumlah bit.....(2)

Karena sistem ini menggunakan arduino Mega2560 yang memiliki resolusi ADC 10 bit, maka

$$BIT = 2^{10} = 1024 \quad (0\dots\dots1023)$$

Penulis ambil data ke-1 dari tabel.4 berikut ini :

Tabel. 3 Hasil Pengujian Data Masukan Analog

Data	Plant	LM35	RTU
	Suhu(°C)	Vout (mV)	Suhu(°C)
1	28.3	284	29
2	28.3	285	28.4
3	28.4	296	30
4	28.8	297	28.9
5	29.1	302	30
6	29.5	302	29.1
7	30.1	313	30
8	31.3	325	31
9	31.8	320	32
10	31.1	331	34.3
11	32.3	340	32
12	32.8	347	33
13	33.3	352	33
14	34.2	356	33.8
15	34.6	335	34
16	34.8	362	36
17	35.4	367	37
18	36.6	389	37.4
19	44.6	430	44
20	45.4	491	46

Maka nilai ADC nya adalah

$$ADC : \frac{284mV}{5V} \times 1024 = 58,16$$

Berdasarkan nilai ADC diatas, kita bisa menghitung nilai suhu yang sebenarnya harus terbaca di RTU adalah

$$Suhu \text{ di RTU} : \frac{5 \times ADC \times 100}{1024} = 28,4^{\circ}C$$

Nilai sesuai dengan karakteristik dari LM35 yakni memiliki akurasi kenaikan linier suhu 1^oC/10mV.

Tetapi jika dibandingkan dengan nilai suhu yang terbaca di *thermometer* di *plant* terjadi perbedaan sebesar :

$$Selisih \text{ Suhu} : \frac{(28,4-28,3)}{28,4} \times 100\% = 0,004 \%$$

Nilai tersebut bisa diabaikan karena mendekati 0%.

Lalu penulis ambil data ke-20 :

Maka nilai ADC nya adalah

$$ADC : \frac{491mV}{5V} \times 1024 = 100,56$$

Berdasarkan nilai ADC diatas, kita bisa menghitung nilai suhu yang sebenarnya harus terbaca di RTU adalah

$$Suhu \text{ di RTU} : \frac{5 \times ADC \times 100}{1024} = 49,1^{\circ}C$$

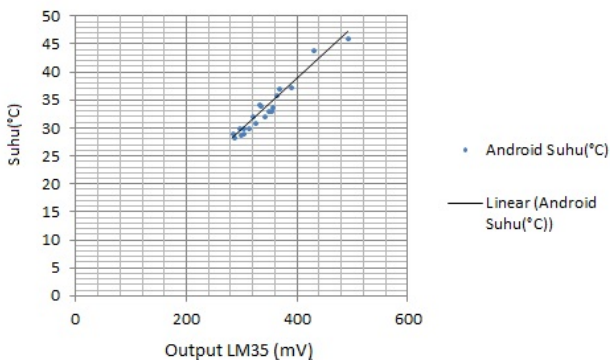
Nilai sesuai dengan karakteristik dari LM35 yakni memiliki akurasi kenaikan linier suhu $1^{\circ}C/10mV$.

Tetapi jika dibandingkan dengan nilai suhu yang terbaca di *thermometer* di *plant* terjadi perbedaan sebesar :

$$\text{Selisih Suhu} : \frac{(49,1-45,4)}{49,1} \times 100\% = 0,08 \%$$

Terdapat perbedaan atau error sebesar 0,08%, hal ini pun wajar karena sensor LM35 masih memiliki toleransi suhu error sebesar $0,5-1^{\circ}C$, selain itu memiliki sifat *self heating* sebesar 0,08%. Jadi hasil ini pun masih baik [15].

Dari tabel.4 kita bisa mendapatkan grafik hubungan antara keluaran LM35 dengan suhu yang terbaca di RTU pada layar HMI Android.



Gambar.13. Hubungan Keluaran LM35 dengan Suhu yang terbaca di RTU

Gambar.13 memperlihatkan 20 titik data yang didapat dari hasil pengukuran RTU, secara visual terlihat hubungannya bersifat linier, dan untuk mengukur hubungan antara dua variabel tersebut digunakan *regresi linier*. Garis lurus yang didapat dapat dinyatakan dalam persamaan(3) :

$$Y = a_0 + a_1x + E \dots\dots\dots(3)$$

Dimana a_0 dan a_1 adalah koefisien-koefisien yang masing-masing menyatakan perpotongan, sedangkan E adalah kemiringan.

Koefisien a_0 dan a_1 didapat dari persamaan(4) dan (5) :

$$a_1 = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \dots\dots\dots(4)$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \dots\dots\dots(5)$$

dimana \bar{y} dan \bar{x} adalah rata-rata y dan x

dengan menggunakan persamaan (4) dan (5), maka didapatkan :

$$a_1 = \frac{20(232735,200) - 6824(668,9)}{20(2377578) - (6824)^2} = 0,09154$$

$$a_0 = 33,4450 - 0,09154(341,20) = 2,2110$$

menghasilkan persamaan :

$$y = 2,2110 + 0,09154x \dots\dots\dots(6)$$

lalu kita periksa taksiran kesalahan untuk persamaan (6) dengan standar total deviasi (s_y) :

$$S_y = \sqrt{\frac{St}{n-1}} \dots\dots\dots(7) \text{ dimana } St = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

Dan kesalahan taksiran standar :

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{Sr}{n-2}} \dots\dots\dots(8) \text{ dimana } Sr = \sum (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2$$

Lalu koefisien determinasi :

$$r^2 = \frac{St - Sr}{St} \dots\dots\dots(9)$$

maka dengan menggunakan persamaan (7), (8), dan (9) didapatkan :

$$S_y = \sqrt{\frac{435,9095}{20-1}} = 4,56020$$

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{23,37542}{20-2}} = 1,139576$$

$$r^2 = \frac{435,9095 - 23,37542}{535,9095} = 0,9463 \approx 94\%$$

$$r = \sqrt{0,9463} = 0,9728$$

Nilai r^2 yang baik dan ideal adalah 1 [16], dengan data $r^2=0,9463$ hanya memiliki *error* sekitar 0,05%, dan mendekati nilai 1, sehingga data yang didapat tidak menunjukkan adanya perbaikan data yang dihasilkan dari RTU.

VI. KESIMPULAN

Remote terminal unit (RTU) yang dibangun dari mikrokontroler *arduino* dan *smartphone android* dapat bekerja dengan baik sesuai persyaratan minimum yang telah ditetapkan, yakni dalam memantau 3 jenis data meliputi, data digital, masukan analog, dan data kontrol. Khusus data analog, dengan analisis *regresi linier* didapat kecocokan data sebesar 94%.

VII. SARAN

- Perlu nya kajian mendalam mengenai fitur – fitur yang mendasari penentuan sebuah RTU seperti *alarm*, *auto dialing*, *battery back up*, *data logging*, *monitoring*, kapasitas memori, *redundant*, dan *real time clock*.
- Pengujian terhadap data yang dikirimkan ke master station perlu dilakukan.
- Pengembangan aplikasi atau *plant* diperbesar kapasitasnya untuk menguji kemampuan RTU itu sendiri.

VIII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Handy Wicaksono, "SCADA Software dengan Wonderware Intouch". Graha Ilmu, Yogyakarta, 2012.
- [2] David Bailey dan Edwin Wright, "Practical SCADA for Industry", Newnes, An imprint of Elsevier, 2003.
- [3] Engin Ozdmir and Mevlut Karacor, "Mobile phone based SCADA for Industrial Automation," ISA Transactions, vol 45, Number 1, Januari 2006.
- [4] W.N.S.E. Wan Jusoh, MA Mat Hanafiah, M.R. Ab.Ghani, and S.H. Raman, "Remote Terminal Unit (RTU) Hardware Design and Implementation Efficient in Different Application," IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference, June 2013
- [5] Mohamed Azman Shah Bin Mohd shahul Hameed, "SCADA System with auto fault detection using microcontroller," Kulliyah of Enginnering International Islamic University Malaysia, May 2006.
- [6] Mr Neeraj Khera and Sumit Balgavhar, "Design of microcontroller based wireless SCADA system for rela time data," UACEE International Journal of Advances in Electronics Engineering Volume 2 : Issue 1 ISSN 2278 – 215X (Online).
- [7] Raul Ionel, Gabriel Vasii, and Septimiu Mischie, "GPRS based data acquisition and analysis system with mobile phone control," Elsevier, 2012.
- [8] Basid Hamed, "Implementation of Fully Automated Electricity for large building using SCADA Tool like Lab VIEW," Current Trend in Technology and Sciences, 2012.
- [9] James M DiNamo dan Dominic de Changy, "Selecting the Right RTU and SCADA System," Whitmor / Technotrade, Sept 2005.
- [10] Mayur Avhad, Vinit Divekar, Harshad Golatkar dan Sanket Joshi, "Microcontroller based Automation system using Industry standard SCADA," Annual IEEE India Conference (INDICON), 2013
- [11] H. J. Zhou and C. X. Guo, J. Qin, "Efficient Application of GPRS and CDMA networks in SCADA System," IEEE, 2010.
- [12] www.guvnl.com
- [13] Situs : www.arduino.or.id
- [14] Arief Hendra Saptadi, Risa Farrid C, dan Jaenal Arifin, "Perbandingan Waktu Konversi antara ADC 8 bit dan 10 bit dalam Mikropengendali ATMEGA8535," Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2013, Yogyakarta, 2013
- [15] Datasheet LM35
- [16] Steven C Chapra dan Raymond P Canale, "Metode Numerik Untuk Teknik," Penerbit Universitas Indonesia, 2007.

Kajian Deteksi Exudates Untuk Diagnosis Diabetic Retinopathy

Widhia Oktoeberza KZ¹, Hanung Adi Nugroho², Teguh Bharata Adji³

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2 Yogyakarta – 55281, Indonesia

widhia.oktoeberzakz.mti13@mail.ugm.ac.id¹, adinugroho@ugm.ac.id², adji.tba@gmail.com³

Abstract— World Health Organization have predicted 300 millions people will suffer diabetes in 2025. Long term diabetes can lead to diabetic retinopathy that can be prime cause of blindness in developed and developing country. One of the abnormalities of diabetic retinopathy is exudates. Exudates are classified into two, namely hard and soft exudates. Several research in exudates detection for retinal fundus images to diagnosis diabetic retinopathy have performed, ranging from enhancement to segmentation. This paper discusses about some exudates detection methods which are useful for early diagnosis of diabetic retinopathy. Retinal fundus images dataset are publicly available in the internet; they are DIARETDB0, DIARETDB1, STARE, DRIVE, DRIONDB, Drishti, REVIEW, ONHSD and HEI-MED.

Keyword-Diabetic retinopathy; exudates; fundus images

Abstrak— Organisasi Kesehatan Dunia memperkirakan bahwa pada tahun 2025 sekitar 300 juta orang akan menderita diabetes. Diabetes yang berkepanjangan akan mengarah pada *diabetic retinopathy* yang menjadi penyebab utama kebutaan di negara maju dan negara berkembang. Salah satu kelainan *diabetic retinopathy* adalah terdapatnya gejala *exudates*. *Exudates* terbagi menjadi dua yaitu *hard* dan *soft exudates*. Beberapa penelitian terkait deteksi *exudates* pada citra retina fundus untuk diagnosis *diabetic retinopathy* telah banyak dilakukan, mulai dari *enhancement* hingga proses segmentasi. Makalah ini mendiskusikan beberapa metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi *exudates* yang dapat membantu diagnosis *diabetic retinopathy* secara dini. *Dataset* citra retina fundus tersedia untuk umum di internet, diantaranya DIARETDB0, DIARETDB1, STARE, DRIVE, DRIONDB, Drishti, REVIEW, ONHSD dan HEI-MED.

Kata Kunci-Diabetic retinopathy; exudates; citra fundus

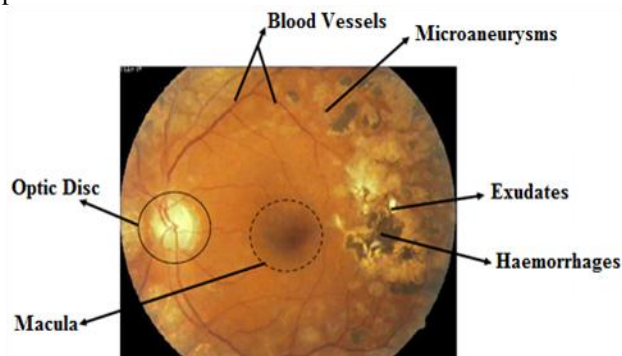
I. PENDAHULUAN

Pada tahun 2025 diperkirakan sekitar 300 juta orang akan menderita diabetes berdasarkan studi yang dilakukan oleh Organisasi Kesehatan Dunia [1]. Diabetes jangka panjang akan menyebabkan perubahan, kebocoran dan kerusakan pada pembuluh darah retina seiring dengan meningkatnya jumlah glukosa dalam darah, ini dikenal dengan *diabetic retinopathy* (DR) [2][3][4]. DR merupakan penyebab utama kebutaan di negara berkembang [5]. Penyakit ini menyebabkan kerusakan permanen pada mata sehingga perlu diagnosis dan deteksi dini untuk mengurangi efeknya terhadap kerusakan mata [1]. Penelitian menunjukkan bahwa 90% kebutaan yang

disebabkan oleh diabetes dapat dicegah dengan melakukan *screening* [6]. Proses *screening* membutuhkan banyak waktu, tidak efisien dan tentunya membutuhkan tenaga profesional dalam pengerjaannya [4]. Para peneliti telah merekomendasikan berbagai teknik untuk membantu para dokter mendeteksi tanda-tanda DR dengan menggunakan pengolahan citra medis [1]. Tanda-tanda DR akan dijelaskan pada Sub Bab 1.1.

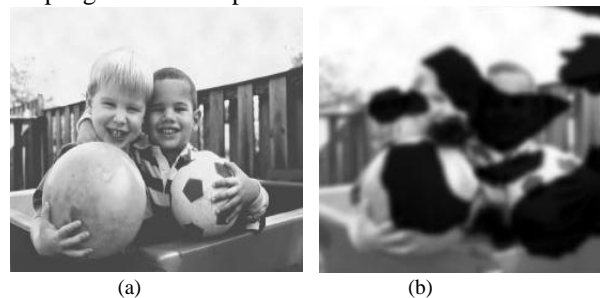
1.1 Tanda- tanda *diabetic retinopathy*

Retina yang sehat diperlukan untuk penglihatan yang baik. Penglihatan akan mengalami perubahan sejak awal terkena DR yang seiring waktu akan semakin memburuk sehingga mengarah pada kebutaan. Beberapa kelainan pada retina penderita DR yaitu *Microaneurysm* (MA), *Hard Exudates*, *Soft Exudates* atau *Cotton Wool spots* (CWS), *Hemorrhages* (HEM), *Neovascularization* (NV) dan *Macular Edema* (ME) [7]. Tanda-tanda DR disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tanda-tanda *diabetic retinopathy* [8]

DR biasanya mempengaruhi kedua belah mata [9]. Gambar 2 menyajikan perbedaan penglihatan mata normal dan penglihatan mata penderita DR.

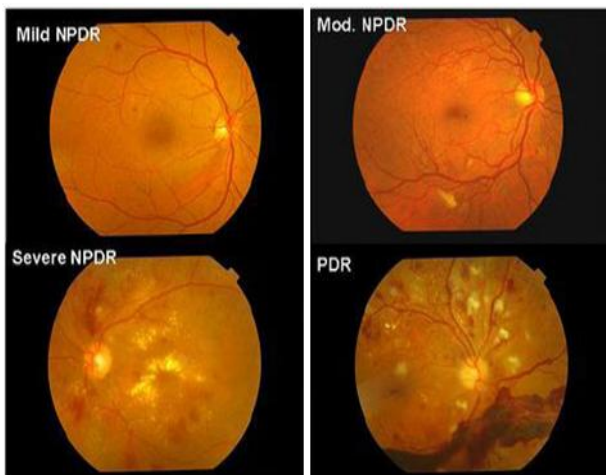


Gambar 2. Penglihatan Normal (a), penglihatan DR (b) [10]

1.2 Klasifikasi *diabetic retinopathy*

DR dapat diklasifikasikan sebagai *Nonproliferative Diabetic Retinopathy* (NPDR) dan *Proliferative Diabetic*

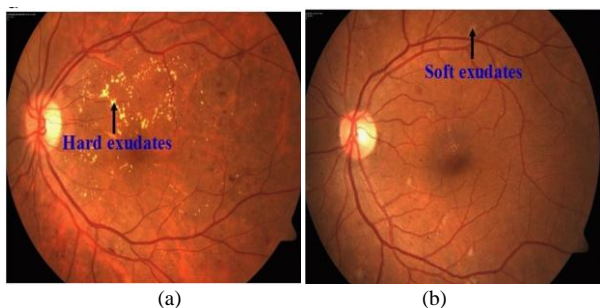
Retinopathy (PDR). NPDR merupakan tahapan awal DR yang akan meningkat menjadi PDR bila tidak ditangani dengan serius [11]. NPDR terdiri dari 3 tingkatan yaitu, *mild*, *moderate* dan *severe*[2]. Klasifikasi DR disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Klasifikasi *diabetic retinopathy* [12]

Tanda utama [2][7] dan yang paling primitif [12] dari DR adalah *exudates*. *Exudates* dalam retina merupakan kekeruhan yang dihasilkan dari keluarnya plasma dan sel-sel darah putih dari pembuluh darah yang rusak. Deteksi *exudates* dalam tahap awal dapat mencegah kebutaan [13]. *Exudates* terbagi menjadi dua yaitu *hard exudates* biasanya disebut *exudates* dan *soft exudates* biasanya disebut *cotton wool spots* (CWS) [2].

Hard exudates berwarna kekuningan dengan batasan tepi yang tajam dan mengkilap, muncul secara individu maupun berkelompok [2][5]. *Soft exudates* berwarna keputihan, bentuknya difusi seperti kapas dengan tepian yang tidak terlalu jelas. *Soft Exudates* terbentuk karena tersumbatnya serabut saraf yang mendapat pasokan darah dari pembuluh darah arteri retina sehingga serabut saraf akson membesar [2]. *Soft exudates* ditemukan pada kasus *retinopathy* hipertensi [12] dan tahap DR yang parah (*severe*) [2]. Gambar 4 menyajikan perbedaan *hard exudates* dan *soft exudates*.



Gambar 4. *Hard Exudates* (a), *Soft Exudates* (b) [7]

II. CITRA FUNDUS

Gejala DR tidak bisa dideteksi langsung secara kasat mata, hanya bisa dilihat menggunakan foto fundus namun memerlukan waktu lama untuk mengetahui hasilnya [12].

Citra fundus memvisualisasikan retina menjadi lebih rinci sehingga mempermudah melakukan diagnosis DR [6].

Citra dengan kualitas dan tingkat ketajaman yang baik sangat bergantung pada tingkat kefokuskan mata terhadap kamera fundus [7]. Citra fundus memproyeksikan struktur retina dari bidang 3D ke bidang 2D. Kamera fundus terdiri dari mikroskop daya rendah dengan kamera yang terpasang di atasnya. Area retina dapat dilihat pada sudut 30° - 50° dengan 2,5 kali pembesaran yang dapat ditingkatkan hingga 5 kali menggunakan lensa tambahan sehingga area retina dapat dilihat dari sudut 15° - 140° .

Teknik yang digunakan dalam pengambilan citra retina fundus, diantaranya :

1. *fundus photography (red-free)* yang melakukan pengambilan citra menggunakan sejumlah cahaya yang dipantulkan pada gelombang tertentu,
2. *color fundus photography* yang melakukan pengambilan citra menggunakan jumlah refleksi spektrum RGB dan sensitivitas cahaya sensor,
3. *fluorescein* dan *indocyanine angiography* yang melakukan pengambilan citra berdasar pada jumlah foton yang dipancarkan *fluorescein* atau *indocyanin dyes* yang disuntikkan ke dalam aliran darah.

III. DATASET CITRA FUNDUS

Dataset DIARETDB0, DIARETDB1, STARE, DRIVE, DRIONDB, Drishti, REVIEW, ONHSD dan HEI-MED merupakan *dataset* citra retina fundus yang dapat diakses secara umum pada internet.

Dataset DIARETDB0 terdiri dari 130 citra dengan 20 citra normal dan 110 citra yang mengandung gejala DR [14]. *Dataset* DIARETDB1 terdiri dari 89 citra dengan 5 citra normal dan 84 citra yang mengandung gejala DR [15]. *Dataset* STARE terdiri dari 397 citra [16]. *Dataset* DRIVE terdiri dari 40 citra dengan 20 citra data latih dan 20 citra data uji [17]. *Dataset* DRIONDB terdiri dari 110 citra [18]. *Dataset* Drishti terdiri dari 101 citra dengan 50 citra untuk data latih dan 51 citra untuk data uji [19]. *Dataset* REVIEW terdiri dari 16 citra [20]. *Dataset* ONHSD terdiri dari 99 citra [21]. *Dataset* HEI-MED terdiri dari 169 citra [22].

IV. ENHANCEMENT/PENINGKATAN CITRA

Penelitian terkait deteksi *exudates* pada citra retina fundus untuk diagnosis DR telah banyak dilakukan, mulai dari proses *enhancement* hingga proses segmentasi.

Sebelum masuk ketahap *enhancement*, beberapa peneliti melakukan konversi terhadap citra warna retina fundus yang akan diolah. Konversi citra *Red Green Blue* (RGB) ke *grayscale* oleh [10], [23], [24], [25], [26] dan [27]. Konversi citra RGB ke HSI (*Hue, Saturation, Intensity*) oleh [2] dan [12]. Konversi citra RGB ke HIS oleh [28]. Konversi RGB ke CIELab oleh [29]. Konversi citra tidak hanya dapat dilakukan satu kali. Selain mengkonversi RGB ke *grayscale*, Susmitha dkk. [24] juga melakukan konversi citra RGB ke HSL dan RGB ke CIELab.

Beberapa peneliti menggunakan *channel* tertentu untuk pengolahan lebih lanjut. *Channel* hijau digunakan

oleh [30], *channel* hijau dan biru oleh [6], *channel* hijau dan merah oleh [31].

Enhancement bertujuan memperbaiki kualitas citra retina fundus agar *exudates* dapat terdeteksi dengan baik. Metode *enhancement* terbagi menjadi tiga kelompok yaitu perbaikan kontras, penghilangan *noise* dan normalisasi citra.

Metode *enhancement* berdasarkan perbaikan kontras dilakukan oleh [10] dengan memperlebar tingkat intensitas citra menggunakan pendekatan morfologi fuzzy dilasi dan fuzzy erosi. Operasi dilasi untuk mendapatkan efek pelebaran terhadap piksel bernilai 1 sedangkan operasi erosi mempunyai efek memperkecil struktur citra [32]. Namun penelitian ini belum dapat membedakan *hard* dan *soft exudates*. Metode *adaptive thresholding* digunakan oleh [26] dan [33]. Beberapa peneliti lain yaitu [23], [34], [2] dan [12] menggunakan CLAHE untuk memperbaiki kontras citra dan menyeragamkan tingkat keterangan citra.

Metode *enhancement* berdasarkan penghilangan *noise* telah dilakukan oleh [2], [12] dan [35] dengan menggunakan metode *median filter*. *Median filter* berfungsi untuk mengatasi *noise* tanpa mengaburkan ketajaman tepi.

Metode *enhancement* berdasarkan normalisasi citra dilakukan oleh [24] dengan mengubah nilai intensitas piksel berada dalam rentang 0 dan 1 menggunakan *Soft max*. Rangkuman metode *enhancement* tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

TABEL I. METODE ENHANCEMENT

Author	Metode
Perbaikan Kontras A. Bin Mansoor dkk [10]	Morfologi <i>fuzzy dilation</i> dan <i>fuzzy erosion</i>
U. R. Acharya dkk [26]	<i>Adaptive thresholding</i>
M. Garcia dkk [33]	<i>Adaptive thresholding</i>
Sidra Rashid dkk [23]	CLAHE
Feroui Amel dkk [34]	CLAHE
K. S. S.karthick dkk [2]	CLAHE
P. Kumar dkk [12]	CLAHE
Penghilangan noise K. S. S.karthick dkk [2]	<i>Median filter</i>
P. Kumar dkk [12]	<i>Median filter</i>
Hussain F. Jaafar dkk [35]	<i>Median filter</i>
Normalisasi citra Susmitha valli Gogula dkk [24]	<i>Soft max</i>

Dalam beberapa penelitian, citra dengan kontras rendah menjadi kendala selama proses pengolahan. Berdasarkan rangkuman di atas, terlihat bahwa CLAHE sebagai metode yang mendominasi dalam proses *enhancement* citra retina fundus untuk memperbaiki kontras citra sehingga mempermudah dalam pendeteksian suatu objek.

V. SEGMENTASI

Segmentasi dibagi menjadi enam kelompok metode berdasarkan *thresholding*, *region growing*, *clustering*, *morfologi*, *match filtering* dan *hybrid*.

Segmentasi berdasarkan *thresholding* dilakukan oleh [11] dan [29]. Yazid dkk. [11] memisahkan area *exudates* terhadap objek lainnya. Penelitian ini mendeteksi *Optic Disk* (OD) terlebih dahulu menggunakan metode FCM, *edge detection* dan *otsu thresholding*. Area *exudates* dan OD disegmentasi menggunakan *inverse surface thresholding*. OD akan dieliminasi, yang tersisa hanyalah area *exudates*. Metode dalam penelitian tersebut sederhana namun kuat. Akan tetapi area *exudates* yang terdeteksi belum memisahkan antara *soft* dan *hard exudates*.

Kavitha dan Duraiswamy [29] mengklasifikasikan area *hard* dan *soft exudates*. Agar OD tidak mengganggu dalam proses pendeteksian *exudates*, maka OD dideteksi dan dilokalisasi terlebih dahulu menggunakan *color histogram*. Area *exudates* dideteksi menggunakan *thresholding color histogram*. Penelitian ini berhasil memisahkan area *exudates* (*hard* dan *soft*) dan OD.

Segmentasi berdasarkan *region growing* dilakukan oleh [36] yang mensegmentasi *hemorrhages* menggunakan dua metode, yaitu *adaptive seed region growing segmentation* (ASRGS) dan *region growing segmentation using the local threshold* (RGSALT). Adapun kendala pada penelitian ini adalah :

1. intensitas *background* tidak seragam,
2. perbedaan kontras yang kecil antara *background* dan *hemorrhages*,
3. bentuk *hemorrhage* yang tidak sama.

Segmentasi berdasarkan *clustering* dilakukan oleh [24], [26], [28], [30], [31], [23], [37], [38] dan [39]. Susmitha dkk. [24] melakukan segmentasi menggunakan *improved pillar K-means*. Performa metode yang diusulkan membutuhkan waktu komputasi yang sedikit, lebih efisien dan lebih baik dibandingkan metode K-means dan FCM.

Acharya dkk. [26] melakukan ekstraksi ciri statistik pada orde kedua menggunakan metode *gray level co-occurrence* (GLCM) sebagai masukan pada proses klasifikasi dengan SVM. Metode GLCM juga diterapkan oleh [40] dalam ekstraksi ciri iris mata.

Udayakumar dkk. [28] mendeteksi OD dengan mengekstraksi area kandidat, hasilnya akan diidentifikasi dengan *principle component analysis* (PCA). Area *exudates* dideteksi menggunakan *channel* hijau melalui tiga tahap, yaitu :

1. integrasi pendekatan *thresholding* dengan cara mensegmentasi citra menjadi beberapa kuadran,
2. *rough segmentation* akan mengklasifikasi dan membuang area *non exudates*,
3. *final integration* yang menggabungkan *adaptive thresholding* dan *rough segmentation* untuk memperbaiki citra yang dihasilkan (menemukan titik pertemuan antara keduanya/*intersection*).

Maria Garcia dkk. [30] juga menggunakan *channel* hijau dalam penelitiannya. Proses segmentasi dilakukan dengan metode MLP, RBF dan SVM. Namun dalam penelitian ini belum dapat mendeteksi tanda DR lainnya seperti CWS, *hemorrhages* dan *microaneurysm*. SVM merupakan metode pembelajaran terarah (*supervised*

learning) yang dapat melakukan analitis dan mempunyai kemampuan generalisasi yang baik [41].

Nidhal dan Enas [31] melakukan *preprocessing* dengan menghitung rasio *channel* merah dan hijau (R/G) untuk mendapatkan area terang pada citra, kemudian area tersebut ditandai. Masing-masing tekstur area dihitung lalu *exudates* dan *false exudates* dapat terdeteksi. Area *exudates* akan disegmentasi dan area *false exudates* akan dibuang.

Sidra dan Shagufta [23] melakukan dua tahapan segmentasi, yaitu segmentasi kasar dan halus. Segmentasi halus dilakukan menggunakan metode FCM. Area OD dan pembuluh darah dieliminasi menggunakan morfologi dan *Kirsch's template*. Kelemahan dari penelitian ini ialah beberapa *exudates* tidak tepat terdeteksi dengan baik. Penyebabnya karena terdapat objek lain yang menyerupai *exudates*, adanya *noise* yang diperoleh saat akuisisi citra, *exudates* berdekatan dengan pembuluh darah atau *exudates* yang muncul sangat redup. Performa algoritme bisa meningkat jika dapat mendeteksi *exudates* dengan kontras rendah.

Guoliang Fang dkk. [37] melakukan segmentasi kasar untuk membuang *sample negative* atau objek yang bukan merupakan *hard exudates* (contohnya OD). Segmentasi halus dilakukan menggunakan algoritme *boosted soft segmentation* (BSS). *Dataset* yang digunakan adalah DIARETDB1. Beberapa kendala yang ditemui diantaranya *luminance* citra tidak rata, kontras rendah, terdapat variasi warna dan perbedaan ukuran citra. Peneliti selanjutnya akan menerapkan BSS untuk mensegmentasi *hemorrhages* dan mengidentifikasi tingkatan DR berdasarkan pada segmentasi area tanda-tanda DR lainnya. Kekurangan dalam penelitian ini ialah belum mensegmentasi area *soft exudates*.

M. Garcia dkk. [38] menunjukkan hasil segmentasi menggunakan MLP dan RBF lebih baik dibanding *logistic regression* (LR), tetapi MLP dan RBF membutuhkan waktu pelatihan lebih lama daripada LR. Proses diawali dengan mengekstraksi fitur yang paling membedakan antara *hard exudates* dan *background* menggunakan LR. Hasil ekstraksi tersebut digunakan pada tahap segmentasi dengan MLP dan RBF. Walaupun citra sudah dinormalisasi, perbedaan warna dan ukuran *hard exudates* tetap menjadi kendala sehingga tidak semua area *hard exudates* dapat terdeteksi, terutama jika *hard exudates* yang muncul sangat halus.

Nayak dkk. [39] bertujuan mendeteksi tahapan DR dengan mengekstraksi area pembuluh darah, *exudates*, dan tekstur. Klasifikasi dengan ANN bertujuan membagi tahapan DR menjadi normal, NPDR, dan PDR.

Segmentasi berdasarkan *match filtering* dilakukan oleh [6], [42] dan [43]. Ferdic dan S.Santhosh [6] melakukan klasifikasi menggunakan metode *baseline* kemudian diproses untuk mendeteksi OD menggunakan *Genetics Algorithm* (GA). Proses dilanjutkan dengan mensegmentasi *hard exudates* dan mengeliminasi *false positif* dari area OD. Akurasi diukur dengan mencocokkan hasil segmentasi terhadap citra *groundtruth*. Metode yang diusulkan menghasilkan performa dengan tingkat akurasi dan kecepatan komputasi yang baik karena tidak ada

operasi yang kompleks seperti *fast fourier transform* (FFT) dan PCA serta perhitungan *eigen vector*.

Usman Akram dkk. [42] mendeteksi semua tanda DR pada area gelap dan terang. Tingkat keparahan DR ditentukan melalui proses klasifikasi *Gaussian Mixture Model* (GMM) dan *m-mediods*. Performa sistem yang diajukan dapat mendeteksi semua jenis tanda NPDR dengan tingkat akurasi yang baik.

Usman Akram dkk. [43] melakukan klasifikasi terhadap seperangkat ciri berbasis GMM. Metode yang diajukan mampu meningkatkan performa sistem menjadi lebih baik. Penelitian dilakukan menggunakan dua *dataset* yaitu MESSIDOR dan HEIMED.

Segmentasi berdasarkan *hybrid* dilakukan oleh [44], [33], [27] dan [35]. Luca Giancardo dkk. [44] mendeteksi *exudates* serta tanda DR lainnya yang sejenis. Penelitian ini menggunakan seperangkat ciri berdasarkan warna, dekomposisi *wavelet* dan segmentasi area tanda DR secara otomatis. Metode ini cukup berhasil dalam mendeteksi *exudates* untuk mendiagnosis *diabetic macular edema* (DME).

M. Garcia dkk. [33] mensegmentasi area kandidat *exudates* menggunakan kombinasi global dan *thresholding adaptive*. Hasil terbaik dari ekstraksi ciri akan digunakan sebagai data input pada RBF *neural network*. Penelitian serupa juga dilakukan oleh [27] dengan menggunakan logika *fuzzy*. *Exudates* diidentifikasi menggunakan morfologi matematika termasuk mengeliminasi OD. *Hard exudates* diekstraksi dengan logika *fuzzy*, kemudian diubah dalam bentuk himpunan dan fungsi keanggotaan *fuzzy*.

Hussain F. Jaafar dkk. [35] mendeteksi *exudates* kasar dengan operator morfologi, dilanjutkan mendeteksi *exudates* halus menggunakan algoritme *split and merge* dan *histogram based thresholding*. Namun dalam penelitian ini gagal mengecualikan objek yang bukan *exudates* karena memiliki ciri yang mirip dengan *exudates*.

Setiap peneliti menggunakan metode segmentasi dan *dataset* yang berbeda-beda. Metode yang dilakukan oleh [27] memiliki spesifisitas (kemampuan mengenali objek yang benar) dengan persentase yang lebih baik dibanding metode lainnya. Persentase sensitivitas (kemampuan mengenali objek yang salah) terbaik dicapai oleh [11], sedangkan akurasi tertinggi dicapai oleh [35]. Rangkuman metode segmentasi *exudates* tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

TABEL II. METODE SEGMENTASI

Author	Metode	Hasil
Thresholding H. Yazid dkk [11]	<i>Inverse surface thresholding</i>	Objek : <i>hard exudates</i> DIARETDB1 : Sensitivitas 98,2% spesifisitas 97,4% NUHM : Sensitivitas 99,2% dan spesifisitas 90,4%.
Kavitha dan Duraiswamy [29]	<i>Thresholding color histogram</i>	Objek : <i>hard</i> dan <i>soft exudates</i> DIARETDB1 :

		sensitivitas 89,78%, spesifisitas 99,12% dan akurasi 99,07%.
Region growing Jang Pyo Bae dkk [36]	ASRGs dan RGSLT	Objek : <i>hemorrhage</i> Sensitivitas 70%
Clustering Susmitha valli Gogula dkk [24]	<i>Improved pillar K-means</i>	Objek : <i>hard exudates</i> Waktu komputasi sedikit, lebih efisien.
U. R. Acharya dkk [26]	GLCM dan SVM	Objek : retina normal, NPDR, PDR, ME. Akurasi 85,2%, Sensitivitas 98,9%, spesifisitas 89,5% dan Area Under Curve (AUC) 0,972%
R. Udayakumar dkk [28]	<i>An integrated threshoding approach, Rough segmentation, dan Final integration phase</i>	Objek : <i>hard exudates</i> Tidak ada hasil pengukuran.
María García dkk [30]	MLP, RBF dan SVM	Objek : <i>hard exudates</i> Persentase keberhasilan tidak dijelaskan
Nidhal K. El Abbadi dan Enas Hamood Al- Saadi [31]	Eliminasi <i>false exudates</i>	Objek : <i>hard exudates</i> Tidak ada hasil pengukuran.
Sidra Rashid dan Shagufta [23]	FCM	Objek : <i>hard exudates</i> Tidak ada hasil pengukuran.
Guoliang Fang dkk [37]	BSS	Objek : <i>hard exudates</i> Tidak ada hasil pengukuran.
M. Garcia dkk [38]	LR, MLP dan RBF	Objek : <i>hard exudates</i> Sensitivitas berdasarkan kriteria area tanda DR untuk LR, MLP dan RBF masing-masing 95,1%, 95,9% dan 86,9%.
Nayak dkk [39]	ANN	Objek : pembuluh darah, <i>exudates</i> , tekstur. Akurasi 93%, sensitivitas 90% dan spesifisitas 100%.
Match Filtering G.Ferdic Mashak Ponnaiah dan Capt.Dr.S.Santhosh Baboo [6]	Membuang <i>false positif</i> pada area OD	Objek : OD. Sensitivitas 90% dan spesifisitas 78%.
M. UsmanAkram dkk [42]	GMM dan <i>m-mediods</i>	Objek : <i>microaneurysms, haemorrhages, and exudates</i> . Akurasi 98,52%.
M. Usman Akram dkk [43]	GMM	Spesifisitas, Sensitivitas dan akurasi masing-masing sebesar 97,3%, 95,9% dan

		96,8%.
Hybrid Luca Giancardo dkk [44]	Dekomposisi wavelet	Objek : <i>hard exudates</i> . AUC yang dihasilkan antara 0,88 dan 0,94.
M. García dkk [33]	RBF	Objek : <i>hard exudates</i> . Sensitivitas 100%, spesifisitas 70,4% dan akurasi 88,1%
N. G. Ranamuka dan R. G. N. Meegama [27]	Logika <i>fuzzy</i> dan morfologi matematika	Objek : <i>hard exudates</i> . Sensitivitas 75,43% dan spesifisitas 99,99%.
Hussain F. Jaafar dkk [35]	Operator morfologi, algoritme <i>split and merge dan histogram based thresholding</i> .	Objek : <i>hard exudates</i> . DIARETDB1 : sensitivitas 89,3% spesifisitas 99,3% dan akurasi 99,4%. Dataset lain : sensitivitas 89,7% spesifisitas 99,3% dan akurasi 99,4%.

VI. KESIMPULAN

Kajian ini memberikan gambaran mengenai beberapa metode yang digunakan untuk mendeteksi DR pada citra fundus. Masing-masing metode memiliki kekuatan dan kelemahan sehingga tingkat akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang dihasilkan dari setiap penelitian berbeda-beda. Hal ini juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya perbedaan tujuan dan pendekatan dalam penelitian, perbedaan *dataset* yang digunakan serta kendala yang ditemui selama penelitian berlangsung.

Pengembangan metode lebih lanjut dapat dilakukan untuk mendeteksi DR dengan cepat dan akurat, agar dapat mengenali semua jenis *exudates* (*hard* dan *soft exudates*) pada semua kondisi citra.

Berdasarkan Tabel 2 kombinasi metode *inverse surface thresholding* dan morfologi matematika diharapkan dapat meningkatkan persentase akurasi, spesifisitas dan sensitivitas dalam mendeteksi gejala *exudates* untuk diagnosis DR.

REFERENSI

- [1] S. Kanth, A. Jaiswal, and M. Kakkar, "Identification of different stages of Diabetic Retinopathy using artificial neural network," 2013, pp. 479–484.
- [2] K. S. S.karthick and A. Priyadharsini, "A Survey on Hard Exudates Detection and Segmentation," *Int. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 154–158, Feb. 2014.
- [3] Parthasarathi Das, Srikant Kumar Beura, and Rajiv Kumar Dash, "A Review on Retinal Image Analysis for the Detection of Diabetic Retinopathy," presented at the International Conference on Recent Innovations in Engineering & Technology, 2014.
- [4] Madhura Jagannath Paranjpe and M N Kakatkar, "REVIEW OF METHODS FOR DIABETIC RETINOPATHY DETECTION AND SEVERITY CLASSIFICATION," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 03, no. 03, pp. 619–624, Mar. 2014.
- [5] Clara I. S'anchez, Roberto Hornero, María I. L'opez, Mateo Aboy, Jesús Poza, and Daniel Ab'asolo, "A novel automatic image processing algorithm for detection of hard exudates based on retinal image analysis," *Med. Eng. Phys.*, vol. 30, pp. 350–357, 2008.
- [6] G.Ferdic Mashak Ponnaiah and Capt.Dr.S.Santhosh Baboo, "Automatic optic disc detection and removal of false exudates for

- improving retinopathy classification accuracy," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–7, Mar. 2013.
- [7] M. R. K. Mookiah, U. R. Acharya, C. K. Chua, C. M. Lim, E. Y. K. Ng, and A. Laude, "Computer-aided diagnosis of diabetic retinopathy: A review," *Comput. Biol. Med.*, vol. 43, no. 12, pp. 2136–2155, 2013.
- [8] Oliver Faust, Rajendra Acharya U, E. Y. K. Ng, Kwan-Hoong Ng, and Jasjit S. Suri, "Algorithms for the Automated Detection of Diabetic Retinopathy Using Digital Fundus Images: A Review," *J Med Syst.*, vol. 36, pp. 145–157, 2012.
- [9] U.S. Departemen Of Health And Human Services, "Diabetic Retinopathy," .
- [10] A. Bin Mansoor, Z. Khan, A. Khan, and S. A. Khan, "Enhancement of exudates for the diagnosis of diabetic retinopathy using Fuzzy Morphology," presented at the Multitopic Conference, 2008. INMIC 2008. IEEE International, 2008, pp. 128–131.
- [11] H. Yazid, H. Arof, and H. Mohd Isa, "Exudates segmentation using inverse surface adaptive thresholding," *Measurement*, vol. 45, no. 6, pp. 1599–1608, Jul. 2012.
- [12] P. Kumar, D. Deveraj, and Manisha, "Automatic Exudates Detection For The Diagnosis Of Diabetic Retinopathy," *IJIRS*, vol. 2, no. 5, pp. 657–669, May 2013.
- [13] "Detection of Exudates for the diagnosis of Diabetic Retinopathy," 2013. [Online]. Available: <http://www.issr-journals.org/xplore/ijias/IJIAS-13-069-04.pdf>.
- [14] "Download Citra, DIARETDB0 (Diabetic Retinopathy Calibration Level 0)." [Online]. Available: http://www.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb0/diaretdb0_v_1_1.zip. [Accessed: 12-Mar-2014].
- [15] "Download Citra, DIARETDB1 (Diabetic Retinopathy Calibration Level 1)." [Online]. Available: http://www.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb1/diaretdb1_v_1_1.zip. [Accessed: 12-Mar-2014].
- [16] "Download Citra, STARE (Structured Analysis Of The Retina)." [Online]. Available: www.ces.clemson.edu/~ahoover/stare/images/all-images.zip. [Accessed: 12-Mar-2014].
- [17] "Download Citra, DRIVE (Digital Retinal Images For Vessel Extraction)." [Online]. Available: <http://www.isi.uu.nl/Research/Databases/DRIVE/download.php>. [Accessed: 12-Mar-2014].
- [18] "Download Citra, DRIONDB (Digital Retinal Images For Optic Nerve Head Segmentation Database)." [Online]. Available: <http://www.ia.uned.es/~ejcarmona/DRIONS-DB/BD/DRIONS-DB.rar>. [Accessed: 12-Mar-2014].
- [19] "Download Citra, Drishti." [Online]. Available: <http://cvit.iit.ac.in/projects/mip/drishti-gs/mip-dataset2/Submit-results.php>. [Accessed: 12-Mar-2014].
- [20] "Download Citra, REVIEW (Retinal Vessel Image set for Estimation of Widths)." [Online]. Available: <http://reviewdb.lincoln.ac.uk/Download/DownloadSet.rar>. [Accessed: 12-Mar-2014].
- [21] "Download Citra, ONHSD (Optic Nerve Head Segmentation Dataset)." [Online]. Available: <http://reviewdb.lincoln.ac.uk/Download/ONH%20Hunter.rar>. [Accessed: 12-Mar-2014].
- [22] "Download Citra, HEI-MED (The Hamilton Eye Institute Macular Edema Dataset)." [Online]. Available: <http://vibot.u-bourgogne.fr/luca/heimed.php>. [Accessed: 24-May-2014].
- [23] Sidra Rashid and Shagufta, "Computerized Exudate Detection in Fundus Images Using Statistical Feature based Fuzzy C-mean Clustering," *Int. J. Comput. Digit. Syst.*, vol. 2, no. 3, pp. 135–145, 2013.
- [24] Susmitha valli Gogula, CH Divakar, CH Satyanarayana, and Allam Appa Rao, "A diabetic retinopathy detection method using an improved pillar K-means algorithm," *Biomed. Informatics*, vol. 10, pp. 28–32, Jan. 2014.
- [25] Marco Benalcázar, Marcel Brun, and Virginia Ballarin, "Automatic Segmentation of Exudates in Ocular Images using Ensembles of Aperture Filters and Logistic Regression," *ArgentineanBioengineeringSocietyCongress*, 2013.
- [26] U. R. Acharya, E. Y. K. Ng, J.-H. Tan, S. V. Sree, and K.-H. Ng, "An integrated index for the identification of diabetic retinopathy stages using texture parameters," *J. Med. Syst.*, vol. 36, no. 3, pp. 2011–2020, 2012.
- [27] N. G. Ranamuka and R. G. N. Meegama, "Detection of hard exudates from diabetic retinopathy images using fuzzy logic," *Image Process. IET*, vol. 7, no. 2, pp. 121–130, Mar. 2013.
- [28] R. Udayakumar, V. Khanaa, and K.P. Thooyamani, "An Enhanced Detection of Exudates in Color Fundus Images of the Human Retina a Contribution for the Mass Screening of Diabetic Retinopathy," *World Appl. Sci. J.*, vol. 29, pp. 309–314, 2014.
- [29] S. Kavitha and K. Duraiswamy, "Automatic detection of hard and soft exudates in fundus images using color histogram thresholding," *Eur. J. Sci. Res.*, vol. 48, no. 3, pp. 493–504, 2011.
- [30] María García, Clara I. Sánchez, María I. López, Daniel Abásolo, and Roberto Hornero, "Neural network based detection of hard exudates in retinal images," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 93, pp. 9–19, 2009.
- [31] Nidhal K. El Abbadi and Enas Hamood Al- Saadi, "Automatic Detection of Exudates in Retinal Images," *Int. J. Comput. Sci. Issues*, vol. 10, no. 2, pp. 237–242, Mar. 2013.
- [32] Abdul Khadir and Adhi Susanto, *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*, 1st ed. Yogyakarta: ANDI, 2013.
- [33] M. García, C. I. Sánchez, J. Poza, M. I. López, and R. Hornero, "Detection of hard exudates in retinal images using a radial basis function classifier," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 37, no. 7, pp. 1448–1463, 2009.
- [34] Feroui Amel and Messadi Mohammed and Bessaid Abdelhafid, "Improvement of the Hard Exudates Detection Method Used For Computer- Aided Diagnosis of Diabetic Retinopathy," *IJ Image Graph. Signal Process.*, pp. 19–27, May 2012.
- [35] Hussain F. Jaafar, Asoke K. Nandi, and Waleed Al-Nuaimy, "AUTOMATED DETECTION OF EXUDATES IN RETINAL IMAGES USING A SPLIT AND- MERGE ALGORITHM," presented at the European Signal Processing Conference, Aalborg, Denmark, 2010.
- [36] Jang Pyo Bae, Kwang Gi Kim, Ho Chul Kang, Chang Bu Jeong, Kyu Hyung Park, and Jeong-Min Hwang, "A Study on Hemorrhage Detection Using Hybrid Method in Fundus Images," *J. Digit. Imaging*, vol. 24, no. 3, pp. 394–404, Jun. 2011.
- [37] Guoliang Fang, Nan Yang, Huchuan Lu, and Kaisong Li, "Automatic Segmentation of Hard Exudates in Fundus Images Based on Boosted Soft Segmentation," presented at the International Conference on Intelligent Control and Information Processing, Dalian, China, 2010.
- [38] M. Garcia, C. Valverde, M. I. Lopez, J. Poza, and R. Hornero, "Comparison of logistic regression and neural network classifiers in the detection of hard exudates in retinal images," presented at the Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE, 2013, pp. 5891–5894.
- [39] J. Nayak, P. S. Bhat, R. Acharya U, C. M. Lim, and M. Kagathi, "Automated identification of diabetic retinopathy stages using digital fundus images," *J. Med. Syst.*, vol. 32, no. 2, pp. 107–115, 2008.
- [40] W.-S. Chen, R.-H. Huang, and L. Hsieh, "Iris Recognition Using 3D Co-occurrence Matrix," in *Advances in Biometrics*, vol. 5558, M. Tistarelli and M. Nixon, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 1122–1131.
- [41] Djati Kerami dan Hendri Murfi, "KAJIAN KEMAMPUAN GENERALISASI SUPPORT VECTOR MACHINE DALAM PENGENALAN JENIS SPLICE SITES PADA BARISAN DNA," in *MAKARA, SAINS*, 2014, vol. 8, pp. 89–95.
- [42] M. UsmanAkram, ShehzadKhalid, ShoabA.Khan, and FarooqueAzam, "Detection and classification of retinal lesions for grading of diabetic retinopathy," *Comput. InBiologyandMedicine*, vol. 45, pp. 161–171, 2014.
- [43] M. Usman Akram, Anam Tariq, Shoab A. Khan, and M. Younus Javed, "Automated detection of exudates and macula for grading of diabetic macular edema," *COMPUTER METHOS NP ROGRMSNBOMECE*, 2014.
- [44] Luca Giancardo, Fabrice Meriaudeau, Thomas P. Karnowski, Yaqin Li, Seema Garg, Kenneth W. Tobin Jr., and Edward Chaum, "Exudate-based diabetic macular edema detection in fundus images using publicly available datasets," *Med. Image Anal.*, vol. 16, pp. 216–226, 2012.

Unjuk Kerja Biometrika Iris Mata Menggunakan Metode Edge Histogram Descriptor Untuk Aplikasi Keamanan

Danny Kurnianto^{1,2}, Indah Soesanti¹, Hanung Adi Nugroho¹

¹Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

²Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom Purwokerto

¹Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

²Jl. D.I. Panjaitan No. 128 Purwokerto 53147 INDONESIA

email korespondensi : danny_kurnianto@yahoo.com

Abstrak – Pengenalan identitas berbasis biometrika iris mata merupakan salah satu sistem keamanan yang banyak diterapkan pada tempat-tempat yang membutuhkan keamanan tingkat tinggi. Adanya *noise* pada citra iris mata mempengaruhi unjuk kerja pengenalan identitas seseorang. Pada makalah ini, dianalisis pengaruh minimalisir *noise* pada citra iris mata terhadap unjuk kerja pengenalan identitas seseorang untuk aplikasi keamanan. Untuk meminimalisir *noise*, ekstraksi ciri berdasarkan distribusi tepi spasial (EHD) diterapkan hanya pada sisi sebelah kiri dan kanan lokasi iris sepanjang sudut 64° . Ciri iris yang dihasilkan pada tahap ekstraksi ciri direpresentasikan dalam bentuk histogram distribusi tepi spasial dengan jumlah bin sebanyak 300. Pengenalan pola ciri iris dilakukan berdasarkan skor kemiripan yang diperoleh dengan mengukur jarak euclidean antara 2 ciri iris. Unjuk kerja terbaik yang diperoleh dari pengujian pengenalan pola ciri iris terhadap pengguna sah dan pengguna palsu dengan nilai sebesar 79,6 % untuk nilai *sensitivity* dan 95,6 % untuk nilai *specificity*.

Kata kunci – pengenalan identitas; sistem biometrika iris mata; edge histogram descriptor; sensitivity; specificity.

Abstract – Identity recognition based on the iris biometric is one of the security system which is widely used in places that require high level of security. The presence of noise in the iris image affect the performance of a person identity recognition. In this paper, analyzed minimize the effect of noise on the image of the iris for the performance of identity recognition for security applications. To minimize noise, feature extraction based on the spatial distribution of edges (EHD) is applied only on the left and the right side iris location along the angle of 64° . Iris features produced in the extraction of features represented in the form of spatial edge distribution histogram with bin number as many as 300. Iris pattern recognition is done based on its similarity score is obtained by measuring the Euclidean distance between two features of the iris. The best performance obtained from testing iris pattern recognition of its genuine users and imposter users with value of 79.6% for sensitivity and 95.6% for specificity.

Keyword – identity recognition; iris biometric; edge histogram descriptor, sensitivity, specificity.

I. PENDAHULUAN

Membangun suatu sistem keamanan yang handal sangat diperlukan pada masa sekarang ini. Meningkatnya ancaman keamanan berupa penyamaran identitas menjadi ancaman yang sangat serius. Seseorang dapat mengklaim

dengan identitas orang lain dan mendapatkan otoritas untuk mengakses suatu data penting. Ancaman keamanan berupa penyamaran identitas telah banyak diatasi dengan menggunakan suatu pengenalan identitas dengan metode tradisional seperti penggunaan password, kartu identitas, atau PIN. Terdapat beberapa kelemahan dari pengenalan identitas dengan metode tradisional, diantaranya adalah dapat hilang atau dicuri, dapat digunakan bersama-sama, mudah diduplikasi, dan dapat terlupakan. Oleh karena itu, perlu dibangun suatu sistem keamanan yang baru dengan menggunakan biometrika. Pengertian biometrika itu sendiri adalah mengukur karakteristik pembeda pada fisik atau perilaku seseorang yang dilakukan untuk pengenalan secara otomatis terhadap identitas orang tersebut [1].

Di antara ciri biometrika yang telah banyak dikembangkan, ciri biometrika iris mata termasuk ciri yang paling handal dilihat dari beberapa sisi, diantaranya iris mata terlindungi dari area luar dan untuk mengambil citra iris tidak membutuhkan sentuhan fisik sehingga sulit dipalsukan dan tidak dapat dicuri, iris terbentuk sejak awal kehidupan dan teksturnya tidak berubah seumur hidup serta memiliki struktur fisik yang sangat kaya akan informasi [2]. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengembangkan teknologi pengenalan identitas berbasis biometrika iris mata. Penelitian-penelitian yang telah ada dapat dikelompokkan menjadi beberapa bidang penelitian, yaitu penelitian untuk mengembangkan metode segmentasi lokasi iris [3-12], dan penelitian untuk mengembangkan metode ekstraksi ciri dan pengenalan pola ciri [2], [13-19].

Metode pengenalan identitas berbasis biometrika iris mata yang paling banyak dikenal adalah metode yang diusulkan oleh Daugman [20] dan Wildes [21]. Daugman mengusulkan metode filter Gabor 2D untuk mengekstraksi pola ciri iris dalam bentuk informasi sudut fasa dan dikuantisasi ke dalam kode biner. Pengenalan pola ciri iris dilakukan dengan menggunakan jarak *Hamming*. *Noise* kelopak mata dideteksi dengan menggunakan operator integral diferensial dengan integrasi kontur berbentuk elip. Wildes mengusulkan metode filter *Laplacian of Gaussian* untuk mengekstraksi pola ciri iris. Pengenalan pola ciri iris dilakukan dengan menggunakan metode korelasi ternormalisasi. *Noise* kelopak mata dideteksi menggunakan transformasi *Hough* dengan kontur berupa parameter *parabolic*.

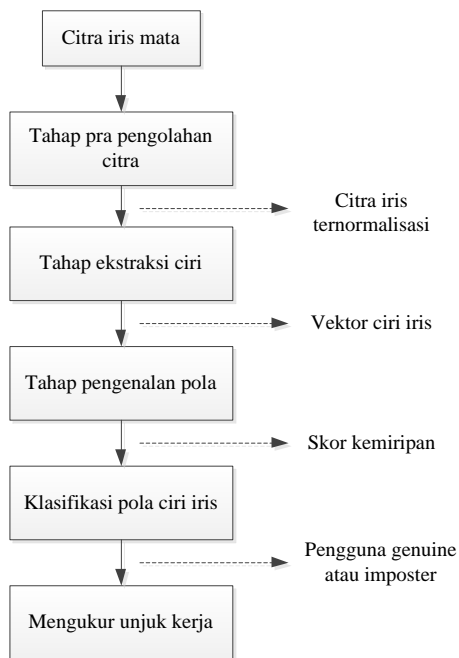
Pada penelitian ini, masalah yang diteliti adalah pengaruh *noise* kelopak mata pada citra iris terhadap unjuk kerja pengenalan identitas seseorang untuk aplikasi

keamanan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh minimalisir *noise* kelopak mata pada unjuk kerja pengenalan identitas seseorang untuk aplikasi keamanan. Unjuk kerja pengenalan identitas seseorang yang sesuai untuk diterapkan pada aplikasi keamanan, membutuhkan nilai *specificity* yang lebih tinggi daripada nilai *sensitivity*.

Makalah ini disusun sebagai berikut : BAB I menjelaskan pendahuluan, BAB II menjelaskan metodologi penelitian, BAB III menjelaskan hasil penelitian, BAB IV menjelaskan pembahasan penelitian, BAB V menjelaskan kesimpulan dan saran.

II. METODOLOGI PENELITIAN

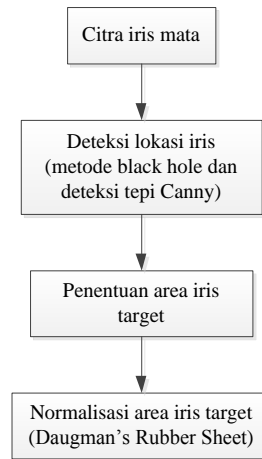
Citra iris yang digunakan pada penelitian ini adalah citra iris dari basis data CASIA ver.04 Interval yang memiliki beberapa *noise* seperti bulu mata, kelopak mata, *specular reflection*, dan tingkat kekontrasan yang berbeda-beda. Secara umum, pengenalan identitas berbasis biometrika iris mata dibangun diatas 3 tahap, yaitu tahap pra-pengolahan citra, tahap ekstraksi ciri, tahap pengenalan ciri seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Tahap pra pengolahan citra bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi *noise* pada citra iris mata, mendeteksi lokasi iris serta normalisasi citra iris target. Tahap ekstraksi ciri bertujuan untuk mendapatkan vektor ciri iris yang merepresentasikan pola tekstur pada iris. Tahap pengenalan pola iris bertujuan untuk melakukan pencocokan antara 2 vektor ciri iris.



Gambar 1. Diagram blok metodologi penelitian

A. Tahap Pra Pengolahan Citra

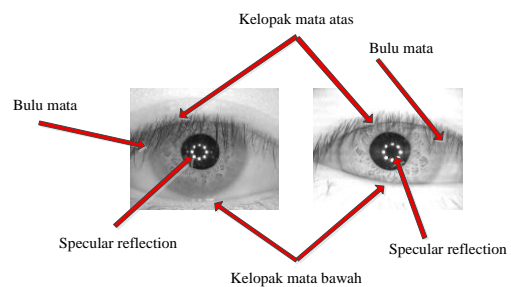
Tahap pra pengolahan citra terdiri dari beberapa langkah seperti deteksi lokasi iris, penentuan area iris target dan normalisasi area iris target. Pada Gambar 2 ditunjukkan diagram blok tahap pra pengolahan citra.



Gambar 2. Diagram blok tahap pra pengolahan citra

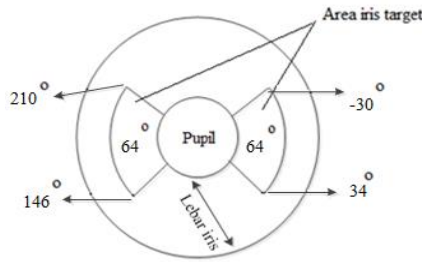
Lokasi iris pada citra mata dideteksi dengan menggunakan metode *black hole* dan deteksi tepi Canny. Metode *black hole* digunakan untuk mencari area pupil. Dengan mencari titik pusat pupil dan jari-jari pupil maka batas dalam lingkaran iris dapat ditentukan menggunakan teknik *circle curve fitting*. Deteksi tepi Canny digunakan untuk mencari 4 batas tepi lingkaran luar iris pada arah vertikal yang paling besar. Kemudian teknik *circle curve fitting* diterapkan pada 2 batas tepi arah vertikal yang representatif untuk mendapatkan batas luar lingkaran iris.

Pada citra iris CASIA ver.04 Interval, *noise* berupa kelopak mata dan bulu mata banyak muncul pada area atas dan bawah iris. Pada Gambar 3 ditunjukkan citra iris CASIA ver.04 Interval dengan *noise* yang terdapat didalamnya.



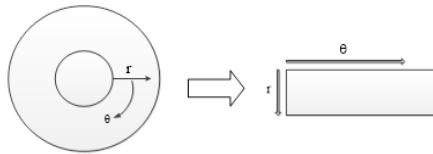
Gambar 3. Citra iris CASIA ver.04 Interval

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, *noise-noise* bulu mata dan kelopak mata di deteksi dengan beberapa metode, diantaranya adalah deteksi tepi dan pengambangan [16], transformasi Hough dan pengambangan [17], pendekatan berbasis sektor [23], *parabolic curve fitting* dan pengambangan [24], transformasi Wavelet [25]. Metode-metode deteksi *noise* pada citra iris menyebabkan komputasi menjadi makin berat. Pada penelitian ini digunakan cara untuk meminimalkan pengaruh *noise* pada citra mata tanpa harus mendeteksi *noise* tersebut sehingga akan mengurangi beban komputasi. Caranya yaitu dengan memilih area iris target yang akan dinormalisasi, hanya pada sisi kiri dan kanan iris sepanjang sudut 64°. Pada area ini, tekstur iris cenderung tidak terkena *noise* secara signifikan. Pada Gambar 4 ditunjukkan area iris target sepanjang sudut 64°.



Gambar 4. Area iris target pada sisi kiri dan kanan iris.

Normalisasi pada 2 area iris target dilakukan untuk mengatasi perubahan dimensi pupil akibat pencahayaan. Metode normalisasi yang digunakan adalah metode yang diusulkan oleh Daugman yang dikenal dengan *Daugman's rubber sheet*. Prinsip dasar dari metode ini adalah memetakan ulang setiap titik pada area iris (koordinat kartesian) pada citra $I(y,x)$ ke dalam koordinat polar (r,θ) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Normalisasi area iris

Dua area iris target dinormalisasi menjadi bentuk persegi dengan ukuran 64x64 piksel dengan menggunakan (1) sampai (5).

$$I(y(r,\theta), x(r,\theta)) \rightarrow I(r,\theta) \tag{1}$$

$y(r,\theta)$ dan $x(r,\theta)$ adalah kombinasi linier dari titik-titik batas pupil ($y_p(\theta), x_p(\theta)$) dan titik-titik batas iris luar ($y_i(\theta), x_i(\theta)$) yang dapat dicari menggunakan (4) sampai (5) dengan (y_o, x_o) adalah titik pusat iris/pupil dan r_x adalah jari-jari iris/pupil.

$$y(r,\theta) = (1-r)y_p(\theta) + ry_i(\theta) \tag{2}$$

$$x(r,\theta) = (1-r)x_p(\theta) + rx_i(\theta) \tag{3}$$

$$y_x = y_o + r_x * \sin \theta \tag{4}$$

$$x_x = x_o + r_x * \cos \theta \tag{5}$$

B. Tahap Ekstraksi Ciri

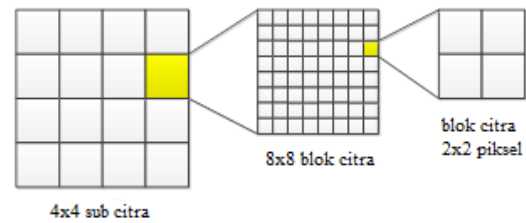
Ekstraksi ciri diterapkan pada 2 buah citra iris ternormalisasi dengan menggunakan metode *Edge Histogram Descriptor* (EHD). *Edge Histogram Descriptor* (EHD) merupakan salah satu deskriptor yang diusulkan oleh standar MPEG-7 untuk ekstraksi ciri tekstur. EHD menangkap distribusi tepi spasial pada citra yang merupakan ciri yang bagus dan berguna dalam pencocokan citra bahkan dalam kondisi tekstur yang tidak homogen [26]. Metode EHD yang diterapkan meliputi EHD lokal, EHD global dan EHD semi global. Berikut ini langkah-langkah ekstraksi ciri menggunakan EHD lokal.

1. Citra iris dibagi dalam 4x4 sub citra.
2. Setiap sub citra dibagi menjadi 8x8 blok citra.
3. Karena ukuran citra adalah 64x64, maka setiap blok citra berukuran 2x2 piksel.
4. 5 operator tepi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dioperasikan pada setiap blok citra ukuran 2x2 piksel.
5. Blok citra yang memiliki kekuatan tepi lebih besar dari nilai ambang T_1 diberlakukan sebagai blok tepi.
6. Jumlah blok tepi pada lima operator tepi untuk masing-masing sub citra dihitung dan normalisasikan nilainya menggunakan (6) dengan N_x =jumlah blok tepi pada sub citra dan N_t =jumlah blok citra pada sub citra.

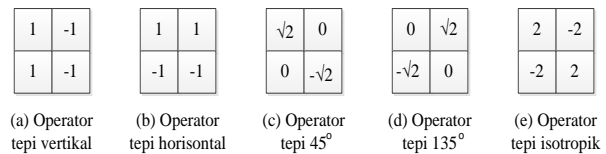
$$bin = \frac{N_x}{N_t} \tag{6}$$

7. Jumlah deskriptor tepi pada EHD lokal sebanyak $4 \times 4 \times 5 = 80$ deskriptor.

Pada Gambar 6 ditunjukkan ilustrasi ekstraksi ciri menggunakan EHD lokal.



Gambar 6. Ilustrasi metode EHD lokal



Gambar 7. Lima operator tepi yang digunakan pada EHD lokal

Metode EHD lokal menghasilkan deskriptor tepi sebanyak 80 deskriptor atau 80 bin histogram tepi. Metode EHD global merepresentasikan distribusi tepi pada semua ruang citra iris. Untuk memperoleh deskriptor tepi dengan menggunakan metode EHD global, digunakan jumlah blok tepi setiap sub citra untuk kelima operator tepi yang diperoleh dari metode EHD lokal. Karena terdapat 5 operator tepi, maka metode EHD global akan menghasilkan 5 deskriptor tepi atau 5 bin histogram tepi sesuai (7) sampai (11) dengan jumlah seluruh blok citra sebanyak 1024.

$$bin\ vertikal = \frac{\sum jml_bloktepi_vertikal}{jml_seluruh_blokcitra} \tag{7}$$

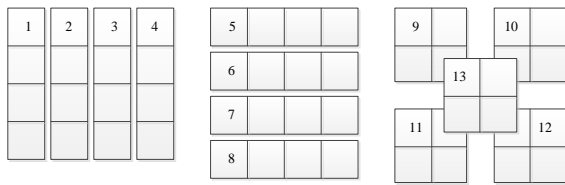
$$bin\ horisoltal = \frac{\sum jml_bloktepi_horisontal}{jml_seluruh_blokcitra} \tag{8}$$

$$\text{bin } 45^\circ = \frac{\sum \text{jml_bloktepi_arah_}45^\circ}{\text{jml_seluruh_blokctra}} \quad (9)$$

$$\text{bin } 135^\circ = \frac{\sum \text{jml_bloktepi_arah_}135^\circ}{\text{jml_seluruh_blokctra}} \quad (10)$$

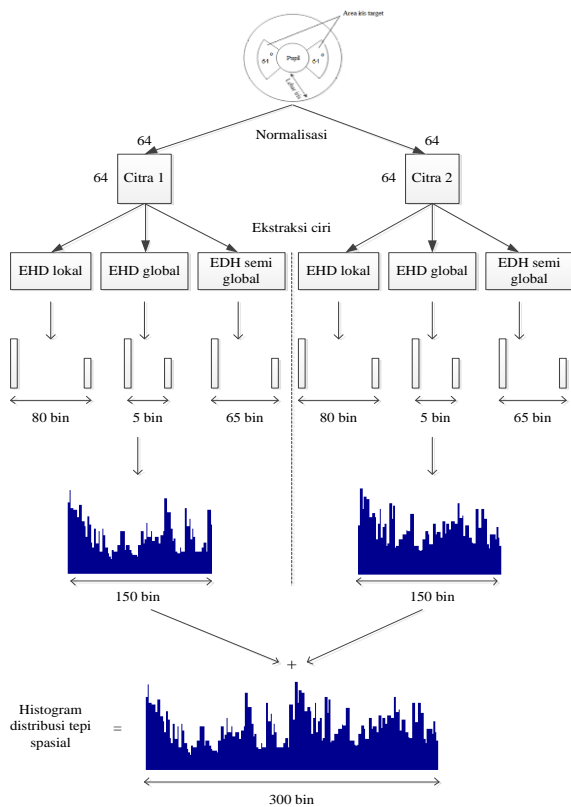
$$\text{bin isotropic} = \frac{\sum \text{jml_bloktepi_isotropic}}{\text{jml_seluruh_blokctra}} \quad (11)$$

Pada metode EHD semi global, terdapat 13 grup yang masing-masing grup dibentuk dari 4 sub citra pada EHD lokal yang saling terhubung. Karena terdapat 5 operator tepi, maka jumlah deskriptor tepi atau bin histogram tepi yang diperoleh sebanyak $13 \times 5 = 65$. Pada Gambar 8 ditunjukkan metode EHD semi global.



Gambar 8. Tiga belas grup pada EHD semi global

Untuk mencari nilai deskriptor tepi setiap grup pada kelima operator tepi, dapat digunakan (7) sampai dengan (11) dengan jumlah seluruh blok citra sebanyak 256 blok citra. Total deskriptor tepi yang diperoleh dari ekstraksi ciri menggunakan metode EHD lokal, global dan semi global berjumlah 300 deskriptor atau bin seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Ekstraksi ciri menggunakan EHD lokal, global dan semi global

C. Tahap Pengenalan Pola Ciri Iris

Pengenalan pola ciri iris diukur dengan suatu ukuran yang disebut dengan skor kemiripan. Skor kemiripan antara dua ciri iris ditentukan menggunakan (12).

$$\text{Skor} = 1 - \frac{d(u,v)}{2} \quad (12)$$

dimana, $d(u,v)$ merupakan jarak *euclidean* antara dua ciri iris. Semakin mirip antara dua ciri iris maka skornya akan semakin mendekati nilai 1. Pada penelitian ini, klasifikasi citra *query* sebagai pengguna *genuine* atau pengguna *imposter* dilakukan menggunakan 3 parameter, yaitu.

1. Nilai referensi pengguna *genuine* (T_2) dan pengguna *imposter* (T_3).
2. Nilai ambang lokal (T_{lokal}).
3. Nilai ambang global (T_{global}).

Nilai referensi pengguna *genuine* (T_2) didapatkan dari rerata nilai skor kemiripan pengguna *genuine*. Nilai referensi pengguna *imposter* (T_3) didapatkan dari rerata nilai skor kemiripan pengguna *imposter*. Nilai ambang lokal untuk masing-masing kelas citra didapatkan dengan merata-ratakan semua skor kemiripan yang nilainya terletak dalam rentang antara nilai terkecil skor kemiripan pengguna *genuine* dan nilai terbesar skor kemiripan pengguna *imposter*. Nilai ambang global untuk semua kelas citra didapatkan dari 20 nilai dalam rentang antara nilai terkecil skor kemiripan pengguna *genuine* dan nilai terbesar skor kemiripan pengguna *imposter*.

Berikut ini adalah algoritma klasifikasi citra *query* sebagai pengguna *genuine* atau pengguna *imposter* menggunakan 3 parameter.

1. Parameter nilai referensi pengguna *genuine* (T_2) dan nilai referensi pengguna *imposter* (T_3).

Skor kemiripan ← jarak ciri iris citra *query* dengan ciri iris citra basis data

Jarak D2 ← jarak skor kemiripan dengan nilai referensi pengguna *genuine*

Jarak D3 ← jarak skor kemiripan dengan nilai referensi pengguna *imposter*

Jika jarak $D2 < \text{jarak } D3$ maka citra *query* dikelompokkan sebagai pengguna *genuine*

Jika jarak $D2 > \text{jarak } D3$ maka citra *query* dikelompokkan sebagai pengguna *imposter*

2. Parameter nilai ambang lokal (T_{lokal}).

T_{lokal} ← nilai ambang lokal setiap kelas citra iris

Skor kemiripan ← jarak ciri iris citra *query* dengan ciri iris citra basis data

Jika skor kemiripan $\geq T_{\text{lokal}}$ maka citra query dikelompokkan sebagai pengguna genuine

Jika skor kemiripan $< T_{\text{lokal}}$ maka citra query dikelompokkan sebagai pengguna imposter

3. Parameter nilai ambang global (T_{global}).

T_{global} ← nilai ambang global untuk semua kelas citra iris

Skor kemiripan ← jarak ciri iris citra query dengan ciri iris citra basis data

Jika skor kemiripan $\geq T_{\text{global}}$ maka citra query dikelompokkan sebagai pengguna genuine

Jika skor kemiripan $< T_{\text{global}}$ maka citra query dikelompokkan sebagai pengguna imposter

D. Unjuk Kerja Sistem

Unjuk kerja diukur dengan melihat nilai *sensitivity* dan *specificity*. *Sensitivity* adalah kemampuan untuk mengidentifikasi dengan benar bahwa orang yang diuji adalah orang yang sama/satu kelas (*genuine*). *Specificity* adalah kemampuan untuk mengidentifikasi dengan benar bahwa orang yang diuji adalah orang palsu/beda kelas (*imposter*). Pada TABEL I ditunjukkan tabel kebenaran untuk mendefinisikan nilai *sensitivity* dan *specificity*.

TABEL I. TABEL KEBENARAN UNTUK MENDEFINISIKAN NILAI SENSITIVITY DAN SPECIFICITY

Hasil pengujian	Kondisi		Total Baris
	Positive (P) / Genuine	Negative (N) / Imposter	
Pengujian positive/genuine	TP	FP	TP+FP
Pengujian negative/imposter	FN	TN	FN+TN
Total Kolom	TP+FN	FP+TN	N=TP+FP+FN+TN

Keterangan.

TP (*True Positive*) : benar dalam mengidentifikasi bahwa orang yang diuji adalah orang yang sama/satu kelas (*genuine*).

FN (*False Negative*) : salah dalam mengidentifikasi bahwa orang yang diuji adalah palsu/beda kelas (*imposter*).

FP (*False Positive*) : salah dalam mengidentifikasi bahwa orang yang diuji adalah orang yang sama/satu kelas (*genuine*).

TN (*True Negative*) : benar dalam mengidentifikasi bahwa orang yang diuji adalah palsu/beda kelas (*imposter*).

Berdasarkan TABEL I, maka nilai *sensitivity* dan *specificity* dapat ditentukan menggunakan (13) dan (14).

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \tag{13}$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \tag{14}$$

III. HASIL PENELITIAN

Pengujian dilakukan terhadap 90 kelas citra iris mata dengan setiap kelas citra diambil 3 citra iris sebagai citra uji. Pengujian dilakukan untuk menganalisis unjuk kerja pengenalan identitas seseorang dengan meminimalisir pengaruh *noise* pada citra mata.

A. Unjuk Kerja Menggunakan Nilai Referensi Pengguna Genuine dan Imposter

Pada TABEL II ditunjukkan hasil pengujian klasifikasi dengan menggunakan nilai referensi pengguna *genuine* dan nilai referensi pengguna *imposter*.

TABEL II. HASIL PENGUJIAN KLASIFIKASI MENGGUNAKAN NILAI REFERENSI PENGGUNA GENUINE DAN IMPOSTER

		Data Citra Uji		Jumlah
		Positive (genuine)	Negative (imposter)	
Data Hasil Pengujian	Positive (genuine)	TP = 215	FP = 1047	1262
	Negative (imposter)	FN = 55	TN = 22983	23038
	Jumlah	270	24030	

Berdasarkan TABEL II, didapatkan unjuk kerja seperti yang ditunjukkan pada (15) dan (16).

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{215}{215 + 55} \times 100 = 79,6\% \tag{15}$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} = \frac{22983}{22983 + 1047} \times 100 = 95,6\% \tag{16}$$

B. Unjuk Kerja Menggunakan Nilai Ambang Lokal

Pada TABEL III ditunjukkan hasil pengujian klasifikasi dengan menggunakan teknik pengambangan pada nilai ambang lokal untuk setiap kelas citra iris.

TABEL III. HASIL PENGUJIAN KLASIFIKASI MENGGUNAKAN NILAI AMBANG LOKAL

		Data Citra Uji		Jumlah
		Positive (genuine)	Negative (imposter)	
Data Hasil Pengujian	Positive (genuine)	TP = 125	FP = 857	982
	Negative (imposter)	FN = 145	TN = 23173	23318
	Jumlah	270	24030	

Berdasarkan TABEL III didapatkan unjuk kerja seperti yang ditunjukkan pada (17) dan (18).

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{125}{125 + 145} \times 100 = 46,3\% \tag{17}$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} = \frac{23173}{23173 + 857} \times 100 = 96,4\% \tag{18}$$

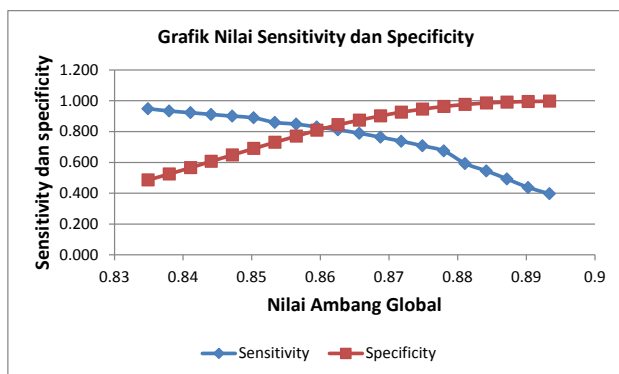
C. Unjuk Kerja Menggunakan Nilai Ambang Global

Pada TABEL IV ditunjukkan hasil pengujian klasifikasi menggunakan 20 nilai ambang global.

TABEL IV. HASIL PENGUJIAN KLASIFIKASI MENGGUNAKAN 20 NILAI AMBANG GLOBAL

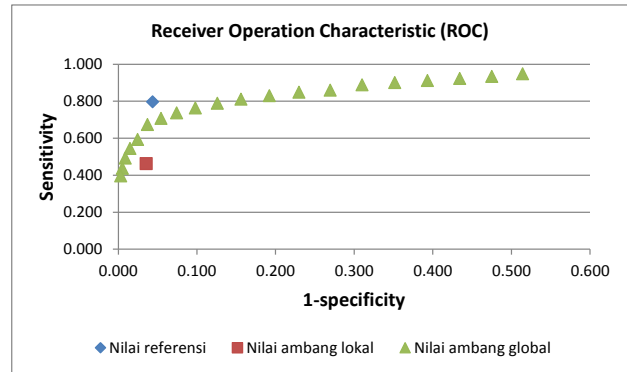
No	Nilai Ambang Global	TP	FN	FP	TN	Jumlah pengujian	
						Genuine (positive)	Imposter (negative)
1	0,8349	256	14	12358	11672	270	24030
2	0,8380	252	18	11416	12614	270	24030
3	0,8411	249	21	10435	13595	270	24030
4	0,8441	246	24	9447	14583	270	24030
5	0,8472	243	27	8449	15581	270	24030
6	0,8503	240	30	7453	16577	270	24030
7	0,8534	232	38	6478	17552	270	24030
8	0,8565	229	41	5523	18507	270	24030
9	0,8595	224	46	4618	19412	270	24030
10	0,8626	219	51	3749	20281	270	24030
11	0,8657	213	57	3031	20999	270	24030
12	0,8688	206	64	2358	21672	270	24030
13	0,8718	199	71	1786	22244	270	24030
14	0,8749	191	79	1309	22721	270	24030
15	0,8780	182	88	894	23136	270	24030
16	0,8811	160	110	590	23440	270	24030
17	0,8842	147	123	357	23673	270	24030
18	0,8872	133	137	216	23814	270	24030
19	0,8903	118	152	125	23905	270	24030
20	0,8934	107	163	73	23957	270	24030

Berdasarkan TABEL IV, didapatkan grafik unjuk kerja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik nilai *sensitivity* dan *specificity* terhadap 20 nilai ambang global

Untuk mengetahui unjuk kerja terbaik dari ketiga unjuk kerja yang diperoleh dengan meminimalisir *noise* kelopak mata, maka ketiga unjuk kerja tersebut perlu untuk digambarkan pada ruang *Receiver Operation Characteristic* (ROC) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Ruang ROC

IV. PEMBAHASAN

Unjuk kerja yang diperoleh saat pengujian klasifikasi dilakukan menggunakan nilai referensi pengguna *genuine* dan *imposter* adalah sebesar 79,6% untuk *sensitivity* dan 95,6% untuk *specificity*. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan dalam mengidentifikasi dengan benar seorang pengguna *genuine* sebesar 79,6%. Kesalahan identifikasi sebesar 20,4% dari total 270 kali pengujian pada kelompok pengguna *genuine*. Serta kemampuan dalam mengidentifikasi dengan benar seorang pengguna *imposter* sebesar 95,6%. Kesalahan identifikasi sebesar 4,4% dari total 24030 kali pengujian pada kelompok pengguna *imposter*.

Unjuk kerja yang diperoleh saat pengujian klasifikasi dilakukan menggunakan teknik pengembangan pada nilai ambang lokal adalah sebesar 46,3% untuk *sensitivity* dan 96,4% untuk *specificity*. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan dalam mengidentifikasi dengan benar seorang pengguna *genuine* sebesar 46,3%. Kesalahan identifikasi sebesar 53,7% dari total 270 kali pengujian pada kelompok pengguna *genuine*. Serta kemampuan dalam mengidentifikasi dengan benar seorang pengguna *imposter* sebesar 96,4%. Kesalahan identifikasi sebesar 3,6% dari total 24030 kali pengujian pada kelompok pengguna *imposter*.

Unjuk kerja yang diperoleh saat pengujian klasifikasi dilakukan menggunakan teknik pengembangan pada 20 nilai ambang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Kemampuan dalam mengidentifikasi dengan benar seorang pengguna *imposter* akan naik seiring dengan naiknya nilai ambang global. Kemampuan dalam mengidentifikasi dengan benar seorang pengguna *genuine* akan turun seiring dengan naiknya nilai ambang global.

Unjuk kerja ideal terjadi saat nilai *sensitivity* sebesar 100% dan nilai *specificity* sebesar 100%, yaitu terletak pada koordinat (0,1) pada ruang ROC. Semakin dekat dengan titik unjuk kerja ideal maka semakin baik unjuk kerja tersebut. Berdasarkan Gambar 10, maka unjuk kerja terbaik adalah unjuk kerja yang diperoleh saat pengujian klasifikasi citra *query* dilakukan menggunakan nilai referensi pengguna *genuine* dan *imposter*, yaitu sebesar 79,6% untuk *sensitivity* dan 95,6% untuk *specificity*. Unjuk kerja ini cocok untuk digunakan pada aplikasi keamanan karena memiliki nilai *specificity* yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *sensitivity*. Aplikasi biometrika dibidang keamanan membutuhkan unjuk kerja

yang tinggi pada sisi *specificity*, dimana tujuan utamanya adalah menolak para pengguna penipu (*imposter*) meskipun dengan resiko sebagian pengguna yang sah (*genuine*) juga ditolak oleh sistem (*false negative*) [1].

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Ekstraksi ciri pada area iris target yaitu pada sisi kiri dan kanan iris sepanjang sudut 64° dapat meminimalisir pengaruh *noise* bulu mata dan kelopak mata sehingga diperoleh unjuk kerja yang cukup tinggi dengan nilai *sensitivity* sebesar 79,6% dan nilai *specificity* sebesar 95,6%.
2. Dengan nilai *sensitivity* sebesar 79,6% dan *specificity* sebesar 95,6%, maka modul ini dapat diterapkan pada aplikasi keamanan karena nilai *specificity* yang lebih tinggi daripada nilai *sensitivity*.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk perbaikan penelitian yang akan datang adalah menggunakan metode pengenalan pola iris yang lebih baik lagi sehingga unjuk kerja yang dihasilkan dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Putra, Sistem Biometrika: Konsep Dasar, Teknik Analisis Citra, dan Tahapan Membangun Aplikasi Sistem Biometrika. Yogyakarta: Andi Offset, 2009.
- [2] A. A. B. Shirazi and L. Nasseri, "A Novel Algorithm to Classify Iris Image Based on Differential of Fractal Dimension by Using Neural Network," 2008 Int. Conf. Adv. Comput. Theory Eng., pp. 181–185, Dec. 2008.
- [3] N. Barzegar and M. S. Moin, "A new approach for iris localization in iris recognition systems," in 2008 IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications, 2008, pp. 516–523.
- [4] T. qi Chuan, "A New Iris Region Segmentation Method," Fifth Int. Conf. Fuzzy Syst. Knowl. Discov., pp. 63–67, 2008.
- [5] N. Van Huan and H. Kim, "A Novel Circle Detection Method for Iris Segmentation," Congr. Image Signal Process., pp. 620–624, 2008.
- [6] P. Li and X. Liu, "An incremental method for accurate iris segmentation," in 2008 19th International Conference on Pattern Recognition, 2008, pp. 1–4.
- [7] Z. He, S. Member, and T. Tan, "Toward Accurate and Fast Iris Segmentation for Iris Biometrics," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 31, no. 9, pp. 1670–1684, 2009.
- [8] N. K. Mahadeo and N. Bhattacharjee, "An Efficient and Accurate Iris Segmentation Technique," Digit. Image Comput. Tech. Appl., 2009.
- [9] S. Shah and A. Ross, "Iris Segmentation Using Geodesic Active Contours," IEEE Trans. Inf. Forensics Secur., vol. 4, no. 4, pp. 824–836, 2009.
- [10] R. M. Sundaram and B. Chanda, "A fast method for iris localization," Second Int. Conf. Emerg. Appl. Inf. Technol., 2011.
- [11] V. N. Boddeti, B. V. K. V. Kumar, and K. Ramkumar, "Improved iris segmentation based on local texture statistics," in 2011 Conference Record of the Forty Fifth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers (ASILOMAR), 2011, pp. 2147–2151.
- [12] A. Radman, K. Jumari, and N. Zainal, "Fast and reliable iris segmentation algorithm," IET Image Process, vol. 7, no. October 2012, pp. 42–49, 2013.
- [13] M. Nabti and A. Bouridane, "An effective and fast iris recognition system based on a combined multiscale feature extraction technique," Pattern Recognit., vol. 41, no. 3, pp. 868–879, Mar. 2008.
- [14] L. Yu, D. Zhang, K. Wang, and W. Yang, "Coarse iris classification using box-counting to estimate fractal dimensions," Pattern Recognit., vol. 38, no. 11, pp. 1791–1798, Nov. 2005.
- [15] C. H. Sulochana, S. Selvan, K. K. District, and T. Nadu, "Iris Feature Extraction Based on Directional Image Representation," GVIP J., vol. 6, no. 4, 2006.
- [16] C. M. Patil and S. P. Kulkarni, "An Approach of Iris Feature Extraction for Personal Identification," 2009 Int. Conf. Adv. Recent Technol. Commun. Comput., pp. 796–799, 2009.
- [17] P. S. R. C. Murty, E. S. Reddy, and I. R. Babu, "Iris Recognition System Using Fractal Dimensions of Haar Patterns," Int. J. Signal Process. Image Process. Pattern Recognit., vol. 2, no. 3, pp. 75–84, 2009.
- [18] A. Kraitong, "A Box-counting Fractal Dimension for Feature Extraction in Iris Recognition," ISPACS, vol. 1, pp. 7–9, 2011.
- [19] V. R. E. Chirchi, H.- Ap, and R. Dean, "Iris Biometric Recognition for Person Identification in Security Systems," Int. J. Comput. Application, vol. 24, no. 9, pp. 1–6, 2011.
- [20] J. Daugman, "How Iris Recognition Works," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 14, no. 1, pp. 21–30, Jan. 2004.
- [21] R. P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology," Proc. IEEE, vol. 85, no. 9, 1997.
- [22] W. Chen, "An Iris Recognition Technique Based on Multi-Feature Extraction and Support Vector Machine," CVGIP, pp. 225–232, 2005.
- [23] H. Mehrotra, G. S. Badrinath, B. Majhi, and P. Gupta, "An efficient iris recognition using local feature descriptor," in 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2009, pp. 1957–1960.
- [24] Z. He, T. Tan, Z. Sun, and X. Qiu, "Robust eyelid, eyelash and shadow localization for iris recognition," in 2008 15th IEEE International Conference on Image Processing, 2008, pp. 265–268.
- [25] M. J. Aligholizadeh, S. Javadi, R. Sabbaghi-nadooshan, and K. Kangarloo, "Eyelid and Eyelash Segmentation Based on Wavelet Transform for Iris Recognition," 4th Int. Congr. Image Signal Process., pp. 1231–1235, 2011.
- [26] B. S. Manjunath, J.-R. Ohm, V. V. Vasudevan, and A. Yamada, "Color and texture descriptors," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 11, no. 6, pp. 703–715, Jun. 2001.

Metode Digitalisasi Citra Pada Sinyal EKG

Jaenal Arifin^{1,2}, Jans Hendry², Sri Kusrohmaniah³

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada¹

Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom Purwokerto^{1,2}

Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 5528 Indonesia¹

Jl.D.I Panjaitan no.128 Purwokerto 53147 Indonesia²

¹Jaetoga33@gmail.com, ²janshendry@gmail.com, ³koesagung@yahoo.com

Abstract—Image digitization method in EKG signals is very important, either for clinical or research purposes. The purpose of this research is to test image processing method applied in signals received from the results of EKG signals' measurement or data retrieval. Results from the outputs of EKG signal recording are pictures or images with analog properties. Digital data are then processed from analog images of EKG signals. Image digitization method on EKG signals consists of multiple stages. These are scanning, segmentation, thinning and spatial-to-time transformation. The results show that the post-processing images of EKG signals could retain their features or original information from these signal waves with no distortion or defects.

Keywords: EKG Signal Images, Segmentation, Thinning, Spatial-to-Time Transformation.

Abstrak—Metode digitalisasi citra pada sinyal EKG sangat penting baik untuk tujuan klinis atau penelitian, khususnya di dunia akademik. Pada penelitian ini metode yang dimaksud adalah mengolah citra pada sinyal EKG yang didapatkan dari hasil pengukuran atau pengambilan data sinyal EKG. Perekaman sinyal EKG ini *output* yang dihasilkan berupa *print out* (gambar/citra) yang tentunya masih bersifat analog. Dari citra sinyal EKG yang bersifat analog tersebut nantinya diolah menjadi data digital. Metode digitalisasi citra pada sinyal EKG meliputi beberapa tahap. Di antaranya tahap *scanning*, tahap segmentasi, tahap *thinning* dan tahap transformasi spasial ke waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa citra sinyal EKG yang telah diolah dapat mempertahankan fitur sinyal EKG atau informasi asli dari gelombang sinyal EKG tersebut tanpa *distorsi* atau cacat.

Kata kunci : Citra Sinyal EKG, Segmentasi, *Thinning*, Transformasi Spasial ke Waktu.

I. PENDAHULUAN

Sinyal elektrokardiografi (EKG) adalah sinyal yang dihasilkan dari irama denyut jantung secara terus menerus. Mekanisme sederhana dari alat ini adalah mengukur potensial listrik sebagai fungsi waktu yang dihasilkan oleh jantung. Potensial listrik tersebut dihasilkan dengan pemicu denyut jantung yang dapat merubah *system* kelistrikan jantung. Perbedaan potensial tersebut kemudian divisualisasikan sebagai sinyal pada layar monitor atau pada kertas perekam [1].

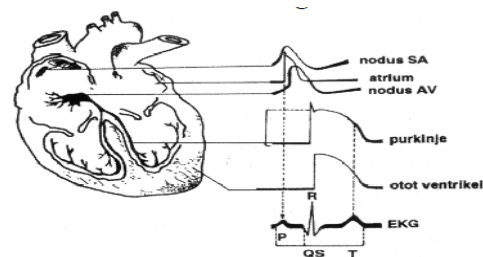
Jantung adalah salah satu organ penting dalam tubuh manusia yang berfungsi memompa darah ke seluruh tubuh. Darah yang dipompa ke seluruh tubuh melalui sistem peredaran darah mengangkut zat-zat yang sangat dibutuhkan untuk kelangsungan hidup sel-sel tubuh.

Sebaliknya, darah juga membawa zat-zat yang tidak berguna lagi bagi sel untuk dibuang keluar tubuh [2]. Tubuh manusia juga merupakan sebuah konduktor yang baik, maka *impuls* yang dibentuk oleh jantung dapat menjangar ke seluruh tubuh, sehingga potensial bioelektrik yang dipancarkan oleh jantung dapat diukur melalui elektroda-elektroda yang diletakkan pada berbagai posisi dipermukaan tubuh [2].

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan teknik pengolahan citra pada sinyal EKG. Dengan mengolah citra sinyal EKG yang bersifat analog ke dalam bentuk data digital melalui beberapa tahap (segmentasi, *thinning* dan transformasi spasial ke waktu). Kelebihan dalam bentuk data sinyal digital ini diantaranya adalah mudah disimpan, diakses atau dianalisis untuk keperluan diagnose kedokteran atau untuk penelitian lebih lanjut.

II. STUDI PUSTAKA

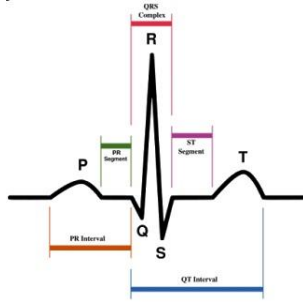
Elektrokardiografi adalah alat medis yang digunakan untuk merekam beda potensial biomedik dipermukaan kulit yang dibangkitkan jantung dengan memasang elektroda rekam (Ag/AgCl) pada tempat tertentu dipermukaan tubuh. Berikut gambar aktivitas listrik jantung [1].



Gambar 1. Denyut jantung hasil dari EKG [1].

Sinyal elektrokardiografi (EKG) mempunyai bentuk spesifik sehingga dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan kondisi jantung manusia. Sinyal EKG direkam menggunakan perangkat elektrokardiografi.

Sebuah sinyal EKG mempunyai bentuk seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Gelombang EKG [3]

Gelombang P menunjukkan depolarisasi atrial yang dipicu oleh node SA, segmen PR menunjukkan berhentinya impuls pada AV node, gelombang QRS menunjukkan depolarisasi ventrikel, segmen ST menunjukkan tidak adanya impuls disebabkan adanya periode refrakter di sel miokardium dan gelombang T menunjukkan repolarisasi.

Menurut Tompkins [4] gelombang EKG normal memiliki ciri-ciri sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1.

TABEL 1. Parameter Electrocardiogram

Gelombang EKG	Amplitude	EKG Interval	Durasi
P	< 0.3	P-R	0.12 – 0.20 detik
Q	1.6 – 3mV	Q-T	0.35 – 0.44 detik
R	25% dari R	S-T	0.05 – 0.15 detik
T	0.1 – 0.5 mV	Q-R-S	0.06 – 0.10 detik

Interval antara R-R menandakan periode dari detak jantung yang dapat dikonversikan menjadi Heart Rate (H)

$$H = \frac{60000}{R-R} \text{ (bpm)} \dots \dots \dots (1)$$

R – R = adalah interval antara sinyal R dengan sinyal R yang diukur dalam milidetik. Interval R-R relatif konstan dari detak ke detak. Dalam pengambilan sinyal electrocardiogram terdapat berbagai metode yang bisa dilakukan yaitu [3] :

- **Standard klinik EKG**
Menggunakan 10 elektroda yang digunakan untuk menganalisis kondisi kesehatan jantung pasien.
- **Vectorcardiogram**
Pemodelan potensial tubuh sebagai vektor 3 dimensi dengan menggunakan sadapan bipolar Einthoven. Pengambilan sinyal jantung melalui 3 titik tertentu pada tubuh.
- **Monitoring EKG**
Menggunakan 1 atau 2 elektroda yang ditempelkan pada titik tertentu yang digunakan untuk memantau kondisi kesehatan jantung pasien dalam jangka waktu yang panjang.

Jalel C dalam penelitiannya [5] mengutarakan bahwa konversi data EKG dari manual ke dalam bentuk digital sangat penting. Proses dalam digitalisasi data EKG meliputi *selecting EKG, ekstracting EKG trace, filtering unwanted data, applying pixel scale* dan outputnya berupa gelombang EKG yang bersifat digital. Data EKG yang sudah dalam bentuk digital dapat dengan mudah disimpan, diakses atau dianalisis untuk keperluan diagnosis kedokteran atau penelitian. Dalam penelitiannya mengusulkan beberapa perbaikan proses

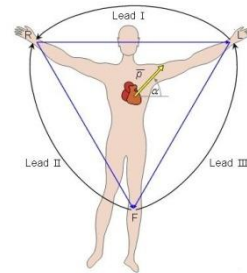
digitalisasi yang ada dengan memilih resolusi gambar yang sesuai sebelum dilakukan *scanning*. Hubungan antara piksel, nilai tegangan (mv) dan waktu (time) dapat dibuat secara otomatis. Penelitiannya berfokus pada penentuan nilai PPI minimum untuk mengurangi beban komputasi yang dibutuhkan saat proses digitalisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data digital yang telah berhasil diekstrak dapat mempertahankan fitur dari gelombang EKG.

Waleed A.A dalam penelitiannya [6] mengutarakan bahwa *skeletonization* atau *thinning* adalah salah satu proses penting pada pra-pengolahan citra. Metode *thinning* banyak digunakan diantaranya untuk aplikasi OCR dan identifikasi. Algoritma *skeletonization* atau *thinning* dikenalkan pada penelitian ini. Algoritma ini menggabungkan antara paralel dan *sekuensial* yang dikategorikan dalam pendekatan *iteratif*. Metode yang diusulkan dilakukan dalam percobaan *dataset* dan selanjutnya dievaluasi. Hasil penelitian menunjukkan percobaan *visual* membuktikan kinerja yang berkualitas tinggi untuk citra biner.

Dalam ilmu kardiologi [1] (ilmu yang mempelajari tentang jantung) dikenal dengan 12 sadapan EKG standar, yaitu :

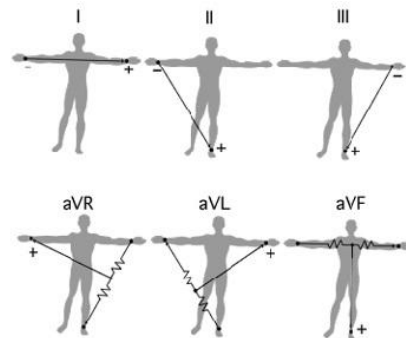
- Tiga (3) sadapan *bipolar Einthoven* (I,II,III).
- Tiga (3) sadapan *unipolar* (aVR, aVL, aVF).
- Enam (6) sadapan *prekordial* (VI – V6).

Berikut gambaran terkait berbagai macam sadapan EKG menurut standarnya. Sadapan *bipolar* ditunjukkan pada gambar 3.



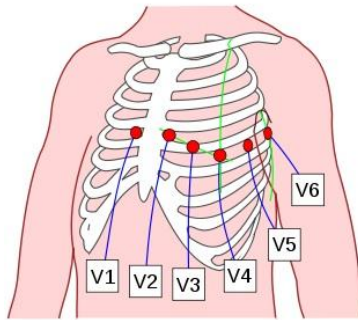
Gambar 3. Penerapan Sadapan Bipolar EKG [7][8]

Sadapan *unipolar* (aVR, aVL, aVF) ditunjukkan pada gambar 4.



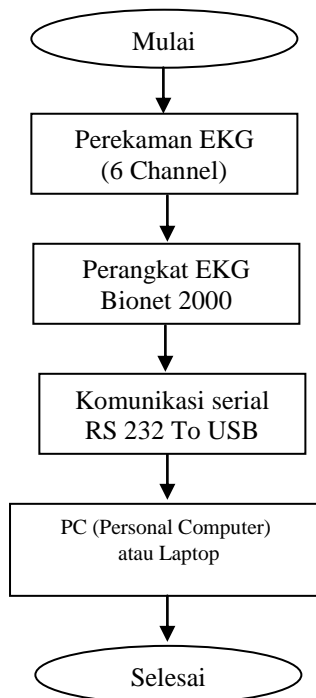
Gambar 4. Penerapan Sadapan Bipolar EKG [7][8]

Sadapan *prekordial* (V1-V6) ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Penerapan Sadapan *Prekordial* EKG [7] [9]

Dalam perekaman sinyal EKG penulis menggunakan 6 channel. Perangkat EKG yang digunakan merk bionet 2000. Perekaman sinyal EKG dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 6.

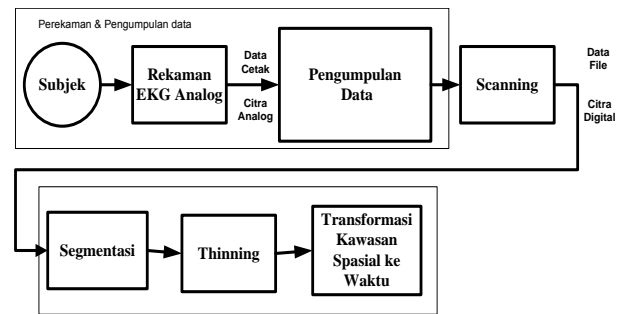


Gambar 6. Rancangan Perekaman Sinyal EKG [10]

Pada tahap perekaman sinyal EKG dapat dilakukan menggunakan 6 channel dan 12 channel. Dalam penelitian ini penulis melakukan perekaman sinyal ekg dengan 6 channel. Perekaman sinyal EKG ini menggunakan perangkat elektrokardiografi merk bionet 2000. Perangkat ini dihubungkan ke PC (*personal computer*) melalui media serial RS 232 to USB. Selanjutnya monitoring rekaman EKG dapat dilihat di PC atau laptop. Pada saat perekaman sinyal EKG ini disarankan subjek atau pasien yang hendak diukur dalam kondisi relax atau santai, sehingga perekaman sinyal EKG dapat dilakukan dengan lancar tanpa adanya noise yang terdapat pada *report* sinyal EKG.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 7. Metode Pengolahan Sinyal EKG.

A. Subjek dan rekaman EKG (Analog).

Tahapan dalam melakukan perekaman sinyal EKG 2000 adalah sebagai berikut [10] [11] [12].

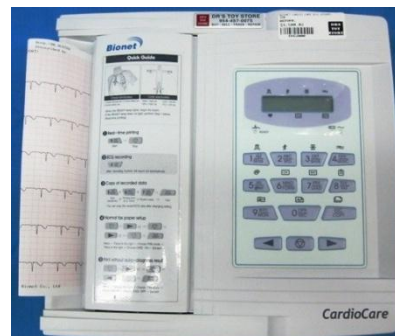
1. Persiapan awal dalam melakukan perekaman sinyal EKG. Sebelum melakukan pengukuran pengguna harus mengetahui posisi elektroda dipasang pada *subjek* atau relawan. Pengukuran bisa dilakukan dengan 6 atau 12 channel (I, II, III, aVR, aVI, aVF, V1, V2, V3, V4, V5, V6). Pada saat memasang elektroda posisikan *subjek* pada tempat tidur atau kondisikan pada posisi *rilex*, berikan gel EKG pada posisi yang akan dipasangi elektroda. Selanjutnya pasang kabel ke *subjek* atau relawan pada konektor yang terhubung pada EKG 2000. Terakhir cek *connection* pada setiap *channel* dilampu indikator pada perangkat EKG 2000. Lampu indikator *ready* akan menyala jika perangkat EKG telah dihidupkan. Jika lampu indikator masih tidak menyala dalam kurun waktu 10 detik, ini menandakan ada permasalahan pada *connection* antara *subjek* dengan perangkat EKG. Kita bisa mengetahui dimana salah satu *channel* yang bermasalah dengan cara mengoperasikan *mode monitoring* yang ada pada menu perangkat EKG tersebut. Permasalahan yang sering terjadi pemasangan posisi elektroda yang terlepas dari badan *subjek* atau relawan, untuk permasalahan ini bisa dihubungkan kembali elektroda pada badan *subjek* atau relawan. Permasalahan lain konduktivitas antara elektroda dengan badan *subjek* yang tidak baik, untuk mengatasi ini berikan gel EKG pada elektroda dan pasang kembali pada badan *subjek* atau relawan.
2. Pengaturan dasar pada perekaman sinyal EKG. Setelah melakukan persiapan awal sebelum perekaman, tahap berikutnya pengaturan level sinyal. Pengaturan level sinyal mempunyai tujuan agar mendapatkan hasil pengukuran yang baik. Pengaturan level sinyal dapat diatur dengan 4 pilihan, 5mm/mV, 10mm/mV, 20mm/mV dan *Auto*. Selanjutnya pengaturan filter yang dipakai pada saat melakukan pengukuran, pengaturan filter ini tergantung dari frekuensi listrik yang dipakai saat melakukan perekaman 50 Hz, 60 Hz atau *Off*. Pengaturan *filter base line drift* juga harus diaktifkan, ini berguna untuk mengurangi *noise* saat *subjek* bergerak.

Pengaturan sinyal EMG juga harus diaktifkan, ini berguna untuk mendapatkan hasil garis perekaman EKG yang baik. Sinyal EMG terjadi dari kontraksi otot dan organ-organ *internal subjek* atau relawan. Berikutnya pengaturan *low pass filter*, ini berfungsi untuk memilih jenis filter frekuensi yang digunakan, yaitu 40 Hz, 100 Hz, 150 Hz atau *Off*. Pemilihan filter dengan frekuensi 40 Hz ini mengandung arti filter ini akan menghilangkan sinyal yang berfrekuensi lebih dari 40 Hz. Untuk pengaturan *low pass filter* disarankan untuk memilih dengan frekuensi 150 Hz [10]. Selanjutnya pengaturan channel, ini berfungsi untuk memilih hasil *report* perekaman berdasarkan channel yang dipilih. Pemilihan channel bisa menggunakan 3ch+1rhy, 6ch+1rhy, 12ch+1rhy dan 60s+1rhy. Untuk pengaturan 3ch+1rh sinyal gelombang EKG ini akan direkam selama 10 detik dengan pembagian waktu 2.5 detik untuk perekaman pada channel I, II, III, 2.5 detik kedua untuk perekaman aVR, aVL, aVF, 2.5 detik ketiga untuk perekaman V1, V2, V3 dan 2.5 detik keempat digunakan untuk perekaman V4, V5, V6. Dan untuk 1ch rhythm waktu perekaman selama 10 detik dari awal sampai akhir. Hasil pengukuran 1 ch rhythm akan diprint pada bagian paling bawah dari hasil *report*. Untuk 6ch+1rhy waktu yang diperlukan untuk perekaman 10 detik, 5 detik pertama pada lengukuran channel I, II,III, aVR, aVF, aVL dan untuk 5 detik berikutnya pada channel V1, V2, V3, V4, V5, V6 dan 1ch rhythm direkam dalam kurun waktu 10 detik. Untuk 12ch rhy, 12 channel rhythm ini menggunakan mode perekaman secara *continue* tanpa dibatasi oleh waktu, sehingga pengguna bisa menekan mode stop jika diperlukan. Dalam mode perekaman ini channel yang digunakan I, II,III, aVF, aVL, aVR, V1,V2,V3, V4, V5 dan V6. Untuk 60s 1 rhy,mode ini hanya 1 channel rhythm saja yang direkam selama 60 detik, hasil rekaman ini sebanyak 6 baris dengan masing-masing 1 baris mempunyai waktu 10 detik. Selanjutnya pengaturan grid, pengaturan grid diperlukan apabila kertas cetak yang dipakai adalah kertas *fax*. Grid adalah garis-garis membentuk kotak berukuran 5mm x 5mm dan kotak tersebut terbagi lagi dengan kotak yang berukuran 1 mm x 1mm. Pada penggunaan dengan memakai kertas EKG standard grid harus dalam keadaan *off*, karena kertas standard EKG sudah dilengkapi dengan grid.

3. Perekaman sinyal EKG.

Sebelum melakukan perekaman lakukan pengaturan *mode output* rekaman, hasil rekaman EKG akan tersimpan pada memori terlebih dahulu dan *diprint out* berdasarkan pengaturan level sinyal, pemilihan channel, pengaturan filter. Selanjutnya tinggal mengaktifkan tombol record, perlu diingat perekaman sinyal EKG 10 detik pada pengaturan channel 3ch + 1rhy, 6ch + 1rhy dan 12 ch rhy. Sedangkan perekaman sinyal EKG untuk 60 detik pada pengaturan channel 60s 1 rhy.

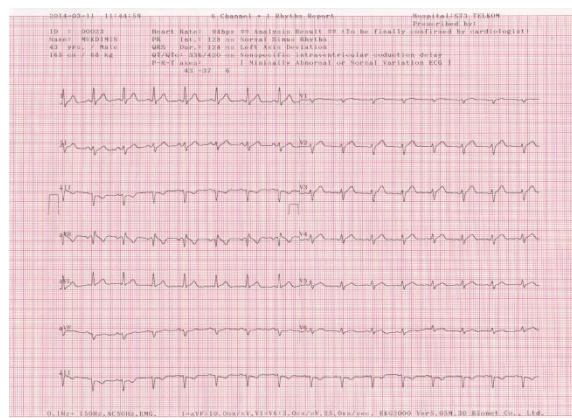
Berikut tampilan gambar seperangkat EKG yang digunakan. Gambar EKG merk bionet 2000 ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. EKG merk bionet 2000 [10]

B. Pengumpulan Data dan Scanning

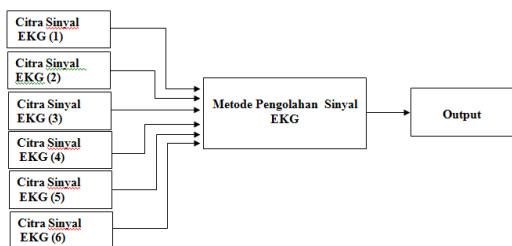
Setelah tahap perekaman sinyal EKG selesai dan *diprint out* selanjutnya dilakukan pengumpulan data. Data citra sinyal EKG yang dihasilkan kemudian di-*scan* sehingga menghasilkan file citra dalam format tif, dalam penelitian ini *image-scanner* mengambil citra dengan jenis *true-color* dengan kualitas foto (24bit) dengan resolusi 300 dpi. Proses pengolahan citra sinyal EKG diawali dengan pengambilan sampel sinyal EKG yang diperoleh dari hasil perekaman. Misalnya sampel citra sinyal EKG ditetapkan berukuran 3492 x 2512 piksel. Berikut sample citra sinyal ekg yang telah discan. Sample citra sinyal EKG ditunjukkan pada gambar 9



Gambar 9. Sample citra sinyal EKG

Dari citra sinyal EKG tersebut sample yang diambil untuk pengolahan dengan program matlab sebanyak 6 channel dari total 12 channel yang ada. Pemilihan tipe format file berjenis tiff dikarenakan tipe file jenis ini memiliki kelebihan dapat dikompresi dengan kualitas citra tetap dan lebih mengutamakan kualitas citra. Citra file dengan format tiff mempunyai ukuran file yang relative besar [13]. Pengolahan citra format tiff bisa dilakukan oleh software matlab [14].

Berikut gambaran penelitian seperti ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Gambaran penelitian

C. Segmentasi Citra

Pada tahap segmentasi mempunyai tujuan mengubah citra true color ke citra biner yang hanya memiliki dua intensitas saja yaitu nol (0) dan satu (1), proses ini dikerjakan oleh komputer dengan program matlab. Jika masih ada obyek lain yang tertampil selain obyek yang diperlukan, maka biasanya masih diperlukan proses untuk menghapus obyek tersebut [15] [16]. Intinya segmentasi hanya mengambil/menampilkan obyek yang dibutuhkan saja. Pada pola sinyal EKG grid pada kertas ekg tersebut dihilangkan, sehingga hanya gambar EKG nya saja yang diambil.

D. Skeletonization atau Thinning

Pada dasarnya, proses *skeletonizing* dapat diartikan dengan proses *thinning*. Ada beberapa sumber yang menyamakan kedua istilah tersebut. Sementara beberapa sumber yang lainnya menyatakan bahwa *thinning* adalah salah satu metode yang dipakai dalam melakukan *skeletonizing* (*thinning* adalah bagian dari *skeletonizing*) [17]. “*Skeletonizing*” adalah sama dengan “*thinning*”. *Thinning* merupakan tahapan yang penting dalam proses *image processing*. Hal ini dikarenakan prosedur *thinning* memainkan peranan yang penting dalam suatu ruang lingkup yang luas dari masalah yang timbul dalam *image processing* [18]. Metodologi dari *thinning* dapat diartikan sebagai algoritma atau prosedur yang dapat digunakan untuk melakukan proses *thinning* tersebut. Suatu metode (algoritma/ prosedur) *thinning* yang baik harusnya melindungi dan mempertahankan topologi, panjang, dan orientasi dari *image* yang di-*thinning*. Sementara itu, hasil proses *thinning* (*skeletal representation*) harus mampu merepresentasikan fitur-fitur utama seperti penggabungan, pojok (sudut), dan titik akhir [6] [18] [19].

E. Transformasi Spasial ke waktu.

Pada tahap transformasi spasial ke waktu ini mengubah dari citra yang merupakan dimensi spasial ke ranah waktu [20]. Dari citra sinyal EKG yang berisi informasi warna dan tidak bergantung waktu selanjutnya di olah menggunakan matlab ke ranah waktu. Diranah waktu ini diberi koordinat x dan y. Koordinat x adalah waktu yang diperlukan sinyal ekg tersebut berjalan dan y adalah tegangan yang digunakan saat perekaman EKG dilakukan.

III. HASIL DAN ANALISIS

Dari perekaman sinyal yang telah dilakukan dari channel 1 sampai dengan 6 didapatkan pengolahan citra pada sinyal EKG sebagai berikut :

1. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 1.



Gambar 11. Pengolahan citra sinyal EKG di channel 1

2. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 2.



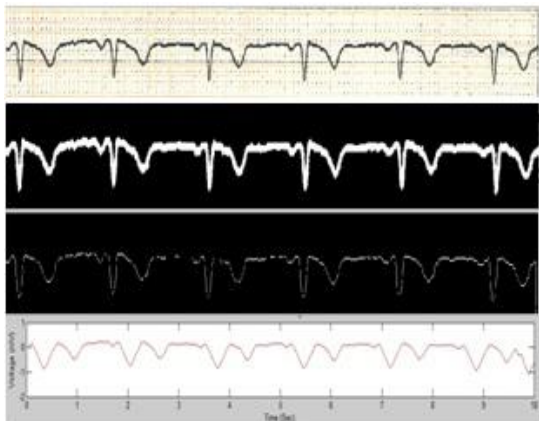
Gambar 12. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 2

3. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 3.



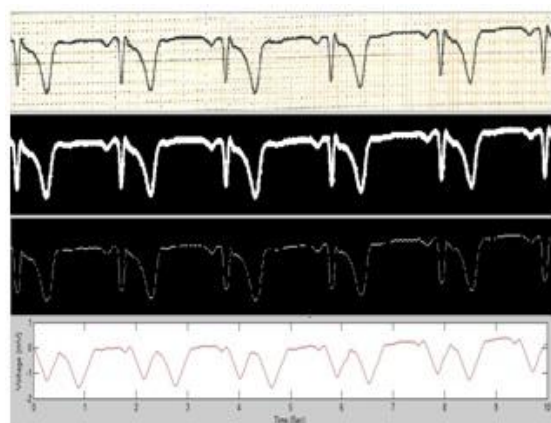
Gambar 13. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 3

4. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 4.



Gambar 14. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 4

5. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 5.



Gambar 15. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 5

6. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 6.



Gambar 16. Pengolahan citra pada sinyal EKG di channel 6

Sinyal *electrocardiogram* merupakan sinyal yang mempunyai bentuk spesifik sehingga dapat dijadikan sebagai acuan atau parameter untuk menentukan kondisi jantung manusia dengan mempelajari polanya, pola ini bisa diambil dari gelombang P-Q-R-S-T, PR *interval*, QRS durasi, atau R-R intervalnya. EKG 2000 ini merupakan seperangkat EKG yang dapat melakukan pengukuran dari perekaman gelombang EKG. EKG ini dilengkapi dengan data-data pasien atau *subjek* yang hendak diukur, pengukuran berguna untuk diagnosis subjek atau pasien dan *auto* – analisis hasil dari perekaman sinyal yang telah dilakukan.

Pada hasil pengolahan citra sinyal EKG diperlihatkan bahwa pada masing masing channel memiliki karakteristik pola yang berbeda-beda. Ini bisa dilihat dari gambar 11, 12, 13, 14, 15 dan 16. Untuk pengembangan ke depan pengolahan sinyal ekg ini dapat menggunakan metode yang berbeda dan pada masing – masing channel dapat digunakan sebagai ciri utama maupun ciri pendukung dalam aplikasi sistem klasifikasi pola sinyal EKG.

IV. KESIMPULAN

1. Metode digitalisasi citra pada sinyal EKG dari analog ke digital sangat penting baik untuk tujuan klinis atau penelitian.
2. Pada paper ini metode *thining* digunakan untuk penipisan pada citra sinyal EKG. Penipisan ini berorientasi pada *image* yang dithinning, sehingga setelah proses *thinning* selesai citra sinyal EKG dapat mempertahankan fitur EKG yang dimaksud atau informasi gelombang sinyal EKG yang ada tidak hilang/terputus.
3. Pada paper ini transformasi spasial ke waktu mempunyai tujuan merekonstruksi sinyal EKG. Merekonstruksi yang dimaksud adalah mengembalikan sinyal tersebut setelah melalui tahap segmentasi dan *thinning*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Ismudiarti, *Buku Ajar Kardiologi*, FKUI. 1998.
- [2] Wulansari Dwi Ratih, "Sistem Pemantauan Kesehatan Manusia Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2010.
- [3] S. Budi, "Ekstraksi dan klarifikasi isyarat ECG berbasis transformasi wavelet dan jaringan neural vackpropagation," Universitas Gadjah Mada, 2012.
- [4] W. J. Tompkins, *Biomedical Signal Processing*, Prentice H. New Jersey, 1993.
- [5] J. Chebil, J. Al-nabulsi, M. Al-maitah, and P. O. Box, "A Novel Method for Digitizing Standard ECG Papers," pp. 1308–1312, 2008.
- [6] W. Abu-Ain, S. N. H. S. Abdullah, B. Bataineh, T. Abu-Ain, and K. Omar, "Skeletonization Algorithm for Binary Images," *Procedia Technol.*, vol. 11, no. Iceei, pp. 704–709, 2013.
- [7] M. Lectures, *Basic ECG Lecture* . .
- [8] E. J. Topol and R. M. Califf, *Textbook of Cardiovascular Medicine*, no. v. 355. Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- [9] Wikipedia, "Elektrokardiogram." [Online]. Available: <http://id.wikipedia.org/wiki/Elektrokardiogram>.
- [10] B. Indonesia, "EKG2000 Petunjuk Pengoperasian," 2000.
- [11] *Setup Cardio Care 2000* . .

- [12] B. America, *Bionet CardioCare2000 Basic Operation*. America, p. 1.
- [13] P. Darma, *Pengolahan Citra Digital*. C.V. ANDI Offset, 2010, p. 420.
- [14] I. Muhammad, "Dasar Pengolahan Citra menggunakan MATLAB," Bogor: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [15] E. W. R. Rafael, C. Gonzalez, *Digital Image Processing (Third Edition)*. Prentice Hall; 3 edition (August 31, 2007), 2007, p. 976.
- [16] R. C. Gonzales, *Digital Image Processing Using Matlab*. New-Jersey: Pearson Prentice hall.
- [17] B. Daya, "Parallelization of Two - Dimensional Skeletonization Algorithms," pp. 1-23.
- [18] M. Tamem, *Morphological Image Processing - Thinning and Skeleton*. .
- [19] P. Tarábek, "Morphology Image Pre-processing for thinning algorithms," *J. Information, Control Manag. Syst.*, vol. 5, no. 1, pp. 131-138, 2007.
- [20] S. I. Wayan, "Pengolahan Citra Digital dengan Transformasi Wavelet Doubechis."

Analisis Tekstur Citra Interpolasi Terhadap Steganografi

Meirista Wulandari^{1*}, Indah Soesanti^{1**}

¹ Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281

*meirista_s2te12@mail.ugm.ac.id, **indsanti@gmail.com

Abstract— Security data is one of the major scenarios in electronic communication at this few years. One of common ways to secure data is steganography. Steganography is an art of hiding information as a way to avoid detection. Interpolation is an important process in the theory of signal because it is often used in many applications. There are many development of interpolation method, such as *Near Mean Interpolation* (NMI) and *Interpolation by Neighbor Pixel* (INP). Both of these interpolation methods include suppression of data in it. An image interpolation method affects the texture of the image. Interpolation image's texture value is lower than the original. Texture image is defined as the mutual relationship between the intensity values of pixels that neighboring. NMI method gives less embedding capacity than the INP's. Texture stego image by NMI method is more similar to its carrier image than stego image by INP. Smaller changing of texture image is shown by NMI than INP.

Keywords- *Steganography; Interpolation; Texture*

Abstrak- Keamanan data adalah salah satu tantangan utama pada scenario komunikasi elektronik di zaman sekarang ini. Salah satu cara pengamanan data adalah steganografi. Steganografi adalah seni menyembunyikan informasi sebagai cara menghindari deteksi. Interpolasi adalah proses yang penting dalam teori sinyal karena seringkali digunakan pada banyak aplikasi. Ada banyak metode interpolasi yang dikembangkan beberapa contohnya adalah *Near Mean Interpolation* (NMI) dan *Interpolation by Neighboring Pixel* (INP). Kedua metode interpolasi ini mengikutsertakan penyembunyian data di dalamnya. Metode interpolasi suatu citra mempengaruhi tekstur citra tersebut. Nilai tekstur citra terinterpolasi menjadi lebih rendah daripada citra asli. Tekstur citra didefinisikan sebagai hubungan mutual antara nilai intensitas piksel-piksel yang bertetangga. Metode NMI memberikan *embedding capacity* lebih sedikit dibandingkan dengan INP. Namun tekstur citra stego yang dihasilkan NMI lebih menyerupai citra pembawanya. Perubahan tekstur citra NMI lebih kecil dibanding dengan INP.

Kata Kunci—*Steganography; Interpolation; Tekstur*

I. PENDAHULUAN

Keamanan data adalah salah satu tantangan utama pada scenario komunikasi elektronik di zaman sekarang ini. Setelah Perang Dunia ke-2, kebutuhan untuk keamanan komunikasi antara perangkat komunikasi meningkat beriringan dengan ketakutan atas terorisme [1]. Ada 3 buah teknik untuk keamanan data yaitu kriptografi, steganografi dan *watermarking*.

Kriptografi melindungi isi dari suatu pesan sedangkan steganografi menyembunyikan keberadaan

pesan rahasia. Kata steganografi berasal dari Yunani yang berarti tulisan yang tertutup atau tulisan yang tersamar, "*covered writing*"; seni menyembunyikan informasi sebagai cara menghindari deteksi. Hal ini mencakup metode barisan *array* yang luas dari komunikasi rahasia yang dapat menyembunyikan keberadaan pesan [2, 3]. Teknik steganografi sederhana telah digunakan selama ratusan tahun tetapi dengan meningkatnya penggunaan atas file dalam format elektronik, teknik-teknik baru steganografi bermunculan dan berkembang [4]. Pekerjaan mengenai steganografi telah dilakukan pada media penyimpanan yang berbeda seperti teks, citra, audio atau video. Teknik steganografi pada media citra seperti: teknik steganografi dalam ranah spasial, ranah transform, *spread spectrum*, metode statistik dan metode distorsi [5, 6]. Setiap teknik mempunyai kelemahan dan kelebihan masing-masing. Teknik yang umum dipakai adalah teknik dalam ranah spasial yakni *Least Significant Bit* (LSB) karena kualitas dan komputasi yang sederhana.

Teknik steganografi dapat diklasifikasikan menjadi *irreversible* dan *reversible*. Teknik steganografi data *irreversible* memenuhi *embedding capacity* yang lebih baik dan kualitas citra yang lebih tinggi, sedangkan *reversible* mempunyai kelebihan dalam *restoring* citra asli tanpa distorsi dan ekstraksi pesan tersembunyi dengan valid [7-10]. Teknik steganografi *reversible* dibagi menjadi 2 jenis yaitu *additive spread spectrum techniques* dan penyembunyian dengan memodifikasi ciri-ciri tertentu dari sinyal pembawa [11].

Sampling dan interpolasi adalah proses yang penting dalam teori sinyal karena seringkali digunakan pada banyak aplikasi [12]. Interpolasi citra mengatasi masalah dalam membentuk citra beresolusi tinggi dari citra beresolusi rendahnya. Interpolasi linear merupakan interpolasi citra yang sering dilakukan karena kesederhaan dalam komputasi [13].

Ada beberapa metode interpolasi yang telah berkembang yaitu *Nearest Neighbor Interpolation* (NNI), *Bilinear Interpolation* (BI), *Near Mean Interpolation* (NMI) dan *Interpolation by Neighboring Pixel* (INP). Kedua metode interpolasi terakhir merupakan metode interpolasi yang dikembangkan dengan mengikutsertakan penyembunyian data di dalamnya.

Paper ini menjelaskan mengenai pengaruh kedua metode interpolasi untuk steganografi terhadap banyaknya karakter yang dapat disembunyikan serta akibatnya terhadap tekstur dari citra stego. *Paper* ini terdiri dari

beberapa bagian. Bagian 2 akan menjelaskan tentang kedua interpolasi yang telah dilakukan. Bagian 3 menjelaskan mengenai statistik tekstur citra yang dianalisis. Bagian 4 menunjukkan hasil dan pembahasan. Bagian 5 menunjukkan kesimpulan.

II. METODE

Bagian ini akan memaparkan dua interpolasi yaitu NMI dan INP. Hasil interpolasi dijadikan sebagai citra pembawa. Data rahasia disembunyikan di dalam citra pembawa. Citra yang didalamnya berisikan data rahasia dinamakan citra stego. Berdasarkan citra stego tersebut, nantinya, data yang tersembunyi akan dikembalikan. Citra yang digunakan dalam kasus ini adalah citra yang memiliki derajat keabuan, *grayscale image*.

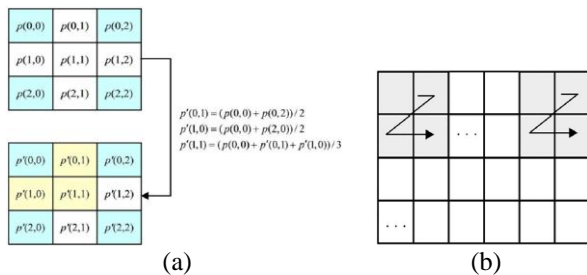
A. Near Mean Interpolation (NMI)

Metode NMI ini dilakukan dengan algoritma interpolasi sederhana untuk *resampling* [14]. Interpolasi memanfaatkan nilai piksel tetangga untuk menghitung nilai rata-rata, kemudian nilai rata-rata dimasukkan kedalam sebuah piksel yang belum dialokasikan. Secara umum, citra resolusi tinggi didapatkan ketika nilai piksel tetangga direferensikan untuk menghitung sebuah nilai yang belum teralokasi. Pemodelannya dapat dilihat pada rumus sebagai berikut dengan $0 \leq j \leq i$ dan $m, n = 0, 1, 2, \dots, 127$. K merepresentasikan koefisien faktor pembesar. Dalam kasus ini nilai $K=2$.

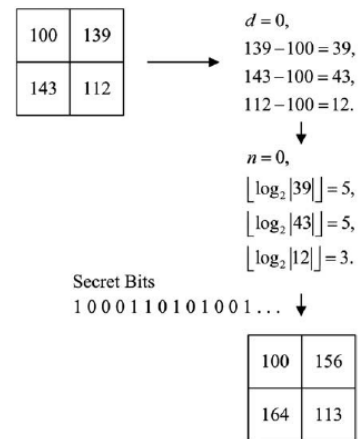
$$p'(i, j) = \begin{cases} p(i, j) & \text{if } i = K \cdot m, j = K \cdot n, \\ (p(i, j-1) + p(i, j+1)) / K & \text{if } i = K \cdot m, j = K \cdot n + 1, \\ (p(i-1, j) + p(i+1, j)) / K & \text{if } i = K \cdot m + 1, j = K \cdot n, \\ (p(i-1, j-1) + p(i-1, j) + p(i, j-1)) / (K+1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

Proses NMI dapat dilihat pada Gambar 1a. Piksel p adalah piksel dari sumber citra sedangkan p' adalah piksel yang termodifikasi (citra tujuan). Piksel $p'(0,0)$ dan $p'(2,2)$ mempunyai nilai yang sama dengan $p(0,0)$ dan $p(2,2)$. Piksel $p'(0,1)$ mempunyai nilai $(p(0,0)+p(0,2))/2$, dan $p'(1,0)$ didapat dari $(p(0,0)+p(2,0))/2$. Akhirnya $p'(1,1)$ didapat dari $(p(0,0)+p'(0,1)+p'(1,0))/3$. Interpolasi NMI mirip dengan interpolasi BI namun mempunyai resolusi citra yang lebih baik.

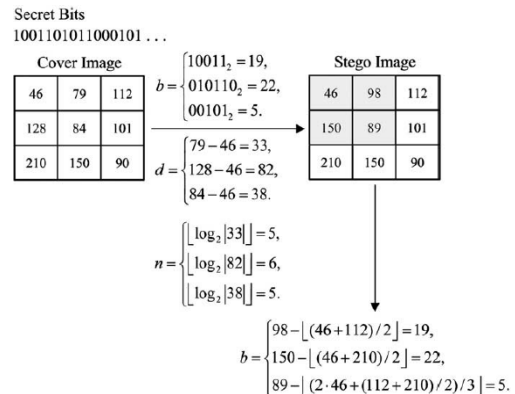
Citra pembawa, dibagi ke dalam 4-piksel, tidak *overlapping*, berturut-turut dengan *zig-zag scanning* seperti yang terlihat pada Gambar 1b. Setiap nilai piksel blok 4-piksel, tidak *overlapping* dan berturut-turut, contoh: $p(i,j), p(i,j+1), p(i+1,j), p(i+1,j+1)$ nilai piksel citra stego adalah $p'(i,j), p'(i,j+1), p'(i+1,j), p'(i+1,j+1)$.



Gambar 1 (a) Proses NMI, (b) Blok 4-piksel



Gambar 2 Proses Penyembunyian Data



Gambar 3 Proses Ekstraksi Data

Data disembunyikan dalam 3 piksel kecuali piksel $p(i,j)$. Ketiga nilai piksel p' dihitung selisihnya dengan piksel $p(i,j)$ untuk mendapat nilai d .

$$\begin{aligned} d_1 &= p'(i, j+1) - p(i, j) \\ d_2 &= p'(i+1, j) - p(i, j) \\ d_3 &= p'(i+1, j+1) - p(i, j) \end{aligned} \quad (2)$$

Jumlah bit, n , yang dapat disembunyikan didalam piksel ini dihitung dengan persamaan 3

$$n = \log_2 \lfloor d \rfloor \quad (3)$$

Sebagian dari *stream* bit kode ASCII data yang disembunyikan diambil sejumlah n , kemudian diubah kedalam nilai integer, b . Nilai piksel citra stego yang baru, $p'(i,j)$, dibentuk dengan menambahkan b .

$$p'(i, j) = p(i, j) + b \quad (4)$$

Gambar 2 menunjukkan salah satu contoh proses penyembunyian data. Nilai piksel $p(0,0), p(0,1), p(1,0)$ dan $p(1,1)$ adalah 100, 139, 143 dan 112. Nilai d dapat dihitung dengan pengurangan maka didapat 0, 39, 43 dan 12. Nilai d yang telah didapat itu digunakan untuk mendapatkan nilai n , maka nilai n adalah 0, 5, 5 dan 3. Banyaknya bit yang dapat disisipkan sesuai dengan nilai n maka prosesnya adalah 5 bit pertama yaitu $10001_2 = 17$, disambung dengan 5 bit berikutnya berikutnya $10101_2 = 21$ dan kemudian 3 bit berikutnya berikutnya $001_2 = 1$. Citra stego menjadi 156, 164 dan 113.

Proses ekstraksi dapat menggunakan persamaan dibawah ini untuk $0 \leq j \leq 1$ dan $x, y = 0, 1, 2, \dots, 127$ dan K ditentukan $=2$.

$$b = \begin{cases} p'(i,j) - [(p'(i,j) + p'(i,j)) / K] & \text{if } i = K \cdot x, j = K \cdot y, \\ p'(i,j) - [(p'(i,j) + p'(i,j+1)) / K] & \text{if } i = K \cdot x, j = K \cdot y + 1, \\ p'(i,j) - [(p'(i,j) + p'(i+1,j)) / K] & \text{if } i = K \cdot x + 1, j = K \cdot y, \\ p'(i,j) - [(K \cdot (p'(i,j) + p'(i,j+2)) / K + p'(i+2,j)) / (K+1)] & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Gambar 3 menunjukkan proses ekstraksi data. Asumsikan piksel citra aslinya adalah 46,112,210 dan 90. Pertama, hitung perbedaan antara 3 piksel tetangga, tidak termasuk $p(0,0)$; hal ini dikarenakan $p'(0,0)$ tidak mengandung bit rahasia. Kemudian panjangnya bit yang disembunyikan dihitung untuk setiap bit rahasia. Hasilnya adalah 5,6,5. Bit rahasia dibagi ke dalam panjangnya penyembunyian dan diubah ke nilai integer, b. Hasil dari perhitungan ini adalah 19, 22, dan 5. Akhirnya, keempat stego piksel adalah 46, 69, 150 dan 89.

Citra pembawa dapat diperoleh dengan menggunakan citra stego tanpa perlu mereferensi terhadap citra pembawa. Contohnya $p(0,1)$ dapat dihitung dengan $(p'(0,0) + p'(0,2))/2 = (46+112)/2 = 79$ dan data rahasia yang disembunyikan dalam $p(0,1)$ adalah $98-79=19$. $p(1,0)$ juga dihitung dengan $(p'(0,0) + p'(2,0))/2 = (46+210)/2 = 128$ dan data rahasia yang disembunyikan dalam $p(1,0)$ adalah $150-128 = 22$. Dan akhirnya $p(1,1)$ didapat $(2 \times p'(0,0) + p'(0,2)/2 + p'(2,0)/2)/3 = (2 \times 46 + 112/2 + 210/2)/3 = 84$ dan data rahasia yang disembunyikan dalam piksel $p(1,1)$ adalah $89-84 = 5$. Hal ini menandakan bahwa citra pembawa dan data rahasia dapat diekstraksi dengan menggunakan citra stego saja.

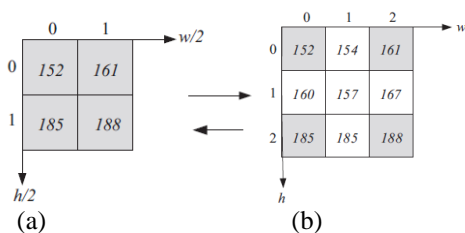
B. Interpolation by Neighbor Pixel (INP)

Interpolasi ini merupakan pengembangan dari metode NMI dengan melibatkan 2 citra yakni citra pembawa dan citra asli [15]. Citra asli berukuran $(w/2, h/2)$ sedangkan citra pembawa berukuran (w, h) . Persamaan yang memenuhi INP untuk $0 \leq j \leq i$ dan $m, n = 0, 1, 2, \dots, 127$ dapat dilihat di bawah ini

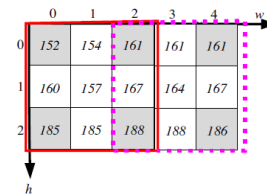
$$C(i,j) = \begin{cases} I(i,j), & \text{if } i=2m, j=2n, \\ (I(i,j-1) + (I(i,j-1) + I(i,j+1))/2) / 2 & \text{if } i=2m, j=2n+1, \\ (I(i-1,j) + (I(i-1,j) + I(i+1,j))/2) / 2 & \text{if } i=2m+1, j=2n \\ (C(i-1,j) + C(i,j-1)) / 2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

Dalam kasus ini piksel $C(i,j)=I(i,j)$ untuk $i=2m, j=2n$ diacu sebagai piksel pivot. Piksel pivot adalah piksel yang tidak berubah ketika fasa penyembunyian data berikutnya diproses. $C(i,j)$ adalah citra pembawa, sedangkan untuk $I(i,j)$ adalah citra aslinya. Gambar 4 akan menunjukkan contoh proses INP. Asumsikan citra asli I pada gambar 4a dan piksel pivot dalam citra pembawa C ditunjukkan pada gambar 4b.

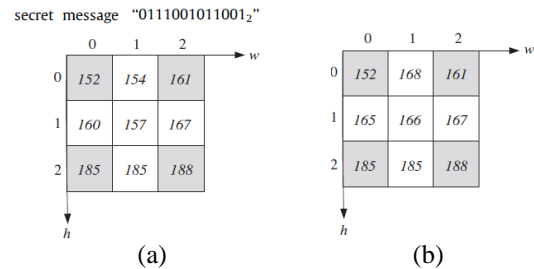
$C(0,0) = I(0,0) = 152$, $C(0,2) = I(0,1) = 161$
 $C(2,0) = I(1,0) = 185$, dan $C(2,2) = I(1,1) = 188$



Gambar 4 (a) Citra Asli, (b) Citra Pembawa



Gambar 5 Blok 3x3 Overlapping



Gambar 6 (a) Citra Pembawa, (b) Citra Stego

Nilai perkiraan dengan INP adalah

$C(0,1) = (152+(152+161)/2)/2 = 154$,

$C(1,0) = (152+(152+183)/2)/2 = 160$

$C(1,1) = (154+160)/2 = 157$,

$C(1,2) = (161+(161+188)/2)/2 = 167$, dan

$C(2,1) = (185+(185+188)/2)/2 = 185$.

Adanya empat buah piksel pivot yang telah ditunjukkan menyebabkan citra asli mudah direstorasi dari citra stego dan data rahasia dapat diekstrak secara akurat. Penyembunyian data yang dilakukan sebagian besar mirip dengan apa yang telah dilakukan dalam metode sebelumnya yaitu dengan memanfaatkan jarak ketetanggaan antar piksel.

Perbedaan yang dilakukan dalam metode INP adalah terletak pada blok 4 piksel yang ada pada NMI. Blok tersebut itu tidak overlapping dan berturut-turut sedangkan pengembangan yang dilakukan dalam metode ini adalah blok 3-piksel (3x3) yang overlapping dan berturut-turut. Gambar 5 menunjukkan blok 3x3 yang dimaksudkan. Dalam fasa penyembunyian, nilai maksimum, M yang ditemukan dengan membandingkan keempat pojok piksel pivot untuk setiap blok 3x3.

$M = \max(C(i,j), C(i,j+2), C(i+2,j), C(i+2,j+2)) \quad (7)$

Nilai maksimum tersebut digunakan untuk mencari besar, d

$n_k = \log_2 |d_k| \quad (8)$

Nilai $k = 1, 2, 3$. Banyaknya bit yang boleh disembunyikan yaitu sebanyak n bit dalam piksel tersebut. Kumpulan bit sebanyak n yang diambil dari kode ASCII data yang dirahasiakan, yaitu b, diubah menjadi bilangan integer dan ditambahkan kedalam nilai piksel. Rumusannya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini

$$C(i,j) = \begin{cases} C(i,j) + b_1 & \text{if } i = 2m+1, m = 0, 1, \dots, (w/2)-1 \text{ and } j = 0, 2, 4, \dots, (h/2) \\ C(i,j) + b_2 & \text{if } i = 0, 2, 4, \dots, (w/2) \text{ and } j = 2n+1, n = 0, 1, \dots, (h/2)-1 \\ C(i,j) + b_3 & \text{if } i = 0, 2, 4, \dots, (w/2) \text{ and } j = 0, 2, 4, \dots, (h/2) \\ C(i,j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

Proses penyembunyian data antara citra pembawa dengan citra stego ditunjukkan pada Gambar 6. Asumsikan data rahasia yang disembunyikan adalah $S="0111001011001_2"$. Data rahasia yang akan disembunyikan ke dalam citra pembawa yaitu C. Pertama, identifikasi nilai maksimum,

$$M = \max\{C(0,0), C(0,2), C(2,0), C(2,2)\} \\ = \max\{152, 161, 185, 188\} = 188.$$

Nilai d dan n dihitung untuk menentukan banyaknya bit yang disembunyikan.

$$d_1 = M - C(0,1) = 188 - 154 = 34$$

$$n_1 = \log_2 |d_1| = \log_2 |34| = 5$$

$$d_2 = M - C(1,0) = 188 - 160 = 28$$

$$n_2 = \log_2 |d_2| = \log_2 |28| = 4$$

$$d_3 = M - C(1,1) = 188 - 157 = 31$$

$$n_3 = \log_2 |d_3| = \log_2 |31| = 4$$

Sebanyak 5 bit pertama diambil dari S yaitu $b_1="01110_2"=14$, dilanjutkan dengan 4 bit berikutnya yaitu $b_2="0101_2"=5$, $b_3="1001_2"=9$. Nilai-nilai integer ini dijumlahkan dengan nilai piksel sesuai dengan ketentuannya sehingga dihasilkan piksel yang baru dari citra stego, Gambar 6b. Hal ini akan berulang dengan *overlapping* sampai deretan kode ASCII data rahasia habis disembunyikan dan selama kapasitas dari citra pembawa masih tersedia.

Citra stego yang sudah dibentuk akan dijadikan sebagai dasar proses ekstraksi data rahasia dan restorasi citra pembawa. Hal ini terjadi karena 4 piksel pada citra pembawa sama dengan citra asli, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Berdasarkan kesamaan nilai piksel pada citra stego dan citra asli, maka nilai piksel lain pada citra dapat dihitung dengan INP. Perhitungan tersebut menghasilkan nilai-nilai piksel piksel tetangga (selain nilai piksel yang ada pada pojok-pojok blok *overlapping*) $C(0,1)=154$, $C(1,0)=160$, $C(1,1)=157$, $C(1,2)=167$ dan $C(2,1)=185$. Nilai-nilai piksel tetangga yang didapat ini adalah restorasi dari citra pembawa. Nilai maksimum dapat dicari baik dari citra stego dan citra pembawa yang telah direstorasi. Nilai maksimum tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai d_1 , d_2 , d_3 . Nilai d yang didapat dilanjutkan untuk mencari n_1 , n_2 , n_3 . Nilai d yang merupakan bilangan desimal kemudian disusun kedalam bilangan biner sebanyak n bit. Misalnya : $d_1=34$, $d_2=28$ dan $d_3=31$; $n_1=5$, $n_2=4$ dan $n_3=4$. Susunan 5 bit pertama yang akan dibentuk adalah "01110", dilanjutkan dengan 4 bit berikutnya "0101" dan 4 bit berikutnya "1001". Jika rangkaian bit ini disusun akan menjadi $S="0111001011001_2"$.

C. Tekstur Citra

Tekstur suatu citra didefinisikan sebagai hubungan mutual antara nilai intensitas piksel-piksel yang bertetangga. Tekstur citra banyak dipakai untuk berbagai kepentingan contoh: untuk restorasi, klasifikasi dan segmentasi.

Metode sederhana untuk mendapatkan tekstur adalah dengan mendasarkan pada histogram [16]. Fitur pertama yang dapat dihitung secara statistis adalah rerata intensitas. Komponen fitur ini dihitung dengan persamaan:

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot p(i) \tag{10}$$

Dalam hal ini, i adalah aras keabuan pada citra f dan p(i) menyatakan probabilitas kemunculan i dan L menyatakan nilai aras keabuan tertinggi. Rumus di atas akan menghasilkan rerata kecerahan objek.

Fitur kedua berupa deviasi standar.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (i-m)^2 p(i)} \tag{11}$$

Fitur *skewness* merupakan ukuran ketidaksimetrisan terhadap rerata intensitas.

$$skewness = \sum_{i=1}^{L-1} (i-m)^3 p(i) \tag{12}$$

Deskriptor energi adalah ukuran yang menyatakan distribusi intensitas piksel terhadap jangkauan aras keabuan

$$energi = \sum_{i=0}^{L-1} (p(i))^2 \tag{13}$$

Entropi mengindikasikan kompleksitas citra. Semakin tinggi nilai entropi, semakin kompleks citra tersebut. Perlu diketahui, entropi dan energy berkecenderungan berkebalikan. Entropi juga merepresentasikan jumlah informasi yang terkandung di dalam sebaran data.

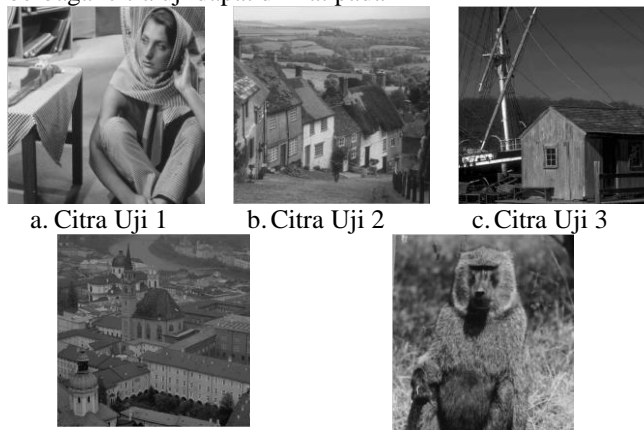
$$entropi = -\sum_{i=0}^{L-1} p(i) \cdot \log_2(p(i)) \tag{14}$$

Properti kehalusan (*smoothness*) biasa disertakan untuk mengukur tingkat kehalusan/kekasaran intensitas pada citra

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2} \tag{15}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpolasi dilakukan terhadap 4 buah citra uji berskala keabuan. Kelima citra uji dapat dilihat pada Gambar 7. Contoh perbandingan statistik tekstur untuk berbagai citra uji dapat dilihat pada TABEL 1



a. Citra Uji 1 b. Citra Uji 2 c. Citra Uji 3
 d. Citra Uji 4 e. Citra Uji 5

Gambar 7 Citra-Citra Uji

TABEL 1 FITUR STATISTIK CITRA

Citra	Rerata			Deviasi			Skewness		
	Asli	NMI	INP	Asli	NMI	INP	Asli	NMI	INP
1	117,3928	117,2955	117,0728	54,6076	53,988	53,5743	0,1318	0,1008	0,0733
2	112,2034	112,1101	112,0562	49,2267	49,0146	48,8836	1,2081	1,2104	1,2132
3	68,9662	68,888	68,8138	38,2501	37,8015	37,4054	0,8734	0,8226	0,7883
4	81,9573	81,89	81,5017	26,8139	26,4056	25,9231	-0,023	-0,0255	-0,0382
5	101,7929	101,7157	101,6138	43,7909	43,5822	43,3765	0,1302	0,1217	0,1154

Citra	Energi			Entropi			Smoothness		
	Asli	NMI	INP	Asli	NMI	INP	Asli	NMI	INP
1	0,0053	0,0054	0,0054	5,2902	5,2835	5,2776	0,0438	0,0429	0,0423
2	0,0063	0,0064	0,0064	5,1832	5,1776	5,172	0,0359	0,0356	0,0354
3	0,0185	0,0164	0,0149	4,3676	4,5582	4,6674	0,022	0,0215	0,0211
4	0,0198	0,0164	0,0137	4,2553	4,4408	4,5598	0,0109	0,0106	0,0102
5	0,0497	0,0303	0,0153	3,0927	3,9728	4,6086	0,0286	0,0284	0,0281

TABEL 2 PERBANDINGAN EMBEDDING CAPACITY NMI DAN INP

No.	Citra	Embedding Capacity (bit)	
		NMI	INP
1	Citra 1	141.653	418.716
2	Citra 2	111.183	408.185
3	Citra 3	94.737	352.089
4	Citra 4	107.362	441.762
5	Citra 5	112.381	500.610

TABEL 3 PENGARUH PANJANG KARAKTER TERHADAP NILAI RERATA CITRA

Karakter	Citra 1		Citra 2		Citra 3		Citra 4		Citra 5	
	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP
750	117,3262	117,1229	112,129	112,0708	68,913	68,8534	81,9102	81,5263	101,7355	101,6407
3000	117,4092	117,2492	112,1964	112,1401	68,997	68,9579	81,9829	81,6196	101,8011	101,7264
6000	117,5284	117,4097	112,3	112,2589	69,1114	69,1118	82,0848	81,7508	101,8936	101,8464
12000	117,8435	117,7484	112,5194	112,5411	-	69,4452	82,296	82,0531	102,0939	102,1113
24000	-	118,4954	-	113,161	-	70,1492	-	82,6735	-	102,682
48000	-	120,3478	-	114,5245	-	71,4003	-	83,8962	-	103,9352

TABEL 4 PENGARUH PANJANG KARAKTER TERHADAP NILAI DEVIASI CITRA

Karakter	Citra 1		Citra 2		Citra 3		Citra 4		Citra 5	
	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP
750	53,9929	53,5854	49,0391	48,9166	37,8032	37,4079	26,4117	25,9251	43,5882	43,3902
3000	54,0049	53,5776	49,0445	48,9915	37,8525	37,3944	26,4491	25,9464	43,5833	43,4104
6000	54,0691	53,5765	49,0291	49,0219	37,8826	37,4245	26,4769	26,0053	43,5884	43,4227
12000	54,1767	53,5835	49,0231	48,9909	-	37,5929	26,5054	26,0992	43,6603	43,3425
24000	-	53,8572	-	48,8281	-	37,6661	-	26,1483	-	43,3382
48000	-	53,9626	-	48,5365	-	-	-	25,9204	-	43,6655

Statistik tekstur dari masing-masing citra dihitung lalu dibandingkan antara citra yang asli dengan citra yang terinterpolasi. Umumnya interpolasi citra mempengaruhi nilai intensitas piksel. Bila dibandingkan citra terinterpolasi NMI sedikit menyerupai nilai statistik tekstur citra asli.

Perubahan nilai tekstur citra lebih besar ditunjukkan oleh INP. Perubahan ini berdampak pada *embedding capacity* yang juga lebih besar daripada *embedding capacity* metode NMI. Setiap citra uji mempunyai *embedding capacity* yang disediakan oleh citra INP jauh lebih besar dibandingkan dengan NMI. *Embedding capacity* yang ditunjukkan oleh kedua metode dapat dilihat pada TABEL 2.

Embedding capacity yang disediakan kemudian diujikan dengan melakukan steganografi di dalamnya. Setiap citra diuji dengan menyisipkan karakter di dalamnya. Banyaknya karakter yang disisipkan juga berubah-ubah. Dampak yang diperoleh dari penyisipan karakter ke dalam citra dapat dilihat pada TABEL 3-TABEL 8.

TABEL 5 PENGARUH PANJANG KARAKTER TERHADAP NILAI SKEWNESS CITRA

Karakter	Citra 1		Citra 2		Citra 3		Citra 4		Citra 5	
	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP
750	0,099	0,0701	1,2126	1,2199	0,8226	0,7896	-0,0259	-0,0388	0,121	0,115
3000	0,0943	0,0631	1,2066	1,2233	0,8256	0,7872	-0,0263	-0,0409	0,1191	0,1109
6000	0,0938	0,0552	1,1997	1,2129	0,8269	0,7864	-0,0264	-0,0421	0,1162	0,1077
12000	0,0818	0,0384	1,1904	1,1871	-	0,7945	-0,0254	-0,0449	0,1148	0,1007
24000	-	0,0263	-	1,1498	-	0,797	-	-0,0488	-	0,0806
48000	-	-0,0599	-	1,0969	-	-	-	-0,377	-	0,0758

TABEL 6 PENGARUH PANJANG KARAKTER TERHADAP NILAI ENERGI CITRA

Karakter	Citra 1		Citra 2		Citra 3		Citra 4		Citra 5	
	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP
750	0,0054	0,0054	0,0064	0,0064	0,0164	0,0149	0,0164	0,0137	0,0303	0,0152
3000	0,0054	0,0054	0,0064	0,0064	0,0164	0,0147	0,0164	0,0136	0,0302	0,0148
6000	0,0054	0,0054	0,0064	0,0064	0,0164	0,0146	0,0164	0,0135	0,0302	0,0145
12000	0,0053	0,0054	0,0064	0,0064	-	0,0141	0,0163	0,0134	0,0302	0,0139
24000	-	0,0054	-	0,0064	-	0,0141	-	0,0133	-	0,0131
48000	-	0,0053	-	0,0064	-	-	-	0,0131	-	0,122

TABEL 7 PENGARUH PANJANG KARAKTER TERHADAP NILAI ENTROPI CITRA

Karakter	Citra 1		Citra 2		Citra 3		Citra 4		Citra 5	
	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP
750	5,2836	5,2776	5,1778	5,172	4,558	4,6678	4,4414	4,5608	3,9833	4,6173
3000	5,2837	5,2773	5,1786	5,1731	4,559	4,6708	4,4435	4,5641	4,0048	4,6386
6000	5,2844	5,2773	5,1788	5,1751	4,5643	4,6771	4,4457	4,5685	4,0199	4,6622
12000	5,2865	5,2777	5,1797	5,1756	-	4,6953	4,4499	4,5746	4,0309	4,7016
24000	-	5,2826	-	5,1757	-	4,7	-	4,5793	-	4,7549
48000	-	5,2878	-	5,1748	-	-	-	4,5814	-	4,8159

TABEL 8 PENGARUH PANJANG KARAKTER TERHADAP NILAI SMOOTHNESS CITRA

Karakter	Citra 1		Citra 2		Citra 3		Citra 4		Citra 5	
	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP	NMI	INP
750	0,0429	0,0423	0,0357	0,0355	0,0215	0,0211	0,0106	0,0102	0,0284	0,0281
3000	0,0429	0,0423	0,0357	0,0356	0,0216	0,0211	0,0106	0,0102	0,0284	0,0282
6000	0,043	0,0423	0,0357	0,0356	0,0216	0,0211	0,0107	0,0103	0,0284	0,0282
12000	0,0432	0,0423	0,0356	0,0356	-	0,0213	0,0107	0,0104	0,0285	0,0281
24000	-	0,0427	-	0,0354	-	0,0214	-	0,0104	-	0,0281
48000	-	0,0429	-	0,035	-	-	-	0,0102	-	0,0285

TABEL 3 menunjukkan pengaruh panjang karakter terhadap nilai rerata citra. Nilai rerata yang ditunjukkan pada kedua citra terlihat semakin meningkat sesuai dengan banyak karakter yang disisipkan, semakin banyak karakter maka nilai rerata juga semakin besar. Namun, citra NMI mempunyai batasan karakter yang lebih kecil. TABEL 4 menunjukkan pengaruh panjang karakter juga berdampak pada deviasi citra. Sebagian besar dampak yang diakibatkan adalah meningkatnya juga nilai deviasi, seiring dengan bertambah banyaknya karakter yang disisipkan. TABEL 5 menunjukkan nilai *skewness* yang sebagian besar menurun akibat banyaknya karakter yang disisipkan. Energi suatu citra stego terlihat cukup

stabil bagi citra stego terinterpolasi NMI. Energi citra ini dapat dilihat pada TABEL 6. Walaupun cukup stabil, perubahan tetap akan berdampak jika panjang karakter yang disisipkan semakin banyak dan memaksimalkan *embedding capacity* yang tersedia. Energi terlihat menurun. Nilai entropi yang ditunjukkan pada TABEL 7 juga terlihat stabil bagi citra terinterpolasi NMI. Walaupun terlihat stabil, nilai entropi turut membesar jika panjang karakternya semakin panjang memenuhi *embedding capacity*. Nilai *smoothness* dapat dilihat pada TABEL 8.

Panjang karakter yang disisipkan juga mempengaruhi perubahan nilai namun perubahannya tidak terlalu jauh. Metode interpolasi suatu citra mempengaruhi tekstur citra tersebut. Kedua metode ini memperlihatkan. Nilai tekstur citra terinterpolasi menjadi lebih rendah daripada citra asli. Perubahan tekstur ini disebabkan karena nilai piksel penyusun citra berubah. Perubahan nilai piksel mengakibatkan perubahan histogram dari citra tersebut. Perubahan histogram yang mempengaruhi perubahan tekstur citra.

Citra stego hasil interpolasi INP menghasilkan citra dengan nilai tekstur yang lebih berbeda karena interpolasi ini menyebabkan nilai piksel yang berubah lebih banyak dibandingkan dengan metode NMI. Perbedaan ini disebabkan karena blok 3x3 yang dikerjakan dengan metode ini bergerak *overlapping* sedangkan pada metode NMI blok 4-piksel bekerja tidak *overlapping*. Tidak *overlapping* ini menyebabkan nilai piksel yang berubah tidak terlalu banyak. Kedua metode ini memberikan kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Metode NMI memberikan citra stego dengan *embedding capacity* terbatas yang tidak jauh berbeda dibanding citra asli, sedangkan metode INP menghasilkan citra stego dengan *embedding capacity* yang lebih besar namun tekstur citra stego menjadi berubah.

IV. KESIMPULAN

Steganografi dapat dilakukan dengan interpolasi. Interpolasi memungkinkan ekstraksi data dan citra pembawa hanya dari citra stego. Keberhasilan interpolasi citra mempengaruhi tekstur citra. Tekstur citra mengalami perubahan baik saat interpolasi mau pun saat penyisipan data.

Metode NMI dan INP memiliki kesamaan dalam hal kegunaannya menyisipkan data. Perbedaan yang disampaikan kedua metode terletak pada interpolasi piksel-piksel tetangga dan perlakuan blok piksel dalam penyembunyian data. Perbandingannya, metode NMI memberikan *embedding capacity* lebih sedikit dibandingkan dengan INP. *Embedding capacity* yang

sedikit ini berdampak pada tekstur citra yang menyerupai citra pembawanya. Perubahan yang disebabkan lebih kecil dibanding dengan INP.

REFERENSI

- [1] K. B. S. Kumar, K. B. Raja, R. K. Chhotaray, and S. Pattanaik, "Bit Length Replacement Steganography Based on DCT Coefficients," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2 (8), pp. 3561-3570, 2010.
- [2] N. F. Johnson and S. Jajodia, "Exploring Steganography: Seeing the Unseen," *Computer Journal*, February 1998.
- [3] R. J. Anderson and F. A. P. Petitcolas, "On the limits of steganography," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 16, pp. 474-481, 1998.
- [4] S. Channalli and A. Jadhav, "Steganography An Art of Hiding Data," *International Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 1, pp. 137-141, 2009.
- [5] P. Kruus, C. Scace, M. Heyman, and M. Mundy, "A Survey Of Steganography Techniques For Image Files," *Advanced Security Research Journal*, vol. 5(1), pp. 41-52, 2003.
- [6] A. Cheddad, J. Condell, K. C. Urran, and P. M. Kevitt, "Digital Image Steganography: Survey and Analysis of Current Methods," *Signal Processing*, vol. 90, pp. 727-752, 2010.
- [7] C. K. Chan and L. M. Cheng, "Hiding Data in Images by Simple LSB Substitution," *Pattern Recognition*, vol. 37, pp. 469-474, 2004.
- [8] H. M. Sun, C. Y. Weng, C. F. Lee, and C. H. Yang, "Anti-Forensics with Steganographic Data Embedding in Digital Images," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 29, pp. 1392-1403, 2011.
- [9] A. M. Alattar, "Reversible Watermark using the Difference Expansion of a Generalized Integer Transform," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, pp. 1147-1156, 2004.
- [10] S. W. Weng, Y. Zhao, and J. S. Pan, "A Novel Reversible Data Hiding Scheme," *International Journal of Innovative Computing Information and Control*, vol. 4, pp. 351-358, 2008.
- [11] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, and E. Saber, "Reversible Data Hiding," *Proceedings of International Conference on Image Processing 2*, pp. 157-160, 2002.
- [12] E. Maeland, "On The Comparison of Interpolation Methods," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 7, pp. 213-217, 1988.
- [13] X. Li and M. T. Orchard, "New Edge-Directed Interpolation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, pp. 1521-1527, 2001.
- [14] T. M. Lehmann, C. Gonner, and K. Spitzer, "Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing," *IEEE Transactions on Image Imaging*, vol. 18, pp. 1049-1075, 1999.
- [15] Y. L. H. Chin Feng Lee, "An Efficient Image Interpolation Increasing Payload in Reversible Data Hiding," *ELSEVIER Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 6712-6719, 2012.
- [16] A. Kadir and A. Susanto, "Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra," *Penerbit Andi Yogyakarta*, 2013.

IMPLEMENTASI GA UNTUK OPTIMASI GENERATOR UAP BERBASISKAN MODEL BPNN DI PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA

Liris Maduningtyas¹, Risanuri Hidayat², Litasari³, Teguh Handjoyo⁴, Hasballah⁵

Abstract—Control system in steam generator is a nonlinear process which is hard to model due to its multi input and multi output (MIMO) nature. Based on a steam generator model which has been developed in a previous research at PT Chevron Pacific Indonesia, an optimization model of the steam generator using genetic algorithm is carried out in this paper. The main purpose of the optimization is to minimize input parameters of the steam generator for particular output targets. The optimization result of the steam generator shows 5% saving on its fuel gas flow which will save its daily production cost. The optimization model can therefore be used as a reference for field operators at PT CPI.

Intisari— Sistem kendali pada generator uap merupakan proses nonlinear yang sulit dimodelkan karena memiliki masukan jamak dan keluaran jamak. Berdasarkan model generator uap yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya di PT. Chevron Pacific Indonesia, model optimasi generator uap dengan menggunakan algoritma optimasi dibahas pada makalah ini. Tujuan utamanya adalah meminimumkan parameter-parameter *input* generator uap agar didapatkan keluaran yang sesuai target. Hasil menunjukkan bahwa *fuel gas flow* dapat dihemat hingga 5 % sehingga dapat menghemat biaya produksi uap per harinya. Model optimasi selanjutnya dapat dijadikan referensi bagi operator lapangan pada PT. CPI.

Kata Kunci— pemodelan sistem, optimasi, algoritma genetika, generator uap

I. PENDAHULUAN

Generator uap (*boiler*) merupakan sebuah *plant* dalam industri yang berfungsi menghasilkan uap untuk digunakan dalam berbagai proses industri. Secara teknis, generator uap harus mampu menyuplai uap secara kontinyu dan sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Kelebihan suplai uap akan mempengaruhi efisiensi ekonomis sedangkan kekurangan suplai uap akan mengganggu jalannya proses secara keseluruhan.

Seiring dengan perkembangan teknologi komputer, sistem kendali mengalami perkembangan yang cukup pesat karena kecepatan komputasi yang tinggi memungkinkan algoritma

kendali yang rumit dapat diimplementasikan secara *real time*. Salah satu sistem kendali yang sedang berkembang adalah sistem kendali cerdas [1].

Sistem kendali pada generator uap merupakan proses nonlinear yang sulit dimodelkan. Generator uap memiliki masukan jamak dan keluaran jamak atau *multi input multi output* (MIMO). Dengan banyaknya jumlah masukan dan keluaran, pemodelan dengan sistem kontrol konvensional sulit dilakukan. Studi pemodelan generator uap dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan metode propagasi balik, sebagai salah satu bentuk kecerdasan buatan, pernah diterapkan di PT. CPI [2].

Pemodelan generator uap penting dilakukan agar sistem *input-output* generator uap dapat dioptimalkan. Optimisasi ialah suatu proses untuk mencapai hasil yang ideal atau optimum. Optimasi dari generator uap bertujuan untuk meminimalkan biaya produksi atau memaksimalkan efisiensi produksi.

Makalah ini membahas studi optimasi generator uap berdasarkan model yang pernah dibuat sebelumnya di PT CPI, yakni model jaringan syaraf tiruan, dengan menggunakan algoritma genetika. Jaringan syaraf tiruan pada dasarnya terinspirasi dari mekanisme otak manusia untuk belajar atau memproses informasi [3]. Sedangkan algoritma genetika merupakan metode sederhana untuk mencari solusi terbaik dari sekian banyak solusi yang ada dalam mencari nilai optimum suatu fungsi objektif, dimana mekanismenya berbasis pada seleksi alam [4].

Oleh karena itu, algoritma genetika diimplementasikan untuk mencari kombinasi dari *input* generator uap yang paling optimal agar didapatkan *output* yang sesuai target, sehingga didapatkan suatu optimasi sistem yang hasilnya dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk operasi di lapangan.

II. PERANCANGAN OPTIMASI SISTEM

Dalam perancangan optimasi sistem, yang pertama dilakukan adalah menentukan parameter-parameter optimasi. Sehingga perlu mencari fungsi objektif, sebagai parameter optimasi, diambil dari input dan output pada model generator uap model jaringan syaraf tiruan dengan pembelajaran propagasi balik (BPNN) yang sudah dikembangkan sebelumnya.

A. Model Generator Uap

Sistem generator uap dianggap sebagai *black box*, yaitu bagian persamaan uap proses di dalam generator uap dianggap tidak diketahui sehingga hanya menganalisa dari masukan dan luaran generator uap saja, relasi *input-output* tidak dinyatakan secara eksplisit dalam bentuk persamaan, pengetahuan (*knowledge*) mengenai relasi tersebut diperoleh

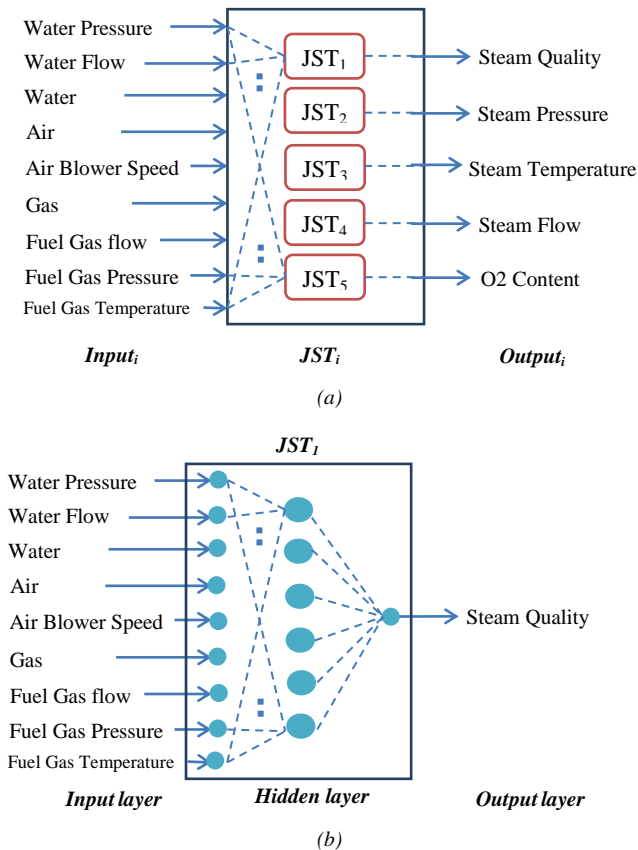
¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM), Jl. Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta, Mlati, Sleman, DIY 55281 (telp: 085729060355; e-mail: lirimaduningtyas@gmail.com)

^{2, 3}Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik UGM, Jl. Grafika No.2 Kampus UGM Yogyakarta, Mlati Sleman, DIY 55281 (telp: 0274-552305; e-mail: risanuri@jti.gadajmahmada.edu², litasari@yahoo.com³)

^{4, 5}Staff Intelligent Operation Center, Main Office, PT. Chevron Pacific Indonesia, Duri (email: hanjoyo@chevron.com⁴, hhie@chevron.com⁵)

melalui proses pembelajaran (*learning*) / pelatihan (*training*) berdasarkan nilai-nilai *input* dan *output* yang diberikan pada saat pelatihan. Model diperoleh dari pelatihan jaringan syaraf tiruan dengan pembelajaran propagasi balik dan dengan fungsi aktivasi sigmoid. Hasil pelatihan akan menghasilkan persamaan dengan nilai bobot tertentu.

Generator uap yang dimodelkan terdiri dari 9 input dan 5 output. Masing-masing *output* dimodelkan dengan satu BPNN seperti terlihat pada Gbr.1(a). Pada model BPNN, perancangan model generator uap dilakukan dengan tiga lapis lapisan. Lapisan masukan memiliki 9 *node*, lapisan tersembunyi memiliki 6 *node* dan lapisan keluaran memiliki 5 *node*, seperti terlihat pada Gbr.1(b) [2].



Gbr. 1 (a) Model generator uap berbasis jaringan syaraf tiruan, (b) Arsitektur model jaringan syaraf tiruan propagasi balik [2]

Berdasarkan Gbr. 1(a), generator uap yang dimodelkan terdiri dari 9 variabel masukan dan 5 variabel keluaran. Dengan data *real-time* generator uap yang berupa data historis, dilakukan pelatihan-pelatihan sehingga didapat suatu model yang telah diuji oleh PT. CPI. Hasil pemodelan melalui proses pelatihan JST ini adalah nilai bobot-bobot sambungan antar unit.

B. Rancangan Program Optimasi

Langkah awal yang dikerjakan adalah memilih jenis algoritma optimasi yang akan diimplementasikan untuk mencari solusi terbaik dari optimasi generator uap. Dalam hal ini, dipilih algoritma genetika sebab menurut [5], algoritma genetika adalah metode optimasi yang sangat praktis dan kuat. Algoritma genetika atau biasa disingkat GA (*Genetic Algorithms*) adalah metode optimisasi yang meniru dari

proses evolusi dan terinspirasi dari dua prinsip biologi, yaitu seleksi alam dan genetika [6].

Pada optimasi generator uap dengan multi-dimensi fungsi objektif ini, digunakan algoritma genetika kontinyu dengan representasi kromosom dalam bentuk *floating point*.

Berikut ini adalah komponen-komponen dari algoritma genetika yang mengacu pada [7].

1) Variabel

Sebelum memulai algoritma, jumlah variabel harus ditentukan (*nvar*). Jumlah *nvar* sesuai dengan jumlah variabel masukan generator uap, yakni 9 variabel masukan, dimana kombinasi ke-9 variabel masukan ini dijadikan keluaran dari program optimasi. Tiap variabel direpresentasikan dengan kromosom ($p_1, p_2, p_3, \dots, p_{nvar}$). Kumpulan dari kromosom disebut dengan individu, yang dalam algoritma didefinisikan sebagai array. Masing-masing individu memiliki bobot dari fungsi objektif.

$$individu = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_9] \tag{1}$$

$$bobot = f(individu) = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_9) \tag{2}$$

Algoritma optimasi pada umumnya memerlukan deklarasi batas variabel. Karena pada algoritma ini nilai kromosom menggunakan nilai *floating point*, maka digunakan nilai ternormalisir antara 0 – 1.

2) Populasi Awal

Untuk memulai algoritma genetika, yang pertama dilakukan adalah mendefinisikan populasi. Populasi berupa matriks dengan baris sebanyak ukuran populasi (*uk_pop*) dan kolom sebanyak jumlah variabel. Perancangan ini menggunakan ukuran populasi sebanyak 10. Untuk membuat populasi, digunakan fungsi random (dari 0 – 1) di Matlab.

$$populasi = rand(uk_pop, nvar) \tag{3}$$

Seperti yang telah didefinisikan pada batas variabel, pada variabel didenormalisasikan dengan rumus:

$$p = (p_{hi} - p_{lo}) * p_{norm} + p_{lo} \tag{4}$$

di mana,

p_{lo} = angka terendah dari batasan variabel

p_{hi} = angka tertinggi dari batasan variabel

p_{norm} = angka hasil normalisasi variabel

3) Seleksi dan penjodohan

Seleksi merupakan proses di mana individu-individu terkuat dari suatu populasi dipilih. Pada proses ini setiap individu dicari nilai bobot individunya dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan berbasis propagasi balik. Pada proses ini, bobot-bobot yang dihasilkan sebelumnya lewat pemodelan BPNN digunakan sebagai bobot-bobot tetap BPNN itu sendiri agar nilai bobot individu dapat dicari.

Individu-individu hasil seleksi nantinya akan menjalani proses *crossover* dan mutasi, sebab individu-individu ini merupakan individu dengan nilai bobot terbaik dari suatu populasi.

Individu-individu yang selamat dari proses seleksi nantinya akan dijodohkan agar menghasilkan individu baru yang mengisi baris individu yang gagal seleksi dalam matriks populasi.

4) Pindah silang atau crossover

Untuk menghasilkan keturunan, perlu adanya titik potong atau *crossover point* yaitu titik di mana kromosom dari individu mama bertukar dengan kromosom dari individu papa.

Angka titik potong ini dapat dipilih secara acak atau tetap. Dalam program, perkawinan dilakukan dengan titik potong

acak. Persamaan (5) menjelaskan titik potong yang dipilih secara acak.

$$\begin{aligned} keturunan_1 &= [p_{m1}, p_{m2}, p_{p3}, p_{m4}, p_{m5}, p_{m6}, \dots] \\ keturunan_2 &= [p_{p1}, p_{p2}, p_{m3}, p_{p4}, p_{p5}, p_{p6}, \dots] \end{aligned} \quad (5)$$

Masalah dengan metode titik potong ini adalah bahwa tidak ada informasi baru diperkenalkan, setiap nilai berkesinambungan yang secara acak dimulai pada populasi awal disebarkan ke generasi berikutnya, hanya dalam kombinasi yang berbeda.

Metode pencampuran mengatasi masalah ini dengan mencari cara untuk menggabungkan nilai-nilai variabel dari dua orang tua ke dalam variabel baru pada keturunannya. Sebuah nilai variabel keturunan tunggal, p_{new} , berasal dari kombinasi dari dua keturunan nilai variabel yang sesuai.

$$p_{new} = \beta \cdot p_{mn} + (1 - \beta)p_{pn} \quad (6)$$

di mana,

β = variabel dengan nilai random (0-1)

p_{mn} = variabel ke- n dari individu mama

p_{pn} = variabel ke- n dari individu papa

Untuk mencari titik potong secara acak, titik potong dicari dengan rumus di Matlab sebagai berikut,

$$\alpha = \text{ceil}(\text{rand} * \text{nvar}) \quad (7)$$

di mana α adalah titik potong acak.

Sehingga individu keturunan dapat dicari mengacu pada (8).

$$\begin{aligned} p_{new1} &= p_{ma} - \beta(p_{ma} - p_{pa}) \\ p_{new2} &= p_{pa} + \beta(p_{ma} - p_{pa}) \end{aligned} \quad (8)$$

5) Mutasi

Melalui perubahan acak dari beberapa gen, dijamin bahwa jika tidak ada individu yang mengandung nilai gen yang diperlukan untuk mencapai optimum, masih mungkin untuk mencapai nilai optimum dengan melakukan mutasi gen.

6) Generasi baru

Proses di atas dilakukan berulang hingga maksimum iterasi tercapai. Selain itu, proses dapat berhenti apabila bobot yang dicari kurang dari bobot minimal, yang berarti generasi baru mengalami kegagalan atau *stall*.

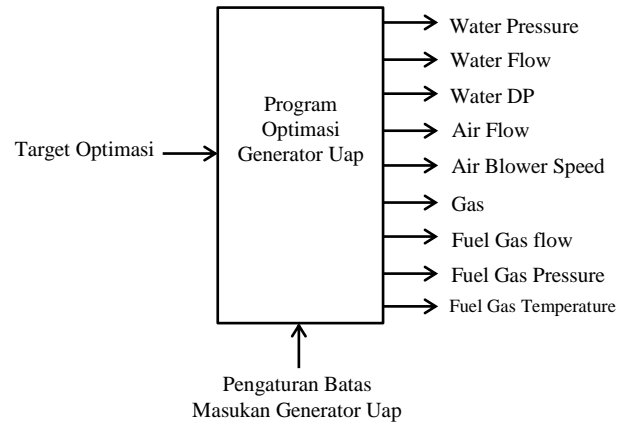
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dua pengujian dilakukan pada program optimasi:

1. Pengujian Perancangan Program, dimana tujuan pengujian ini adalah mencari rentang batasan variabel masukan generator uap yang tepat untuk dioptimalkan dan mencari jumlah target maksimal agar kesalahan tiap target tidak terlalu besar.
2. Pengujian dengan Meminimumkan Masukan, tujuannya adalah mendapatkan kombinasi masukan generator uap yang paling sesuai dengan salah satu variabel masukan, yakni *fuel gas flow* diminimumkan untuk mencapai target yang ditentukan, yakni target *steam quality* dan *steam flow*.

A. Hasil Pengujian Perancangan Program

Skema pengujian perancangan program dapat dilihat pada Gbr.2. Pada gambar tersebut, masukan dari program optimasi adalah target keluaran dari generator uap, sedangkan yang menjadi keluaran dari program optimasi adalah kombinasi masukan generator uap. Pengaturan dari batasan variabel masukan generator uap juga dijadikan *input* untuk program optimasi itu sendiri.



Gbr. 2 Skema program optimasi generator uap

1) Target Keluaran Tunggal

Pada pengujian target keluaran tunggal maupun jamak, yang membedakan adalah jumlah target optimasi. Untuk pengujian dengan target keluaran tunggal, tujuannya adalah mencari mana yang lebih baik antara pembebasan variabel atau pembatasan variabel masukan saat melakukan optimasi program.

TABEL1
RENTANG NORMALISASI DATA MASUKAN GENERATOR UNTUK SEMUA KONDISI DAN KONDISI STABIL

Masukan	Semua kondisi		Kondisi Stabil	
	Min	Maks	Min	Maks
Water flow (WF)	0	110	95	110
Water pressure (WP)	250	1200	800	1200
Water DP (WD)	0	170	150	170
Air blower speed (AB)	0	93	70	85
Air flow (AF)	2000	13980	11000	13980
Gas valve (GV)	0	73	50	73
Fuel gas pressure (FGP)	35	60	35	45
Fuel gas temperature (FGT)	50	110	55	110
Fuel gas flow (FGF)	0	1270	1000	1270

Untuk pengujian dengan pembebasan variabel, artinya batasan variabel tidak diganti, tetap pada rentang batas masukan generator pada saat pemodelan yakni pada saat generator uap berada di semua kondisi, seperti terlihat pada Tabel 1. Sehingga pembangkitan populasi tetap pada rentang 0-1.

TABEL2
HASIL *RUNNING* PROGRAM OPTIMASI DENGAN TARGET *STEAM QUALITY* 73% TANPA ADA BATASAN VARIABEL

Variabel Masukan	Hasil Variabel Masukan	
	Data Historis	Pengujian GA
WF	100.64	61.94
WP	1098.18	1061.22
WD	159.91	117.12
AB	81.85	71.44
AF	12506	10918
GV	62.61	47.73
FGP	38.18	59.01
FGT	72.48	57.35
FGF	1211.3	947.38

Tabel 2 menunjukkan hasil optimasi dengan target tunggal *steam quality* 73% dengan variabel yang tidak dibatasi. Dari tabel tersebut tampak bahwa sesilih hasil optimasi untuk kombinasi variabel masukan generator uap cukup jauh bila dibandingkan dengan kombinasi masukan generator uap yang menghasilkan *steam quality* 73%.

Hal ini disebabkan karena algoritma genetika mencari suatu puncak solusi dari sekian banyak puncak. Pada data historis, ada banyak kombinasi masukan yang menghasilkan keluaran *steam quality* 73%. Kolom "Data Historis" pada Tabel 2 merupakan salah satu kombinasi masukan dari data historis generator uap yang menghasilkan *steam quality* sebesar 73%. Sedangkan kolom "Pengujian GA" pada Tabel 2 merupakan salah satu hasil running program untuk target *steam quality* 73%.

Selain itu, pada pengujian Tabel 2, kondisi dari setiap hasil variabel masukan tidak menunjukkan kondisi generator uap saat kondisi nyala stabil. Ini karena dalam pemodelan diajarkan semua kondisi generator uap, mulai dari mati, *starting*, hingga kondisi nyala stabil. Sehingga variabel masukan generator sendiri harus dituntun sesuai dengan rentang variabel masukan yang menyatakan kondisi generator uap nyala stabil.

TABEL3

HASIL RUNNING PROGRAM OPTIMASI DENGAN TARGET STEAM QUALITY 73% DENGAN BATASAN VARIABEL

Variabel Masukan	Hasil Variabel Masukan	
	Data Historis	Pengujian GA
WF	100.64	103.7
WP	1098.18	1078.2
WD	159.91	162
AB	81.85	77.5
AF	12506	12329
GV	62.61	57.9
FGP	38.18	36.7
FGT	72.48	93.1
FGF	1211.3	1211.4

Sesuai dengan Tabel 1, untuk pengujian dengan pembatasan variabel, pembangkitan populasi dibatasi nilainya sesuai dengan rentang nilai ternormalisir dari nilai rentang batas variabel masukan generator uap pada kondisi stabil. Sehingga pembangkitan populasi tidak dari 0-1, namun sesuai normalisasi rentang yang dibatasi.

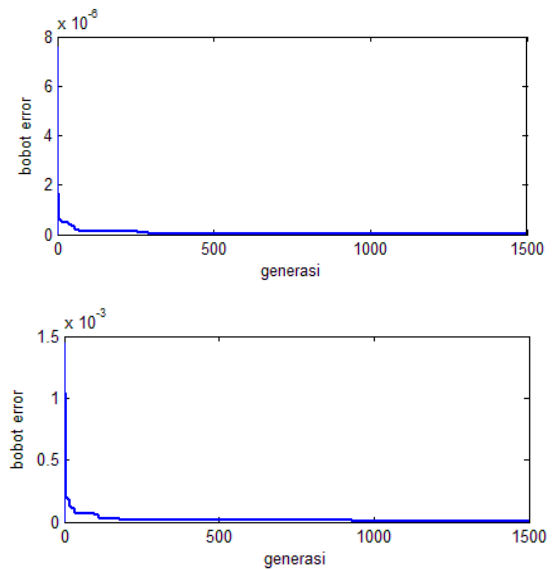
Tabel 3 menunjukkan pengujian program optimasi dengan target *steam quality* 73% dengan variabel masukan generator uap yang dibatasi rentangnya sesuai dengan kondisi stabilnya (lihat Tabel 1). Hasil variabel masukan yang ditunjukkan Tabel 3 menunjukkan perbedaan harga untuk data historis dan pengujian GA cukup kecil.

2) Target Keluaran Jamak

Pada pengujian perancangan program dengan keluaran jamak, tujuannya adalah untuk mengetahui jumlah target maksimum yang memperlihatkan hasil optimasi dengan kesalahan yang dapat ditolerir.

Gbr. 3 menunjukkan grafik hasil optimasi untuk nilai bobot kesalahan kuadrat yang menjadi fungsi objektif dari algoritma genetika, dengan dua target keluaran dan 4 target keluaran. Terlihat bahwa semakin banyak target optimasi, semakin

membutuhkan banyak generasi untuk mencapai nilai kesalahan kuadrat yang minimum.



Gbr. 3 Plot grafik bobot kesalahan setiap untuk keluaran 2 target (atas) dan 4 target (bawah)

TABEL4

HASIL PENGUJIAN NILAI RMSE DAN KESALAHAN RELATIF (%) UNTUK OPTIMASI DENGAN TARGET KELUARAN JAMAK

Jumlah target		2 target	3 target	4 target
SQ	RMSE	0.0014618	0.0070825	0.0127309
	Error %	0.002%	0.010%	0.017%
SF	RMSE	0.288191	2.334302	4.897134
	Error %	0.008%	0.067%	0.140%
SP	RMSE		0.048074	0.0965982
	Error %		0.007%	0.015%
ST	RMSE			0.024455
	Error %			0.005%

Tabel 4 menunjukkan selisih Root Mean Square Error (RMSE) dan persen kesalahan relative (Error %) antara nilai target keluaran dengan nilai keluaran yang sama pada data historis, untuk jumlah target yang berbeda. Pada Tabel 4, SQ merupakan *steam quality output*, SF merupakan *steam flow output*, SP merupakan *steam pressure output* dan ST merupakan *steam temperature output*. Terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya target keluaran, maka nilai RMSE dan kesalahan relatif akan semakin besar, dan dengan semakin banyaknya target keluaran maka akan ada target keluaran yang tidak mencapai optimumnya. Hal ini tampak seperti pada kolom "4 target", terlihat salah satu dari target keluaran yaitu SF mempunyai persen kesalahan yang jauh lebih besar dari target yang lain.

Hasil dari pengujian ini adalah ditentukan bahwa jumlah target maksimal adalah 3 target. Dua target selanjutnya ditetapkan berupa target keluaran generator uap yang diinginkan, sedangkan satu target akan digunakan menjadi target untuk meminimumkan salah satu variabel masukan.

B. Hasil Pengujian dengan Meminimumkan Masukan

Pengujian dengan meminimumkan masukan bermaksud untuk mencari nilai minimum salah satu variabel, dengan tetap

mempertahankan target keluaran. Sehingga fungsi objektif yang sebelumnya hanyalah meminimumkan nilai kesalahan target keluaran, sekarang ditambahkan dengan meminimumkan salah satu variabel masukan.

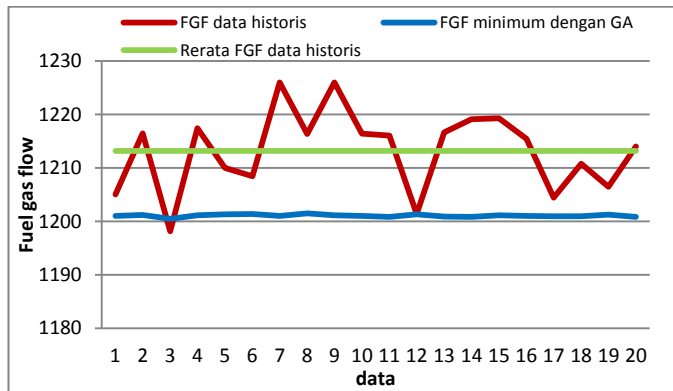
Untuk pengujian ini, optimasi dibatasi untuk dua target, yaitu SQ dan SF. Sedangkan variabel yang ingin diminimumkan adalah *fuel gas flow* (FGF). Dipilih variabel ini karena FGF merupakan variabel masukan yang memiliki nilai ekonomis. Artinya dengan meminimumkan FGF, diharapkan program optimasi dapat menghemat bahan bakar dari *steam generator*.

1) Pengujian dengan mengunci nilai variabel yang tidak diminimumkan

Pengujian ini bertujuan untuk meminimumkan FGF dengan target SQ 73% dan SF 3453 BWPD. Untuk itu perlu adanya data historis dengan keluaran SQ dan SF mendekati nilai target. Pada pengujian ini diambil 20 data historis yang sesuai dengan target.

Dengan 20 data historis, akan dilakukan percobaan 20 kali agar didapat hasil optimasi algoritma genetika sebanyak 20 data. Data optimasi ini menggunakan batasan variabel yang dikunci. Artinya, variabel selain FGF dikunci nilainya dengan nilai rata-rata dari ke-20 data historis. Selain itu, dalam 20 percobaan, target SQ dan SF dibuat sama.

Gbr. 4 menunjukkan grafik perbandingan nilai FGF pada data historis dengan FGF minimum hasil *running* program algoritma genetika dengan kondisi variabel terkunci. Pada grafik tersebut, penurunan nilai FGF tidak terlalu signifikan yakni dari rata-rata FGF di data historis sebesar 1213 MSCFD menjadi 1201 MSCFD. Penurunan FGF dengan variabel lain yang terkunci mencapai 1 % penurunan.



Gbr. 4 Grafik pengujian meminimumkan *fuel gas flow* dengan variabel lain yang terkunci dengan target *steam quality* 73% dan *steam flow* 3453 BWPD

2) Pengujian dengan membatasi nilai variabel yang tidak diminimumkan

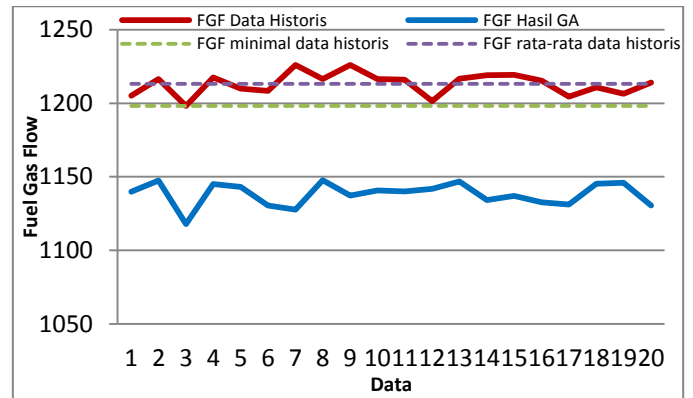
Sama seperti pengujian meminimumkan nilai FGF dengan variabel lain terkunci, pengujian pini menargetkan dua keluaran yakni SQ 73% dan SF 3453 BWFD. Yang membedakan dengan pengujian sebelumnya adalah bahwa pada pengujian ini nilai variabel selain FGF dibatas sesuai rentang nilai maksimum dan minimum dari setiap variabel sesuai dengan nilai maksimum dan minimum pada sampel data historis sebagai pembandingnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

TABEL5

RENTANG NORMALISASI DATA MASUKAN GENERATOR UNTUK KONDISI SESUAI SAMPEL DATA HISTORIS

Masukan	Kondisi sesuai sampel data historis	
	Min	Maks
<i>Water flow</i>	100.88	101.48
<i>Water pressure</i>	1082.26	1105.15
<i>Water DP</i>	160.51	162.2
<i>Air blower speed</i>	80.79	82.55
<i>Air flow</i>	12384.1	12667.3
<i>Gas valve</i>	61.08	65.79
<i>Fuel gas pressure</i>	38.14	39.13
<i>Fuel gas temperature</i>	61.61	91.67
<i>Fuel gas flow</i>	1198.16	1226.01

Gbr. 5 menunjukkan grafik perbandingan nilai FGF pada data historis dengan FGF minimum hasil *running* algoritma genetika dengan kondisi variabel terbatas. Pada grafik tersebut, nilai FGF yang diminimumkan mengalami penurunan yang lebih tinggi dari pada yang terlihat pada Gbr. 4.



Gbr. 5 Grafik pengujian meminimumkan *fuel gas flow* dengan variabel lain terbatas sesuai batas pada Tabel 5 dengan target *steam quality* 73% dan *steam flow* 3453 BWPD

Nilai FGF minimum di data historis sebesar 1198 MSCFD, nilai ini berhasil diminimumkan mencapai ± 1138 MSCFD. Menurut hasil *running* program optimasi sebanyak 20 kali, penurunan FGF sebanyak 5 % dihitung dari nilai minimum FGF pada data historis dan penurunan FGF sebanyak 6,18 % dihitung dari nilai rata-rata FGF pada data historis. Penurunan FGF dengan algoritma genetika di mana variabel lain terbatas ini dicapai dengan kesalahan rata-rata relatif dari target SQ sebesar 0,108 % dan SF sebesar 0,015 %.

D. Analisis Keuntungan

Analisis berikut ini adalah melihat seberapa besar penghematan dapat dicapai dengan mengimplementasikan program optimasi ini ke dalam *real steam generator*.

Dalam kasus pada analisis ini, yang menjadi fungsi objektif adalah, menargetkan SQ sebesar 73% dengan SF 3453 BWFD dan meminimumkan variabel FGF yang merupakan bahan bakar gas sebagai bahan bakar generator uap yang memiliki nilai ekonomis.

Satu generator uap rata-rata perharinya menghasilkan gas (dihitung dari rata-rata nilai SF) sebanyak 3453 BWFD. Ambil rata-rata FGF pada data historis sebesar 1213 MSCFD.

$$1 \text{ MSCFD} = \frac{\text{rerata SQ}}{\text{rerata SF}} \text{BWFD}$$
$$\alpha = \frac{\text{rerata SQ}}{\text{rerata SF}} \cdot X \quad (9)$$

Dimana α adalah harga untuk memproduksi 1 BWFD/MSCFD dan X adalah harga untuk memproduksi 1 BWFD uap.

Jika P_{aktual} merupakan harga produksi satu generator dalam sehari, dengan mengambil rata-rata FGF sebesar 1213 MSCFD, maka:

$$P_{\text{aktual}} = \text{rerata SF} \times \alpha \quad (10)$$

Dengan program optimasi, FGF dapat diminimumkan hingga 6,18 % dari 1213 MSCFD menjadi 1142 MSCFD. Harga produksi dapat hemat sebesar P_{optimasi} .

$$P_{\text{optimasi}} = \text{SF minimal} \times \alpha \quad (11)$$

Dengan program optimasi, biaya produksi uap dapat dihemat hingga 213 X \$ per generator uap, per harinya.

IV. KESIMPULAN

Optimasi berbasis algoritma genetika pada model generator uap berbasis jaringan syaraf tiruan menggunakan data lapangan di PT. Chevron Pacific Indonesia berhasil dilakukan.

Sistem optimasi yang dirancang berhasil mencari kombinasi nilai masukan yang paling optimal untuk target keluaran yang diinginkan. Sistem bekerja dengan baik untuk optimasi tidak lebih dari tiga target keluaran.

Optimasi juga berhasil untuk meminimalkan salah satu variable masukan, untuk target keluaran yang diinginkan. Dengan optimasi tersebut, dapat dicapai penghematan masukan FGF sebesar 5 sampai 6.18% yang berdampak pada penghematan biaya operasional *steam generator*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D., Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian ini. Terima kasih juga diberikan kepada Bapak Eko Budiyo, *Team Leader Steam and Water Optimization* yang telah banyak memberika masukan guna membantu berhasilnya penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Ana, Dwi. *Sistem Kendali Cerdas*. Yogyakarta: Graha Ilmu. 2011.
- [2] Annisa, Fadhli. *Pemodelan Sistem Kendali Generator Uap dengan Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik* (Laporan Tugas Akhir). Duri: PT. Chevron Pacific Indonesia. 2014.
- [3] Wright, Sarah. "Artificial Intelligence Techniques for Steam Generator Modelling." South Africa: School of Electrical and Information Engineering. 2008.
- [4] Fang, Zhang. "Application Research of the Genetic Algorithm on the Intelligent Test Paper Composition of Examination Database." ICAIC, Part IV. 2011.
- [5] Golub, Marin. "An Implementation Of Binary And Floating point Chromosome Representation In Genetic Algorithm." Kroasia: University of Zagreb.
- [6] Coley, A David. *An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers*. Singapore: World Scientific Publishing. 1999.
- [7] Haupt, Randy; & Haupt, Sue. *Practical Genetic Algorithms* (2nd ed). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2004.

Pengenalan Wajah dengan Menggunakan Dimensi Fraktal dan Neural Network

Dedy Suryadi¹, Risanuri Hidayat², Hanung Adi Nugroho³

¹Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Teknik Elektro FT UGM

^{2,3} Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro FT UGM

Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 Indonesia

¹dedy_S3_09@mail.ugm.ac.id

²risanuri@te.ugm.ac.id

³hanung@te.ugm.ac.id

Abstract— In this paper we propose a new and efficient texture feature extraction method in face recognition using fractal dimension and Neural Network. Proposed methodology is feature extraction using fractal dimension and recognition using the feed forward back propagation Neural Network (BPNN). The extraction algorithm consists in decomposing the input image into a set of binary images from which the fractal dimensions of the resulting regions are computed in order to describe segmented texture patterns. The decomposition of the input image is achieved by the Threshold Binary Decomposition (TBD) algorithm, which we also propose in this work. Experiments on ORL face database displayed promising results. Test results gave a recognition rate of 98.3% for ORL face database.

Keywords- Recognition, Fractal Dimension, Back Propagation, Neural Network

I. PENDAHULUAN

Meskipun pengenalan wajah manusia secara otomatis menjadi subjek bidang penelitian sering dilakukan selama beberapa dekade, namun selalu ada permasalahan yang menantang terutama masalah waktu komputasi karena kompleksitas dari wajah manusia. Seperti variabilitas ekspresi wajah, posisi wajah, kondisi pencahayaan dan data yang besar dari wajah manusia, karena citra wajah yang dikompresi akan kehilangan informasi tertentu [1].

Telah banyak muncul pendekatan berbasis pengenalan wajah yang diusulkan seperti *Eigenfaces* berdasarkan *Principal Component Analysis* (PCA), yang diberikan oleh Turk dan Pentlands [2]. Ide utama dibalik penggunaan PCA ini adalah untuk mengurangi dimensi yang *non-repetitive* dalam citra dataset, dengan nilai-nilai Eigen yang rendah. Kemudian ICA yang dikembangkan berdasarkan ruang *kernel Hilbert*, bekerja dengan sifat citra wajah *non-Gaussian* [3]. PCA berbasis kernel [4] diperkenalkan untuk meningkatkan kecepatan pengakuan.

Ada suatu pendekatan fraktal untuk pengenalan wajah menggunakan *fractal neighbor distance*[5], yang didasarkan pada fraktal pengkodean citra dan IFS (*Iterated Function Systems*) [6], yang meng-komputasi secara intensif. Kemudian metode yang dapat digunakan untuk mengekstraksi citra menjadi fitur ciri, yakni *fractal dimension* (FD) oleh Lihong Zhao[1], yakni sebuah citra wajah grayscale dapat dibagi menjadi banyak blok *non-overlapping* dan dimensi fraktal dapat dihitung dalam setiap blok tunggal.

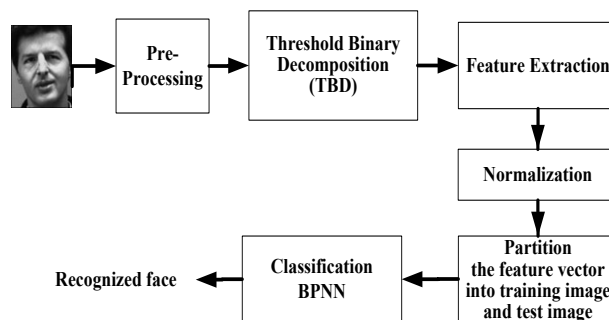
Dalam tulisan ini, Teknik ekstraksi ciri disajikan menggunakan dimensi fractal dan *neural network*, tentunya sedikit berbeda dengan pendekatan yang telah di jelaskan

dias. Ekstraksi ciri citra wajah menggunakan dimensi fraktal berbasis segmentasi. Algoritma ekstraksi ciri terdiri atas dekomposisi citra wajah ke dalam satu set citra biner dimana dimensi fraktal daerah perbatasan dihitung mulai dari pola tekstur tersegmentasi. Selanjutnya hasil dimensi fractal dari citra wajah, dihitung standar deviasi yang nantinya menjadi tambahan output ekstraksi ciri yang digunakan dalam klasifikasi citra wajah.

Dimensi fraktal adalah representasi yang efisien tekstur yang dapat menghadapi perubahan penampilan wajah. Pada analisis tekstur citra wajah bagaimanapun, biasanya merupakan proses yang sangat memakan waktu. Untuk itu dalam tulisan ini, yang menjadi permasalahan adalah bagaimana mengatasi masalah waktu komputasi dalam analisis tekstur. Hal yang cukup sulit dari sistem pengenalan wajah adalah bagaimana membuat sebuah sistem pengenalan wajah yang cepat (mendekati waktu nyata) dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Untuk mencapai hal tersebut maka perlu dibuat sistem pengenalan wajah yang cepat dan tingkat akurasi yang tinggi sehingga wajah dapat dikenali dengan cepat dan tepat. Tujuan dari proyek ini adalah untuk merancang algoritma yang efisien untuk fitur ekstraksi untuk pengenalan wajah menggunakan dimensi fraktal dan analisis pengakuan menggunakan *Neural Network*.

II. METODOLOGI

Sistem pengenalan wajah pada penelitian ini terdiri dari pre-processing, *Threshold Binary Decomposition* (TBD), *Feature Extraction*, *Normalization*, Partisi vector fitur menjadi citra pelatihan dan citra test dan klasifikasi dengan BPNN. Pada penelitian ini,



Gambar 1. Diagram block sistem pengenalan wajah

A. Pre-Processing

Preprocessing citra wajah adalah tahap pertama dalam sistem pengenalan wajah. Preprocessing dilakukan terhadap citra wajah dari seluruh bagian kepala seseorang. Juga, normalisasi ukuran dan perbaikan citra wajah ini merupakan kebutuhan sistem yang diusulkan sebelum ekstraksi fitur. Langkah-langkah utama tahap preprocessing adalah sebagai berikut:

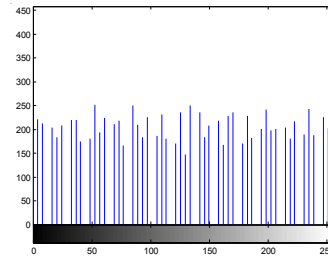
- *Image cropping* adalah proses pemotongan citra pada koordinat tertentu pada area citra. Untuk memotong bagian dari citra digunakan dua koordinat, yaitu koordinat awal yang merupakan awal koordinat bagi citra hasil pemotongan dan koordinat akhir yang merupakan titik koordinat akhir dari citra hasil pemotongan. Sehingga akan membentuk bangun segi empat yang mana tiap-tiap pixel yang ada pada area koordinat tertentu akan disimpan dalam citra yang baru.
- Konversi Citra RGB ke *Grayscale* merupakan konversi data citra menjadi format grayscale. Tujuannya adalah untuk mengkondisikan format citra agar sesuai dengan proses selanjutnya, yaitu proses segmentasi dengan metode thresholding.
- Peningkatan kontras citra *grayscale* dilakukan dengan menggunakan *histogram equalization*. *Histogram equalization* adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk preprocessing. Dalam pengolahan citra, gagasan *histogram equalization* adalah untuk meregangkan dan mendistribusikan histogram asli menggunakan seluruh rentang tingkat diskrit citra, sedemikian rupa sehingga terjadinya peningkatan kontras citra dicapai. Teknik histogram normalisasi yang paling umum digunakan adalah *histogram equalization* dimana salah satu upaya untuk mengubah histogram citra menjadi histogram yang konstan untuk semua nilai kecerahan. Hal ini akan sesuai dengan distribusi kecerahan di mana semua nilai yang kemungkinan sama. Untuk citra $I(x, y)$ dengan diskrit k nilai abu-abu histogram didefinisikan sebagai probabilitas terjadinya tingkat abu-abu i diberikan oleh,

$$p(i) = \frac{n_i}{N} \tag{1}$$

dimana $i \in 0, 1 \dots k-1$ tingkat keabuan dan N adalah total jumlah piksel dalam citra. Transformasi pada nilai intensitas yang baru diberikan:

$$I_{out} = \sum_{i=0}^{k-1} \frac{n_i}{N} = \sum_{i=0}^{k-1} p(i) \tag{2}$$

Nilai output dari domain $[0, 1]$. Untuk mendapatkan nilai piksel ke domain asli, harus *rescaled* oleh nilai $K-I$. Citra 2 dan Citra 3 menunjukkan ekualisasi histogram



Gambar 2. Grafik histogram citra setelah ekualisasi histogram



Gambar 3. Citra wajah sebelum dan setelah ekualisasi histogram

B. Threshold Binary Decomposition

Dalam metode ekstraksi fitur yang diusulkan. Algoritma ekstraksi ciri menghitung pengukuran fraktal dari sekumpulan citra biner yang diperoleh dari input citra *grayscale* dengan menggunakan algoritma dekomposisi biner [7]. Model dari algoritma dekomposisi biner yakni input citra grayscale I sebagai fungsi 2D $I(x, y)$, dimana $I(x, y) \in \{1, 2, \dots, n_l\}$. $I(x, y)$ disebut nilai grayscale atau intensitas pixel pada posisi (x, y) . Citra masukan ini terurai dengan menerapkan operasi thresholding berturut-turut. Ketika citra $I(x, y)$ adalah pengembangan oleh nilai $t \in \{1, \dots, n_l\}$, citra biner diperoleh. Yaitu[8]:

$$I_b(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(x, y) \geq t \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \tag{3}$$

dimana $I_b(x, y)$ adalah citra biner yang diperoleh dengan ambang t . Untuk citra asli yang diberikan, terdapat n_l citra biner yang berpotensi berbeda. Set citra biner ini disebut sebagai *stack* citra biner. Namun, untuk menghindari penggalian informasi berlebihan, algoritma pengukuran fraktal tidak menggunakan semua kemungkinan nilai ambang batas untuk mendapatkan set citra biner. Sebaliknya, strategi memilih ambang batas spasi yang sama diadopsi:

$$t_i = \left\lfloor \frac{n_l}{n_t + 1} \cdot i \right\rfloor, \quad i = 1, 2, \dots, n_t \tag{4}$$

mana n_t adalah parameter pengguna yang didefinisikan sebagai jumlah nilai batas ambang.

Threshold Binary Dekomposisi (TBD) mengambil input citra *grayscale* $I(x, y)$ dan mengembalikan sekumpulan citra biner. Langkah pertama TBD terdiri menghitung sekumpulan T nilai ambang batas. Dalam *stack* dekomposisi biner yang dijelaskan di atas, himpunan nilai ambang batas diperoleh dengan memilih spasi yang sama nilai tingkat keabuan. Metode TBD menggunakan citra input distribusi informasi tingkat keabuan untuk menghitung set ambang batas. Hal ini dicapai dengan menggunakan algoritma multi-level Otsu [9].

Algoritma multi-level Otsu terdiri dalam mencari ambang batas yang meminimalkan varians citra input

intra-kelas. Kemudian, secara rekursif, algoritma Otsu diterapkan untuk masing-masing daerah citra sampai angka yang diinginkan dari ambang batas n_t yang diperoleh, di mana n_t adalah parameter yang ditetapkan pengguna. Langkah selanjutnya dari algoritma TBD terdiri dalam dekomposisi citra masukan *grayscale* $I(x, y)$ ke dalam satu set citra biner.

Citra 4 mengilustrasikan dekomposisi dari suatu wilayah yang diambil dari basis data citra wajah ORL menggunakan algoritma TBD. Set yang dihasilkan mengilustrasikan dekomposisi dari suatu wilayah yang diambil dari basis data citra wajah ORL dari citra biner diperoleh dengan menggunakan $n_t = 5$. Suatu sifat penting dari TBD adalah bahwa mengatur citra biner yang diperoleh merupakan superset dari semua citra biner yang akan diperoleh dengan menerapkan segmentasi satu threshold (Persamaan 3) dengan menggunakan ambang batas yang dihitung dengan algoritma Otsu bertingkat.

Dasar pemikiran untuk menggunakan pasangan ambang batas untuk menghitung set citra biner adalah obyek segmen yang lain tidak akan tersegmentasi oleh segmentasi threshold biasa. Hal ini terutama berlaku untuk objek dan struktur yang tingkat abu-abu terletak pada rentang tengah histogram citra masukan. Dengan menggunakan pasangan nilai ambang batas dimungkinkan untuk mengekstrak wilayah informasi dari *medium brightness chips* yang tidak akan tersegmentasi oleh nilai ambang tunggal



Nilai Threshold bawah=0.625
Nilai Threshold atas=1

Gambar 4. a. citra asli b. Ilustrasi dari dekomposisi dari suatu wilayah yang diambil dari basis data citra wajah ORL

C. Feature Extraction

Setelah menerapkan *Threshold Binary Decomposition* pada citra masukan *level grayscale*, vektor segmentasi berdasarkan dimensi fraktal dibangun akan menghasilkan ukuran citra biner, rerata *level grayscale* dan standar deviasi dimensi fraktal. Pengukuran fraktal yang digunakan untuk menggambarkan kompleksitas batas objek dan struktur tersegmentasi dalam citra masukan. Daerah batas citra biner $I_b(x, y)$ direpresentasikan sebagai citra border dilambangkan dengan $\Delta(x, y)$ dan dihitung sebagai berikut:

$$\Delta(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } \exists (x', y') \in N_8[(x, y)]: \\ & I_b(x', y') = 0 \\ & I_b(x, y) = 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

dimana $N_8[(x, y)]$ adalah himpunan piksel yang 8-terhubung ke (x, y) . $\Delta(x, y)$ mengambil nilai 1 jika piksel

pada posisi (x, y) dalam citra biner $I_b(x, y)$ memiliki nilai 1 dan memiliki setidaknya satu piksel tetangga dengan nilai 0. Jika tidak, $\Delta(x, y)$ mengambil nilai 0. Oleh karena itu, dapat disadari bahwa *border* yang dihasilkan lebarnya satu piksel. Fraktal Dimensi D dihitung dari masing-masing citra *border* menggunakan algoritma dimensi fraktal Hausdorff.

1) Hausdorff Dimension algorithm.

Dalam analisis citra, pengukuran dimensi fraktal dapat digunakan untuk memperkirakan dan mengukur kompleksitas bentuk atau tekstur dari objek [10][11]. Geometri fraktal melibatkan berbagai pendekatan untuk menentukan pecahan dimensi, di mana yang paling umum adalah dimensi Hausdorff ini. Mengingat objek yang memiliki Euclidean dimensi E , D_0 dimensi fraktal Hausdorff dapat dihitung dengan ekspresi berikut:

$$D_0 = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\epsilon)}{\log \epsilon^{-1}} \quad (6)$$

Dimana $N(\epsilon)$ adalah penghitungan *hyper-cubes* dimensi E dan panjang ϵ yang mengisi objek. Jika kita menganggap suatu objek diwakili oleh citra biner I_b , sebuah pendekatan D untuk D_0 dapat diperoleh melalui algoritma *box-counting*. Tanpa kehilangan suatu keadaan, algoritma untuk kasus 2D dapat digambarkan sebagai berikut. Awalnya, citra tersebut dibagi ke dalam grid yang terdiri dari kotak berukuran $\epsilon \times \epsilon$. Langkah berikutnya menghitung jumlah $\bar{N}(\epsilon)$ dari kotak yang berukuran $\epsilon \times \epsilon$ yang mengandung setidaknya satu piksel objek. Dengan memvariasikan nilai ϵ , dimungkinkan untuk membuat kurva $\log \bar{N}(\epsilon)$ vs $\log \epsilon^{-1}$. Akhirnya, kurva ini didekati dengan garis lurus menggunakan metode *line fitting* (misalnya *least squares fitting*). Dimensi Fraktal D sesuai dengan kemiringan garis ini.

D. Normalization

Dalam percobaan ini teknik normalisasi yang digunakan adalah Normalisasi min-max. Normalisasi Min-max melakukan perubahan linear pada data asli. Nilai-nilai yang dinormalisasi dalam kisaran tertentu, perhitungan diberikan oleh;

$$x' = \frac{(x_{\max} - x_{\min})(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} + x_{\min} \quad (7)$$

Dimana $(x_{\max} - x_{\min}) = 0$. Ketika $(x_{\max} - x_{\min}) = 0$ untuk fitur, ini menunjukkan nilai konstan untuk fitur dalam data. Ketika nilai fitur ditemukan dalam data dengan nilai konstan, itu harus dihapus karena tidak memberikan informasi ke jaringan saraf (*neural network*).

Ketika normalisasi min max diterapkan, masing-masing fitur akan berada dalam kisaran nilai baru yang sama. Normalisasi Min-max memiliki keunggulan menjaga semua hubungan dalam data. Setelah normalisasi fitur vektor, lalu menentukan standar deviasi sebelum dilanjutkan ke tahap klasifikasi.

1) Standar deviasi

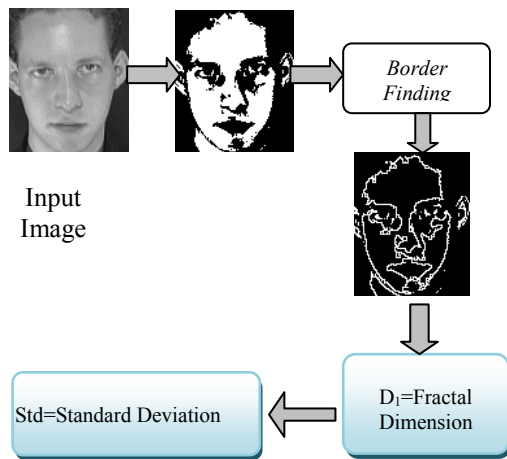
Standar deviasi dari vektor fitur melengkapi informasi yang diambil dari masing-masing citra biner tanpa

meningkatkan secara signifikan waktu komputasi. Selain itu, dimensi fraktal vektor dimensi diperoleh TBD dikalikan dengan deviasi standar. deviasi standar diberikan oleh;

$$std = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \mu)^2} \quad (8)$$

Dimana v_i adalah vektor fitur citra dan μ adalah rata-rata vektor fitur citra. N Total vektor fitur citra.

Gambar 5 Ilustrasi dua pengukuran diambil dari masing-masing citra biner. Vektor fitur akan dikalikan dengan deviasi standar, sehingga akan menjadi vektor fitur baru yang diperoleh sebagai masukan untuk jaringan saraf.



Gambar 5. Ilustrasi dua pengukuran dari citra biner

E. Klasifikasi

1) Neural Network

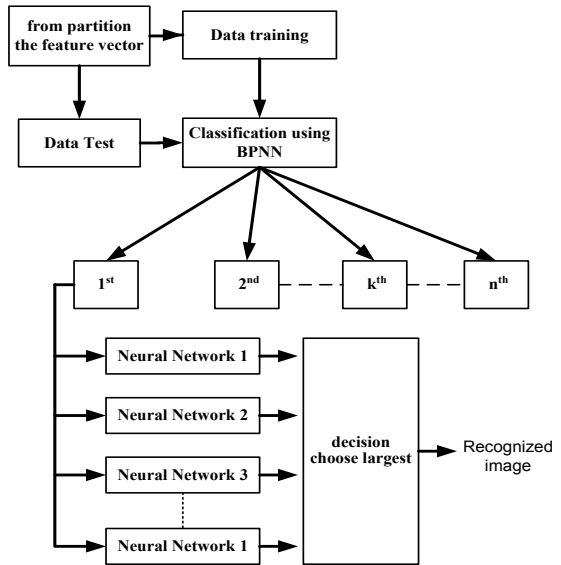
Pada tahap klasifikasi, penelitian ini menggunakan *Backpropogation Neural Network* (BPNN). Klasifikasi yang dilakukan untuk setiap orang dalam database, di mana deskriptor wajah yang digunakan sebagai masukan untuk melatih jaringan [3]. Selama pelatihan dari BPNN ini, deskriptor wajah milik orang yang sama digunakan sebagai contoh positif bagi jaringan orang (seperti jaringan memberikan 1 sebagai output), dan contoh negatif untuk jaringan lain (jaringan seperti memberikan 0 sebagai output).

Citra test diambil untuk pengenalan dan deskripsi wajahnya diperoleh dari partisi vektor fitur yang dilakukan sebelumnya. Deskriptor baru ini diberikan sebagai masukan untuk setiap jaringan, langkah lebih lanjut jaringan ini disimulasikan. Perbandingan hasil dari simulasi dan jika output maksimum melebihi ambang batas yang telah ditetapkan, maka dipastikan bahwa wajah baru dengan output maksimum ini adalah milik orang yang diakui. Gambar. 6 menunjukkan diagram blok untuk pelatihan jaringan.

Jumlah jaringan yang digunakan sama dengan sejumlah subjek dalam database. Parameter awal dari Neural Network digunakan dalam percobaan diberikan di bawah ini:

Jumlah unit masukan = 1 matriks fitur

Accuracy = 0.001
learning rate = 0.1
 jumlah *epochs* = 5000
 Jumlah *hidden neurons* = 70
 Jumlah unit output = 1



Gambar 6. Diagram blok untuk pelatihan neural network

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang diusulkan diuji dengan menggunakan Database wajah ORL. Database ini memiliki lebih dari satu citra wajah seseorang dengan kondisi yang berbeda. (ekspresi, pencahayaan, dll). Pada database ORL ini memiliki 10 variasi citra wajah yang berbeda dari setiap orangnya. Database ini terdapat 400 citra wajah dengan variasi berbeda dari 40 orang yang berbeda.. Setiap citra memiliki ukuran 112 x 92 piksel dengan 256 tingkat abu-abu. Dalam penelitian ini, hanya 10 orang yang berbeda yang digunakan untuk pelatihan (atau 100 sampel citra wajah). Semua citra diambil dengan latar belakang gelap homogen dengan subyek dalam posisi frontal tegak (dengan toleransi untuk beberapa sisi gerakan). Gambar 7 menampilkan contoh dari database citra wajah yang tersedia.

Pada penelitian ini sudah dilakukan banyak percobaan yang berbeda untuk mempelajari kinerja dari algoritma ini. Dengan melakukan langkah preprocessing, tingkat pengenalan terbaik untuk algoritma baru 98.3% seperti yang ditunjukkan pada Tabel I, hasil yang diperoleh ini sangat kompatibel dengan hasil terbaik diperoleh dari peneliti lain dengan menggunakan dataset citra wajah yang sama dengan menggunakan algoritma yang berbeda. Citra uji yang digunakan dibuat secara teratur dan dipilih untuk setiap individu. Dataset citra wajah yang terpilih untuk dataset pelatihan ditempatkan pada training set, dan citra wajah sisanya digunakan untuk pengujian (sebagai citra test). Jadi jumlah citra test yang diambil secara beraturan untuk setiap percobaan selalu berbeda jumlahnya, hal ini untuk melihat performance dari algoritma. Pemilihan citra test ini, secara teratur

dilakukan pada tahap partisi antara pelatihan dan citra test. Hasil percobaan yang dilakukan ditunjukkan berturut-turut pada tabel 1 dan tabel 2.



Gambar 7. Contoh database citra wajah yang digunakan

TABLE I. HASIL PERCOBAAN DENGAN DATABASE WAJAH ORL DENGAN JUMLAH BATAS AMBANG $N_t=5$

Citra train/test	Laju Pengenalan % untuk setiap jumlah citra wajah yang digunakan								Rata-rata	
	20	30	40	50	60	70	80	90		
1/9	100	100	100	100	100	100	100	100	88.9	98.6
2/8	100	100	100	100	100	100	100	100	88.9	98.6
3/7	100	100	100	100	100	100	100	100	96.3	99.5
4/6	100	100	100	100	100	100	100	100	97.2	99.7
5/5	100	100	100	100	90	100	95	91.1	91.1	97.0
6/4	100	100	100	90	100	97.6	91.7	92.6	92.6	96.5
7/3	100	100	100	100	100	100	92.9	90.5	90.5	97.9
8/2	100	100	100	100	100	100	93.8	91.7	91.7	98.2
9/1	100	100	100	100	100	100	94.4	92.2	92.2	98.3
Rata-rata	100	100	100	98.9	98.9	99.7	96.4	92.2	92.2	98.3
Total	98.3%									

TABLE II. HASIL PERCOBAAN DENGAN DATABASE WAJAH ORL DENGAN JUMLAH BATAS AMBANG $N_t=8$

Citra Train/Test	Laju Pengenalan % untuk setiap jumlah citra wajah yang digunakan								Rata-rata
	20	30	40	50	60	70	80	90	
1/9	100	100	98	100	90	90	97	70	93.1
2/8	90	100	100	100	100	90	96	80	94.5
3/7	100	98	94	98	97	91	98	86.7	95.3
4/6	100	100	100	100	100	90	98	90	97.3
5/5	90	98	90	100	90	100	95	90	94.1
6/4	100	100	95	90	100	97.6	91.7	88.3	83.1
7/3	100	100	100	100	100	100	92.9	85.7	97.3
8/2	98	90	90	100	98	100	93.8	87.5	94.7
9/1	100	100	100	100	100	100	94.4	88.9	97.9
Rata-rata	97.5	98.5	96.3	98.7	97.2	84.6	95.2	85.3	
Total	94.15%								

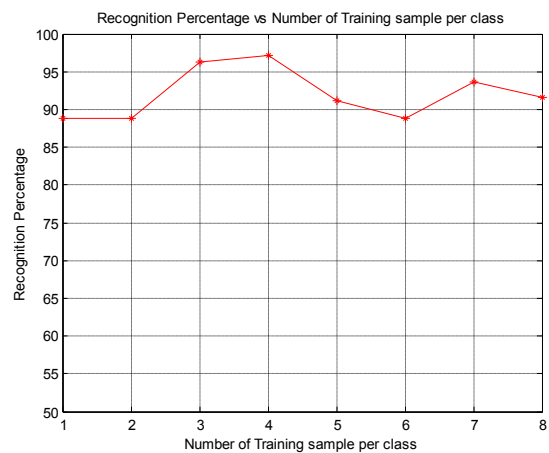
Dalam Tabel I hasil yang diujikan pada database citra wajah ORL dengan klasifikasi berbasis BPNN. Akurasi pengenalan memiliki hasil terbaik dengan menggunakan 9 orang (atau 90 sampel citra wajah). Tidak ada perbaikan yang signifikan dengan menggunakan jumlah orang yang berbeda. Rata-rata dari tingkat pengenalan adalah 100% pada 20 sampai 40 sampel citra wajah yang digunakan. Namun, penggunaan sampel citra wajah dari 50 sampai 90, tingkat pengenalan rata-rata menjadi 97,64%. percobaan ini dilakukan pada $n_t = 5$ (jumlah nilai ambang batas). Berdasarkan hasil percobaan disajikan dalam tabel I di atas, untuk ratio sampel citra pelatih/citra test 1/9

kami menemukan akurasi rata-rata 98,6% dan akurasi 99,7% ketika ratio sampel citra pelatih/citra test pada 4/6. Dan akurasi terendah terjadi pada rasio sampel citra pelatih/citra test 6/4.

Pada Tabel II adalah hasil dari Percobaan dengan $n_t = 8$ tingkat pengenalan rata adalah 97,43% pada 20 sampai 40 sampel citra wajah yang digunakan. sedangkan penggunaan sampel citra wajah pada 50 sampai 90, tingkat pengenalan rata-rata 92.2%. dari table II juga ditemukan juga akurasi rata-rata terbaik adalah 97,9% pada ratio sampel citra wajah pelatih/citra test 9/1, dan akurasi rata-rata terendah adalah 83.1 % pada ratio sampel citra wajah pelatih/citra test 6/4.

Gambar 8 menunjukkan grafik hasil akurasi persentase pengenalan vs jumlah sampel pelatihan per kelas. Dari gambar 8 diperoleh informasi bahwa penggunaan jumlah sampel citra pelatihan pada neural network tidak terlalu signifikan terhadap perubahan laju pengenalan. Jadi dengan demikian algoritma ini bila di uji pada citra wajah yang bervariasi lebih dari satu menghasilkan laju pengenalan yang baik, dan hasilnya sama dengan beberapa algoritma lain yang telah diterapkan dalam penelitian pengenalan wajah sebelumnya.

Untuk melengkapi uji coba yang dilakukan pada pembelajaran rate (lr) 0,1 dan 0,3, hasilnya ditunjukkan pada Tabel III. hasil percobaan BPNN dengan $lr = 0,1$ dan 0,3. dengan n_t untuk TDB 8 tingkat pengenalan 98,26% dan 92,34%. Dan dengan waktu komputasi 0,147 sampai 0,262 detik. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma yang diterapkan pada system pengenalan wajah ini memiliki waktu komputasi yang lebih cepat, yang diujikan pada citra berukuran 112x92 piksel.



Gambar 8. Grafik persentase laju pengenalan vs jumlah sampel citra training per class (90 sample) dengan $n_t= 5$

Percobaan	Percobaan pertama	Percobaan kedua
Convergence Objective	0.01	0.001
Learning rate	0.1	0.3
metode Training NN	traingdx	traingdx
Jumlah data train	$8 \times 10 = 80$	$8 \times 10 = 80$
Jumlah data test	$1 \times 10 = 10$	$1 \times 10 = 10$
Jumlah epoch	5000	>5000
Waktu eksekusi	0.147 seconds	0.262seconds

<i>Gradient</i>	0.153241	2.00145e-005
<i>Total jumlah citra test</i>	1 x10 = 10	1 x10 = 10
<i>Laju Pengenalan</i>	98.26 %	92,34%

REFERENCES

[1] Lihong Zhao, "Face Recognition Based on Fractal Dimension," *Proc. 7th World Congr. Intell. Control Autom.*, pp. 6830 – 6833, Jun. 2008.

[2] A. P. M. Turk, "Eigen Faces for Recognition", *J. Cogn. Neurosci.*, vol. 3, pp. 71 – 86, 1991.

[3] T. Martiriggiano, "Facial Feature Extraction by Kernel Independent Component Analysis," *IEEE Conf. Adv. Video Signal Based Surveill. 2005 AVSS 2005*, pp. 270 – 275, Sep. 2005.

[4] K. Kim, K. Jung, "Face recognition using Kernel Principal Component Analysis," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 9, no. 2, pp. 40–42, 2002.

[5] Tan, Hong Yan,, "Object recognition based on fractal neighbor distance."

[6] Andrea F, "Occluded face recognition by means of IFS," *Springer-Verl.*, pp. 1073–1080, 2005.

[7] Y. Q. Chen and M. S. Nixon, "Statistical geometrical features for texture classification," *Pattern Recognit.*, vol. 28, no. 4, pp. 537–552, 2005AD.

[8] Costa, A.F, "An Efficient Algorithm for Fractal Analysis of Textures," *Conf. Graph. Patterns Images SIBGRAPI 2012 25th SIBGRAPI*, pp. 39–46, Aug. 2012.

[9] P. Liao, T. Chen, and P. Chung, "A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding," *J. Inf. Sci. Eng.*, vol. 17, no. 5, pp. 713–727, 2001.

[10] R. M. Rangayyan ; T. M. Nguyen, ""Fractal analysis of contours of breast masses in mammograms," *J. Digit. Imaging*, vol. 20, no. 3, pp. 223–237, Sep. 2007.

[11] A. G. R. Balan, A. J. M. Traina, C. Traina Jr., and P. M. A. and Marques, "Fractal analysis of image textures for indexing and retrieval by content," *18th IEEE Symp. Comput.-Based Med. Syst.*, pp. 581–586, 2005.

Quadrotor PD *Auto-tuning* Berbasis *LS-Loop Shaping*

Atikah Surriani, Meilia Safitri, Almira Budiyanto, Adha Cahyadi
Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika 2, Yogyakarta 55281

E-mail: atikah.surriani.sie13@mail.ugm.ac.id meilia.safitri.sie13@mail.ugm.ac.id
almira.budiyanto.sie13@mail.ugm.ac.id masimam@jteti.gadjahmada.edu

Abstract—In this paper, was simulated controller system for quadrotor model, using auto tuning based on least squares loop shaping. By the result of simulation using least squares algorithm showed that it had rise time (T_r) and settling time (T_s) faster than the recursive least squares.

Abstrak—Pada penelitian ini disimulasikan rancangan sistem kendali quadrotor dengan menggunakan *auto-tuning* berbasis *least squares-loop shaping*. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa dengan menggunakan algoritma *least squares* dalam sistem quadrotor dari hasil analisis tanggapan transien memiliki waktu naik (T_r) dan waktu tunak (T_s) yang lebih cepat dari *recursive least squares*.

Keywords—Quadrotor, Auto-tuning, Loop shaping, Least squares

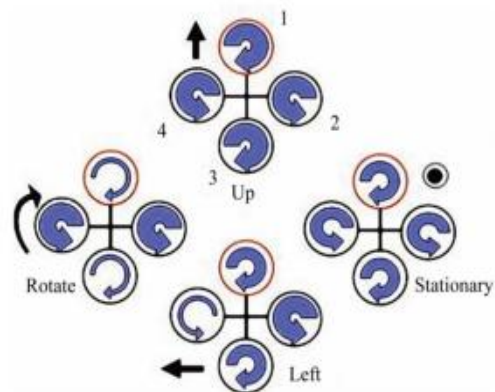
I. PENDAHULUAN

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) telah menjadi salah satu objek yang paling banyak diteliti dalam dekade terakhir ini [1]. Penelitian mengenai UAV ini banyak menarik perhatian karena kelebihan-kelebihan yang dimiliki UAV, yang salah satunya adalah dapat diaplikasikan dalam lingkungan atau kondisi yang berbahaya yang tidak memungkinkan bagi manusia untuk menjangkaunya. Penggunaan pesawat tanpa awak ini dapat mereduksi resiko keterlibatan manusia [2,3].

Pesawat tanpa awak atau UAV ini terdiri dari beberapa jenis, diantaranya pesawat tanpa awak yang memiliki sayap tetap, kemudian pesawat tanpa awak yang berbasis rotor [4]. Para peneliti saat ini banyak menggunakan pesawat tanpa awak yang berbasis rotor, terutama quadrotor karena memiliki banyak kelebihan bila dibandingkan dengan UAV jenis sayap tetap. Beberapa keunggulan dari pesawat tanpa awak quadrotor ini yaitu, quadrotor memiliki ukuran yang kecil dan tangkas, memiliki kemampuan untuk melayang (*hover*), dapat melakukan lepas landas dan mendarat secara vertikal (*vertikal take off and landing-VTOL*) yang tidak membutuhkan banyak lahan, mampu melakukan berbagai pergerakan [1,2,3,4,5] dan yang paling utama adalah memiliki kemampuan swatantra [3]. Quadrotor dapat diaplikasikan dalam ruangan tertutup dan sangat mudah untuk dikendalikan [4]. Selain itu, sistem pada quadrotor memiliki kompleksitas sistem mekanik yang rendah, sehingga biaya pembuatan, operasional dan pemeliharaan cukup murah [3].

Quadrotor adalah suatu pesawat udara yang dinamika pergerakannya berdasarkan pengaturan rotornya.

Quadrotor memiliki 4 rotor, masing-masing rotor terdiri dari dua pasang rotor yang memiliki gerak berputar yang searah. Masing-masing pada rotor 1 dan 3 berputar searah jarum jam, sedangkan pada rotor 2 dan 4 berputar berlawanan arah jarum jam. Perputaran sepasang rotor tersebut serta perubahan kecepatan masing-masing rotor mempengaruhi arah gerak dari quadrotor. Pada saat mengubah kecepatan rotor pada rotor 2 dan 4, perubahan kecepatan akan menghasilkan pergerakan *roll* yaitu pergerakan memutar ke samping berdasarkan sumbu x, sedangkan perubahan pada rotor 1 dan 3 akan mengakibatkan perubahan pergerakan *pitch* yaitu perubahan arah berdasarkan sumbu y. Di sisi lain, pada pergerakan quadrotor pada sumbu z yaitu *yaw* dihasilkan dari perbedaan torsi pada masing-masing pasangan quadrotor [3]. Dinamika pergerakan dari quadrotor dideskripsikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Konsep Pergerakan Quadrotor [3]

Quadrotor memiliki 6 *degree of freedom* (DoF) [1,3] atau derajat kebebasan dari dinamika quadrotor itu sendiri termasuk persamaan translasional dan persamaan dinamis rotasional. Quadrotor ini memiliki 4 masukan dari masing-masing rotor dan keluaran sistem berupa 6 derajat kebebasan sehingga sistem pada quadrotor ini disebut sistem *under-actuated* [4]. Pada sistem *under-actuated* berarti peluang terjadinya *coupling* pada sistem sangat besar.

Kondisi sistem *under-actuated*, *Multiple Input Multiple Output* (MIMO), juga dinamika sistem yang tidak linear pada quadrotor, mengakibatkan quadrotor sangat sulit dan rumit untuk dikendalikan [3]. Kerumitan dalam mengendalikan quadrotor menjadi tantangan

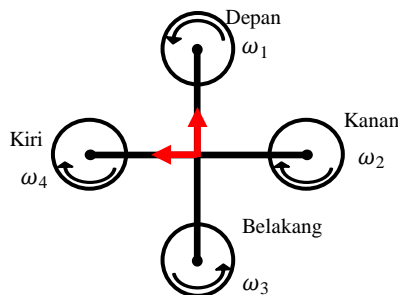
tersendiri bagi para peneliti, sehingga quadrotor selalu memberikan kontribusi dalam pengembangan aturan sistem kendali.

Secara umum salah satu sistem kendali yang biasa digunakan dalam pengendalian quadrotor adalah menggunakan pengendali PID [7], namun pengendali PID konvensional memiliki kemampuan terbatas sehingga dibutuhkan kemampuan *auto-tuning* yang membuat sistem kendali PID konvensional menjadi adaptif. Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai sistem kendali *auto-tuning* menggunakan *loop shaping* [8]. Pada penelitian tersebut, digunakan sistem kendali PD yang lebih sederhana dibandingkan dengan sistem kendali PID, yaitu *auto-tuning* menggunakan metode *loop shaping* dengan menggunakan algoritma *recursive least squares* [8]. Akan tetapi algoritma *recursive least squares* memiliki kekurangan dalam hal komponen kestabilan yang sangat tergantung pada nilai dari *forgetting factor* (β) sehingga apabila salah dalam memilih nilai β , maka konvergensi parameter menjadi lambat.

Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan penelitian mengenai *auto-tuning loop shaping* dengan menggunakan algoritma *pure least squares*. Algoritma ini meskipun memiliki kekurangan berupa nilai konfigurasi paralel yang dapat menjadi kecil dan beradaptasi secara lambat, tetapi memiliki kelebihan dengan memiliki komponen khusus yang menjamin konvergensi parameter menjadi nilai konstan. Model quadrotor yang digunakan pada penelitian ini menggunakan model dari Corke [4] sebagaimana yang juga digunakan oleh [8].

II. REPRESENTASI SISTEM QUADROTOR

Model sistem quadrotor yang digunakan berdasarkan model dari Corke [4]. Konfigurasi baling-baling sistem quadrotor yang dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Baling-Baling Quadrotor [9]

Pada model Corke, digunakan 12 keadaan yaitu posisi berdasarkan kerangka global pada sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z dinotasikan sebagai $\epsilon_1 = [x \ y \ z]$, sedangkan sudut Euler yang membentuk pergerakan *roll*, *pitch*, *yaw* pada masing-masing sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z dinotasikan sebagai $\epsilon_2 = [\phi \ \theta \ \psi]$, kecepatan linearnya berdasarkan posisi pada masing-masing sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z $\epsilon_3 = [\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z}]$, kemudian kecepatan sudutnya berdasarkan sudut Euler pada masing-masing sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z adalah $\epsilon_4 = [\dot{p} \ \dot{q} \ \dot{r}]$.

Peubah keadaan dan masukan sistem ditentukan sebagai berikut,

$$x = [\epsilon_1^T \ \epsilon_2^T \ \epsilon_3^T \ \epsilon_4^T]^T \quad (1)$$

$$u = [\omega_1^2 \ \omega_2^2 \ \omega_3^2 \ \omega_4^2]^T \quad (2)$$

sehingga,

$$x = [\epsilon_1, \dots, \epsilon_{12}]^T \quad (3)$$

$$u = [u_1, \dots, u_4]^T \quad (4)$$

Pada analisis translasi, gaya yang bekerja pada quadrotor didapatkan berdasarkan hukum Newton yang kedua,

$$F = m\dot{v} + (\omega \times mv) \quad (5)$$

dengan m adalah massa quadrotor, kecepatan sudut $\omega = \epsilon_4$ dan kecepatan linear $v = \epsilon_3$.

Pada analisis rotasi digunakan hukum rotasi *rigid body* dimana torsi dinyatakan sebagai berikut,

$$\Gamma = I\dot{\omega} + (\omega + I\omega) \quad (6)$$

dengan I , adalah momen inersia dari quadrotor.

Dengan menurunkan *rate* dari *roll*, *pitch*, *yaw* dari persamaan kecepatan sudutnya serta dengan menggunakan persamaan matriks Inverted Wronskian, maka akan didapat 12 keadaan non linear dari sistem dalam quadrotor. Linearisasi sistem dan parameter yang diatur menggunakan parameter yang digunakan dalam penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [7,9] menggunakan metode linearisasi Jacobi sebagai berikut

$$\dot{x}_1 = \dot{x} = x_7 = 0 \quad (7)$$

$$\dot{x}_2 = \dot{y} = x_8 = 0 \quad (8)$$

$$\dot{x}_3 = \dot{z} = x_9 = 0 \quad (9)$$

$$\dot{x}_4 = \dot{\phi} = x_{10} + s_{x_4} t_{x_5} x_{11} + c_{x_4} t_{x_5} x_{12} = 0 \quad (10)$$

$$\dot{x}_5 = \dot{\theta} = c_{x_4} x_{11} + s_{x_4} x_{12} = 0 \quad (11)$$

$$\dot{x}_6 = \dot{\psi} = \frac{s_{x_4}}{c_{x_5}} x_{11} + \frac{c_{x_4}}{c_{x_5}} x_{12} = 0 \quad (12)$$

$$\dot{x}_7 = \ddot{x} = -\frac{1}{m} T(c_{x_4} s_{x_5} c_{x_6} + s_{x_4} s_{x_6}) = 0 \quad (13)$$

$$\dot{x}_8 = \ddot{y} = -\frac{1}{m} T(c_{x_4} s_{x_5} c_{x_6} - s_{x_4} s_{x_6}) = 0 \quad (14)$$

$$\dot{x}_9 = \ddot{z} = g - \frac{1}{m} T(c_{x_4} c_{x_5}) = 0 \quad (15)$$

$$\dot{x}_{10} = \ddot{p} = \frac{db}{I_x} (u_4 - u_2) - \frac{(I_z - I_y)}{I_x} x_{11} x_{12} = 0 \quad (16)$$

$$\dot{x}_{11} = \ddot{q} = \frac{db}{I_y} (u_1 - u_3) - \frac{(I_x - I_z)}{I_y} x_{10} x_{12} = 0 \quad (17)$$

$$\dot{x}_{12} = \ddot{r} = \frac{k}{I_z} (u_1 - u_2 + u_3 - u_4) - \frac{(I_y - I_x)}{I_z} x_{10} x_{11} = 0 \quad (18)$$

dengan $\ddot{x}, \ddot{y}, \ddot{z}$ merupakan percepatan linear dan $\ddot{p}, \ddot{q}, \ddot{r}$ merupakan percepatan sudut, serta T adalah daya dorong vertikal. Konstanta b adalah konstanta daya angkat relative terhadap massa jenis udara, sedangkan d merupakan jarak antara motor terhadap titik pusat massa quadrotor dan k adalah konstanta pergeseran aerodinamik serta g adalah gaya gravitasi.

Representasi dari persamaan keadaan dan keluaran sistem ditunjukkan sebagai berikut,

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (19)$$

$$y = Cx + Du. \quad (20)$$

Dalam metode Jacobi, matriks **A** dan **B** menjadi derivatif parsial dari model non linear.

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_{12}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{12}}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_{12}}{\partial x_{12}} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial u_{12}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_{12}}{\partial u_1} & \dots & \frac{\partial f_{12}}{\partial u_{12}} \end{bmatrix} \quad (22)$$

Setelah model non linear disubstitusi pada titik kesetimbangan di dapat matriks **A**, **B**, **C** dan **D** sebagai berikut,

$$\mathbf{A}_{12 \times 12} = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{6 \times 6} & \mathbf{I}_{6 \times 6} \\ \mathbf{G}_{6 \times 6} & \mathbf{O}_{6 \times 6} \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\mathbf{B}_{12 \times 4} = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{8 \times 4} \\ \mathbf{M}_{4 \times 4} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\mathbf{C} = [\mathbf{I}_{1 \times 12}] \quad (25)$$

dan

$$\mathbf{D} = 0 \quad (26)$$

dengan matriks **O** merupakan matriks nol dan **I** adalah matriks identitas. Matriks **G** dan **M** dapat dituliskan sebagai,

$$\mathbf{G}_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\mathbf{M}_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} -\mu_1 & -\mu_1 & -\mu_1 & -\mu_1 \\ 0 & -\mu_2 & 0 & \mu_2 \\ \mu_3 & 0 & -\mu_3 & 0 \\ \mu_4 & -\mu_4 & \mu_4 & -\mu_4 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Konstanta yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut,

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu_1 = 6,56 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\mu_2 = 1,001 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\mu_3 = 1,001 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\mu_4 = 1,392 \times 10^{-6} \text{ m}$$

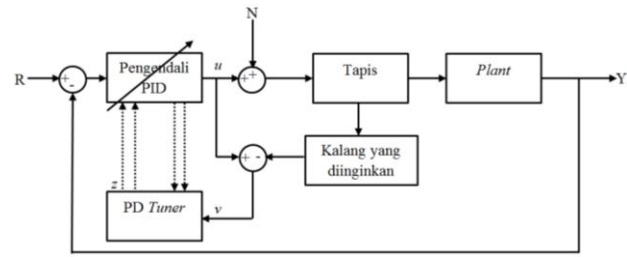
Persamaan keadaan serta persamaan keluaran dari sistem adalah,

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}_{12 \times 12} \mathbf{x} + \mathbf{B}_{12 \times 4} \mathbf{u} \quad (29)$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}_{1 \times 12} \mathbf{x} \quad (30)$$

III. RANCANGAN PENGENDALI

Pada penelitian ini, pengendali quadrotor dibatasi dengan tujuan untuk mempertahankan ketinggian tertentu quadrotor di atas permukaan tanah. Diagram blok rancangan sistem kendali yang dirancang ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok rancangan sistem kendali [8]

Berdasarkan Gambar 3 yaitu gambar pengendali quadrotor, dirancang dengan menggunakan pengendali PD yang ditala secara otomatis yang dikembangkan pada [8]. Isyarat kendali $u(t)$ merupakan keluaran dari pengendali PD yang diberikan oleh persamaan,

$$u(t) = K_p(t)e(t) + K_d(t) \frac{de(t)}{dt} \quad (31)$$

Dengan $e(t)$ adalah selisih nilai antara nilai referensi dan keluaran sistem. Dalam perancangan sistem pengendalian quadrotor ini algoritma *Pure Least-Squares* digunakan dalam merancang penala PD. Dibandingkan dengan algoritma yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan [8], algoritma *Pure Least-Squares* memiliki kelebihan dengan memiliki komponen khusus yang menjamin parameter konvergensi nilai konstan. Masukan terhadap penala PD berupa sinyal kontrol $v = \left[e \left(\frac{de}{dt} \right)^T \right]$ dan keluaran dari penala PD adalah berupa konstanta proporsional dan derivatif $z = [K_p \ K_d]^T$.

Blok tapis pada Gambar digunakan untuk mengimbangi pengaruh yang disebabkan oleh integrator orde dua. Sehingga dalam penelitian ini digunakan sebuah penyeimbang dalam bentuk tapis lolos bawah. Fungsi alih, $G(s)$, pada tapis lolos bawah diberikan oleh persamaan,

$$G(s) = \frac{s}{\gamma(s^2 + 2s + 1)} \quad (32)$$

Koefisien γ didefinisikan untuk menjamin sistem dapat terealisasi.

Teknik *Loop-Shaping* merupakan teknik perancangan sistem kendali yang dikembangkan pada penelitian [7]. Pada *Loop shaping* pengendali dirancang sedemikian rupa sehingga karakteristik kalang terbuka mengikuti karakteristik tanggapan frekuensi yang diinginkan $L(s)$. Tujuan dari teknik *Loop-Shaping* ini adalah untuk mendapatkan perbedaan yang sekecil mungkin antara sinyal keluaran yang sebenarnya dan sinyal keluaran yang diinginkan. Fungsi objektif (J) dari sistem ini ditunjukkan sebagai berikut [11]:

$$J = \min_{\{K_p, K_d\}} \int_0^t (L(\tau) - K_p e(\tau) K_d \frac{de(\tau)}{dt})^2 d\tau \quad (33)$$

Kesalahan (ε) pada penala PD dinormalisasikan oleh persamaan,

$$\varepsilon = \frac{z - \theta^T v}{m^2} \quad (34)$$

dengan $m^2 = 1 + n_s^2$ dan m memenuhi $\frac{v}{m} \in \mathcal{L}_\infty$ sehingga fungsi objektif menjadi,

$$J = \frac{1}{2} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \frac{[z(\tau) - \theta^T(t)v(\tau)]^2}{m^2(\tau)} d\tau + \frac{1}{2} e^{-\beta t} (\theta - \theta_0)^T Q_0 (\theta - \theta_0) \quad (35)$$

dengan $Q_0 = Q_0^T > 0$, $\beta \geq 0$, dan $\theta_0 = \theta(0)$. Q_0 merupakan nilai awal fungsi bobot, m adalah nilai kesalahan pendekatan, dan θ_0 adalah estimasi awal dari koefisien serta β merupakan nilai *forgetting factor* dari komponen stabilitas pada algoritma *least-squares*.

Karena $\frac{z}{m}, \frac{v}{m} \in \mathcal{L}_{\infty}$, J adalah fungsi konveks θ lebih dari \mathcal{R}^n pada setiap waktu t . Oleh karena itu, setiap lokal minimum merupakan global dan memenuhi,

$$\nabla J = e^{-\beta t} Q_0 (\theta(t) - \theta_0) - \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \frac{[z(\tau) - \theta^T(\tau)v(\tau)]^2}{m^2(\tau)} v(\tau) d\tau = 0. \quad (36)$$

Karena $Q_0 = Q_0^T > 0$ dan vv^T merupakan *semidefinite* positif, $P(t)$ ada di setiap waktu t , kita dapat menunjukkan bahwa P (*adaptive gain*) memenuhi persamaan,

$$\dot{P} = \beta P - P \frac{vv^T}{m^2} P, P(0) = P_0 = Q_0^{-1}. \quad (37)$$

Dengan membuat $\beta = 0$ didapat nilai koefisien proporsional dan koefisien derivatif yang baru dengan proses sebagai berikut,

$$\dot{\theta} = P \epsilon v \quad (38)$$

$$\dot{P} = -\frac{Pvv^T P}{m^2}. \quad (39)$$

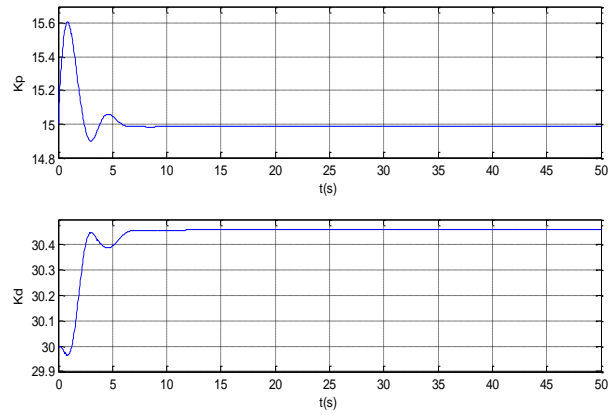
Perlu diperhatikan bahwa fungsi objektif pada *loop-shaping* hanya merupakan pendekatan untuk membedakan antara sistem sebenarnya dan sistem yang diinginkan. Fungsi objektif dasar yang harus diminimalkan adalah fungsi nonkonveks pada persamaan berikut,

$$\min_{\{K_p, K_d\}} = \left\| \frac{Lu - GKu}{1 + GK} \right\|_2. \quad (40)$$

L adalah target *loop-shaping*, G adalah *plant*, dan K pengendali PD. Berdasarkan karakteristik tersebut koefisien akhir yang didapatkan sangat tergantung pada koefisien awal.

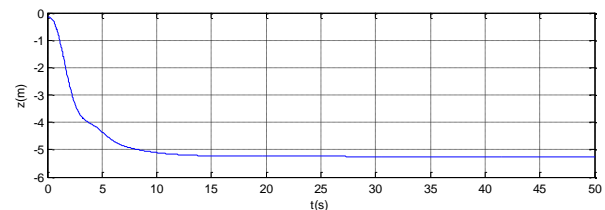
IV. SIMULASI DAN ANALISIS

Analisis sistem kendali dilakukan dengan menggunakan simulasi. Gambar 4 menunjukkan nilai K_p dan nilai K_d yang digunakan dalam penelitian mengalami perubahan agar sistem quadrotor dapat bergerak dengan stabil.

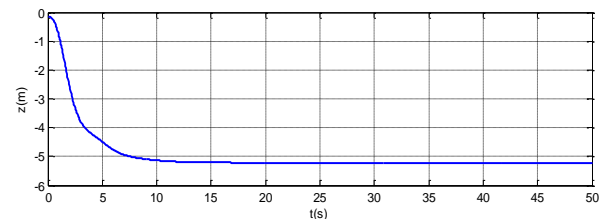


Gambar 4. Kurva dari K_p dan K_d dengan menggunakan Algoritma *Least squares*

Dalam simulasi, quadrotor yang digunakan dalam simulasi menggunakan model dalam *robotic toolbox* yang dirancang oleh Corke [4]. Analisis dilakukan dengan membandingkan penelitian yang telah dilakukan pada paper [8] dengan hasil simulasi menggunakan algoritma *least squares*. Gambar 5 menunjukkan tanggapan ketinggian sistem quadrotor menggunakan algoritma RLS, sedangkan Gambar 6 menunjukkan hasil grafik ketinggian sistem quadrotor menggunakan algoritma LS.



Gambar 5. Grafik tanggapan ketinggian sistem quadrotor menggunakan algoritma RLS.



Gambar 6. Tanggapan ketinggian dari sistem quadrotor yang dikendalikan menggunakan algoritma LS.

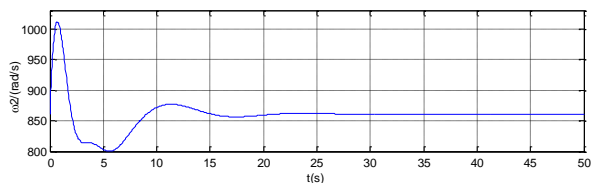
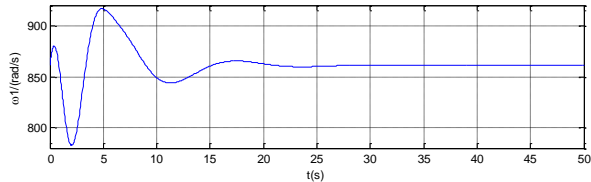
Berdasarkan hasil analisis Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa tanggapan ketinggian quadcopter menggunakan LS hampir mendekati sama dengan tanggapan ketinggian dengan menggunakan algoritma RLS pada penelitian [8]. Namun terdapat perbedaan mendasar dari hasil analisis transien sistem. Analisis lengkap mengenai tanggapan transien dari sistem dengan menggunakan algoritma yang diajukan dibandingkan dengan algoritma yang telah dikerjakan dalam penelitian [8].

TABEL 1. ANALISIS TRANSIEN SISTEM

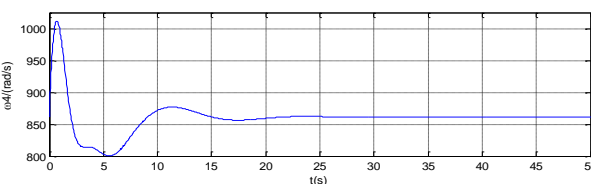
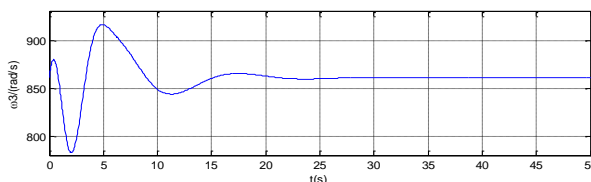
Parameter	Least squares	Recursive Least squares
Tr	4,296 s	5.9 s
Ts	9,455 s	10 s
%OS	0	0
e _{ss}	4.32 %	1.671 %

Berdasar hasil analisis transien sistem kendali yang disimulasikan dalam penelitian ini dengan menggunakan algoritma *least squares* dibandingkan dengan penelitian dari [8] berdasarkan parameter waktu naik (Tr) di Tabel 1. terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai nilai 10%-90% lebih cepat. Pada Tabel 1, parameter waktu tunak (Ts) sistem dengan menggunakan *least squares* lebih cepat dibandingkan dengan *recursive least squares*. Sistem dengan algoritma *pure least square* menunjukkan persentase *overshoot* (%OS) sebesar 0 %, sama dengan persentase *overshoot* pada sistem dengan algoritma *recursive least squares*, sedangkan pada parameter kesalahan keadaan tunak (e_{ss}) penggunaan algoritma *least squares* menghasilkan kesalahan keadaan tunak yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan algoritma *recursive least squares*.

Perubahan dari parameter Kp dan Kd pada Gambar 4 mempengaruhi tanggapan ketinggian sistem yang juga mempengaruhi kecepatan sudut dari sistem quadrotor, sehingga terjadi beberapa perubahan kecepatan sudut pada Gambar 7 dan Gambar 8.

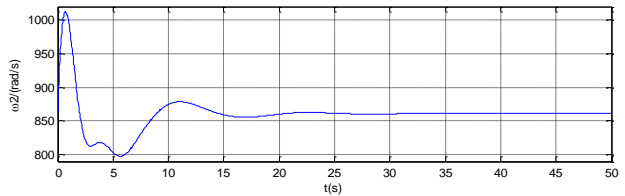
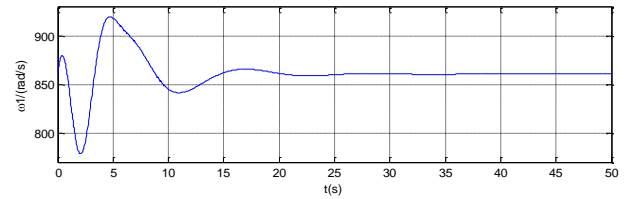


Gambar 7. ω₁ dan ω₂ quadrotor dengan yang dikendalikan menggunakan algoritma LS

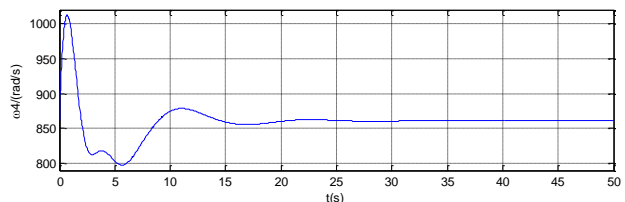
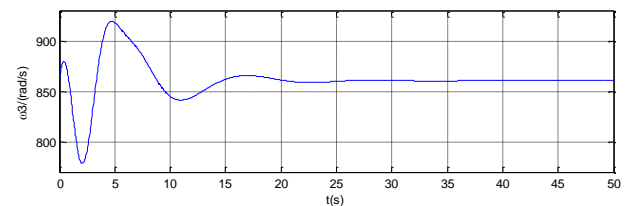


Gambar 8. ω₃ dan ω₄ quadrotor dengan yang dikendalikan menggunakan algoritma LS

Gambar 9 dan Gambar 10 adalah kecepatan sudut dari quadrotor dengan menggunakan algoritma RLS yang menurut penelitian [8] hasil kecepatan sudut tersebut relatif terhadap kondisi awal.



Gambar 9. ω₁ dan ω₂ quadrotor dengan yang dikendalikan menggunakan algoritma RLS



Gambar 10. ω₃ dan ω₄ quadrotor dengan yang dikendalikan menggunakan algoritma RLS

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perbandingan simulasi *auto-tuning loop shaping* dengan menggunakan algoritma RLS pada model quadrotor Corke [4] dan *auto-tuning loop shaping* algoritma LS ditunjukkan pada indeks kinerja tanggapan transien sistem. Pada parameter waktu naik (Tr) penggunaan algoritma LS pada sistem *auto-tuning loop shaping*, waktu yang dibutuhkan sistem untuk naik lebih cepat. Tanggapan sistem *auto-tuning* pada parameter waktu tunak (Ts) menggunakan algoritma LS juga meningkat dibandingkan waktu tunak dengan menggunakan algoritma RLS. Namun, Kesalahan keadaan tunak sistem pada simulasi *auto-tuning loop shaping* dengan algoritma LS lebih besar dibandingkan *auto-tuning loop shaping* dengan algoritma RLS.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Inovon, A. Ataka, H. Tnunay, and M. Q. Abdurrahman, "A Cascade Controller for Linearized Quadrotor Model," *Int. Conf. Adv. Robot. Intell. Syst.*, no. Aris, pp. 161-164, 2014.

[2] A. Manouchehri and H. Hajkarami, "Hovering Control of a Ducted Fan VTOL Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based on PID Control," *Int. Conf. Electr. Control Eng.*, pp. 5962-5965, 2011.

- [3] H. Bolandi, M. Rezaei, and R. Mohsenipour, "Attitude Control of a Quadrotor with Optimized PID Controller," *Intell. Control Autom.*, no. August, pp. 335–342, 2013.
- [4] P. Corke, *Robotics, Vision and Control*, vol. 73. Berlin: Springer, 2011.
- [5] N. Abdelkrim, N. Aouf, A. Tsourdos, and B. White, "Robust nonlinear filtering for INS / GPS UAV localization," *16th Mediterranean Conf. Control Autom.*, pp. 695–702, 2008.
- [6] M. H. Tanveer, S. F. Ahmed, D. Hazry, F. A. Warsi, and M. K. Joyo, "Stabilized Controller Design for Attitude and Altitude Controlling of Quad-Rotor Under Disturbance and Noisy Conditions," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 8, pp. 819–831, Aug. 2013.
- [7] S. Gaikwad, S. Dash, and G. Stein, "Loop-Shaping Ideas," *IEEE*, vol. I, pp. 589–593, 1999.
- [8] H. Tnunay, M. Q. Abdurrohman, Y. Nugroho, R. Inovan, A. Cahyadi, and Y. Yamamoto, "Auto-Tuning Quadcopter Using Loop Shaping," *2013 Int. Conf. Comput. Control. Informatics Its Appl.*, 2013.
- [9] O. D. Saputra, A. Triwiyatno, and B. Setiyonp, "Pemodelan dan Simulasi Roll, Pitch, dan Yaw Pada Quadrotor," *Transmisi*, p. 105, 2012.
- [10] A. Ataka, H. Tnunay, R. Inovan, M. Q. Abdurrohman, H. Prestianto, A. Cahyadi, and Y. Yamamoto, "Controllability and Observability Analysis of the Gain Scheduling Based Linearization for UAV Quadrotor," *Robot. Biomimetics, Intell. Comput. Syst.*, pp. 2–8, 2013.
- [11] P. Ioannou and J. Sun, *Robust Adaptive Control*. Courier Dover Publications, 2013.

Ekstraksi Ciri Berbasis Wavelet Dan Klasifikasi Berbasis Logika Fuzzy Untuk Deteksi Dini Kanker Payudara Pada Citra Mammogram

Hanifah Rahmi Fajrin¹, Hanung Adi Nugroho²
Jurusan Teknik Elektro dan
Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia

Email : hanifah.fajrin.sie13@mail.ugm.ac.id, adinugroho@ugm.ac.id

Abstract : Breast cancer is the number two killer among women in the world after cervical cancer. With the early detection of breast cancer the chances of survival for patients can be improved. In this study designed a method of image processing that can perform early detection of breast cancer. By extracting characteristic energy of the wavelet decomposition "haar" until 3rd level and also entropy, then do classification based fuzzy logic to detect whether the image mammografi includes normal or abnormal. The study was conducted on 10 of each data both normal and abnormal, 7 as the training data and 3 as test data. For further sought the accuracy, sensitivity and specificity from this methode. In the test data obtained values of accuracy, sensitivity and spesificity is 100%.

Keyword : Breast cancer, *wavelet transform*, *fuzzy logic*.

Abstrak : Kanker payudara merupakan pembunuh nomor dua pada wanita di dunia setelah kanker mulut rahim. Dengan adanya deteksi dini kanker payudara kesempatan untuk bertahan hidup bagi penderita dapat ditingkatkan. Pada penelitian ini dirancang metode pengolahan citra yang dapat melakukan deteksi dini terhadap kanker payudara. Dengan mengekstrak ciri energi dari *wavelet dekomposisi "haar" level 3* dan juga *entropi*, kemudian dilakukan klasifikasi berbasis logika fuzzy untuk mendeteksi apakah citra mammografi termasuk normal atau abnormal. Penelitian dilakukan masing-masing pada 10 data baik normal maupun abnormal, 7 sebagai data latih dan 3 sebagai data uji. Untuk selanjutnya dicari nilai akurasi, sensitivitas serta spesifisitas dari metode ini. Pada data uji didapatkan nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas 100%.

Keywords : kanker payudara, *wavelet transform*, *logika fuzzy*.

I. PENDAHULUAN

Kanker adalah suatu penyakit dimana terjadi pertumbuhan berlebihan atau perkembangan tidak terkontrol dari sel-sel jaringan pada bagian tubuh tertentu. Kanker payudara merupakan jenis kanker yang sering ditemukan pada wanita. Menurut WHO pada tahun 2008 ada sekitar 1,38 juta kasus terbaru dan 458.000 wanita meninggal tiap tahunnya diakibatkan oleh kanker payudara, lebih dari setengahnya, yaitu sekitar 269.000 terdapat di negara berkembang dengan angka pendapatan perkapita yang rendah [1]. Sedangkan di Indonesia menurut profil kesehatan Departemen Kesehatan Republik Indonesia Tahun 2012 kanker tertinggi yang diderita wanita Indonesia adalah kanker payudara dengan angka kejadian 2.2 % dari 1000 perempuan. Jika hal ini tidak bisa terkendali, maka diperkirakan pada tahun 2030 akan ada 26 juta orang menderita kanker payudara dan 17 juta meninggal dunia[2]. Untuk itu diperlukan adanya deteksi dini kanker payudara melalui mamografi untuk dapat meningkatkan kesempatan bertahan hidup. Hal tersebut terbukti di Amerika dan Inggris dengan deteksi dini dapat menyelamatkan 12 sampai 37 jiwa perhari. Dengan perspektif, di Amerika dari 527 kasus kanker payudara dengan tingkat kematian 110 perhari. Di Inggris dari 125 kasus kanker payudara dengan tingkat kematian 35 perhari, jika dilakukan deteksi dini dapat menyelamatkan 12 jiwa per hari [1].

Mammogram merupakan proses skrining dalam bidang kedokteran yang digunakan untuk menemukan tumor payudara. Dan merupakan skrining yang paling umum digunakan untuk kanker payudara. *Mammogram* juga telah terbukti efektif dalam melihat ada atau tidaknya tumor pada payudara[3]. *Computer-Aided Diagnosis* adalah sebuah sistem yang mampu mendiagnosis atau dalam arti sebenarnya dapat membedakan adanya penyakit atau tidak, dan mengurangi tingkat kesalahan dari pembacaan *false positive* dan *false negative*, serta

meningkatkan peluang untuk mendeteksi adanya keadaan abnormal lebih dini. *False positive* merupakan suatu kondisi sakit yang dideteksi sebagai kondisi sehat sedangkan *false negative* suatu kondisi sehat yang dideteksi sebagai sakit. Kondisi yang diharapkan yaitu citra terbaca sebagai *True positive* yaitu kondisi sakit yang positif dideteksi sebagai sakit dan *True Negative*, yaitu kondisi tidak sakit (sehat) dan positif dideteksi sebagai sehat.

Vijaya Kumar Gunturu dalam penelitiannya menggunakan *wavelet transform* untuk peningkatan kontras dari citra *mammogram* yang menghasilkan *superior image quality* yang signifikan dan *contrast improvement index (CII)* yang lebih baik[10]. Selanjutnya M.Vidhya, dalam penelitiannya juga menggunakan *multi-wavelet transform* untuk mengurangi *redundant* dari citra *mammogram* untuk menghasilkan *formasi* yang lebih baik di kawasan *spasial* dan *spectral*[3]. Dane Kurnia Putra, dalam penelitiannya juga memakai *wavelet haar* untuk proses klasifikasi kanker payudara dengan menggunakan ciri energi dari hasil *dekomposisi wavelet*[6].

Pada penelitian ini, dibuat suatu system yang nantinya diharapkan dapat membantu mengurangi tingkat subyektifitas dokter dalam menganalisa citra *mammogram* untuk deteksi dini kanker payudara. Baik karena kualitas citra yang buruk, kelelahan dan factor manusiawi lainnya. Untuk menghilangkan *noise* pada input citra *mammogram*, dilakukan penapisan dengan menggunakan *median filter*. Citra yang telah ditapis, di perbaiki atau ditingkatkan lagi kualitasnya dengan menggunakan *wavelet decomposition "haar"* level 3. Ekstraksi ciri dilakukan dengan menggunakan nilai energy dari dari hasil *dekomposisi wavelet* dan nilai entropi citra.

II. Prapemrosesan

Pada tahap prapemrosesan, akan dilakukan hal-hal yang bertujuan untuk mempermudah proses pengolahan citra itu sendiri. Tahap pra-pemrosesan meliputi proses pemugaran citra (*image restoration*), peningkatan citra (*image enhancement*), atau hanya sekedar penyesuaian dalam penyajian data saja. Proses peningkatan citra bertujuan untuk mempertajam atau memperjelas ciri citra sehingga mudah untuk proses selanjutnya. Peningkatan citra meliputi manipulasi kontras dan aras keabuan, reduksi derau, penajaman tebing, penapisan, pewarnaan semu, dan lain-lain.

A. Penapisan

Di penelitian ini dilakukan penapisan untuk mengurangi derau dengan memakai tapis *median*. Tapis *median* digunakan untuk mengurangi derau "*salt and pepper*" dan untuk *smoothing* pada citra

mammogram. *Smoothing* merupakan suatu teknik yang bertujuan untuk memperhalus gambar, serta mengurangi *noise* [5].

III. Multi Wavelet Transform

Wavelet adalah fungsi matematika yang memotong-motong data menjadi kumpulan-kumpulan frekuensi yang berbeda, sehingga masing-masing komponen tersebut dapat dipelajari dengan menggunakan skala resolusi yang berbeda[8]. *Wavelet* merupakan sebuah fungsi variabel real t, diberi notasi Ψt dalam ruang fungsi $L^2(R)$. Fungsi ini dihasilkan oleh parameter dilatasi dan translasi yang dinyatakan dalam persamaan [7] :

$$\psi_{a,b}(t) = a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right); a > 0, b \in R \dots (3.1)$$

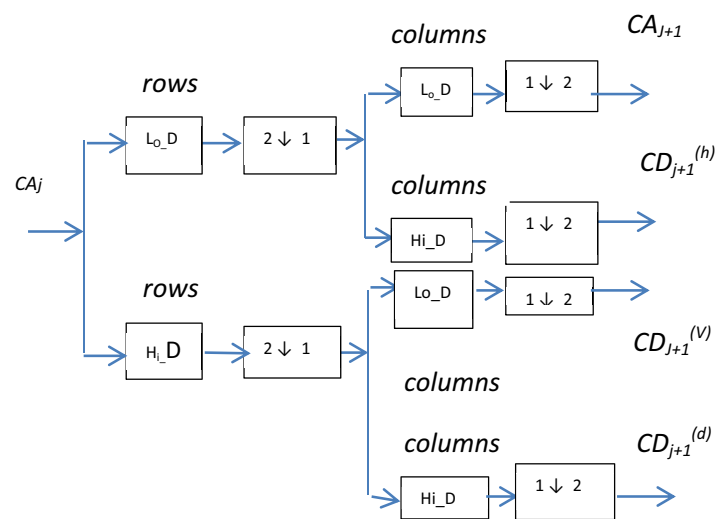
$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k); j, k \in Z \dots (3.2)$$

Dimana :

- a = parameter dilatasi
- b = parameter translasi
- \mathfrak{R} = mengkondisikan nilai a dan b bernilai real
- 2j = parameter dilatasi
- k = parameter waktu atau lokasi ruang
- Z = mengkondisikan nilai j dan k bernilai integer

A. Dekomposisi citra dengan wavelet

Implementasi transformasi wavelet diskrit dapat dilakukan dengan cara melewati sinyal frekuensi tinggi atau *highpass filter* dan frekuensi rendah atau *lowpass filter* [4].



Gambar 1. transformasi wavelet diskrit dua dimensi dengan level dekomposisi satu

Dimana :

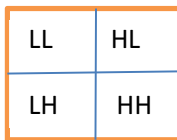
2 ↓ 1
1 ↓ 2

Merupakan downsample kolom

Merupakan downsample baris

seperti yang terlihat pada gambar, jika suatu citra dilakukan proses transformasi wavelet diskrit dua dimensi dengan level dekomposisi satu, maka akan menghasilkan empat buah subband, yaitu [11] :

1. Koefisien Aproksimasi (CA j+1) atau disebut juga subband LL
2. Koefisien Detil Horizontal (CD(h) j+1) atau disebut juga subband HL
3. Koefisien Detil Vertikal (CD(v) j+1) atau disebut juga subband LH
4. Koefisien Detil Diagonal (CD(d) j+1) atau disebut juga subband HH



Gambar 2. Penempatan subband dekomposisi wavelet level 1

IV. Ekstraksi ciri dengan menggunakan energy koefisien wavelet dan entropi

A. Energi wavelet dekomposisi

Ciri yang diambil adalah ciri energi pada wavelet. Energi merepresentasikan keseragaman tekstur dari citra. Nilai energi sendiri diambil dari 4 (empat) nilai-nilai koefisien aproksimasi (ca), koefisien detail arah horizontal (ch), koefisien detail arah vertical (cv), dan koefisien detail arah diagonal (cd) yang nilainya tergantung pada nilai wavelet-nya [11]. Dengan M dan N, masing-masing panjang dan tinggi citra, untuk wavelet Haar, maka nilai-nilai untuk subblok berukuran 2x2 dapat dicari dengan rumus sebagai berikut [11] :

$$c_a = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} \dots (4.1)$$

$$c_h = \sum_{i=1}^N c_{1i} - \sum_{i=1}^N c_{2i} \dots (4.2)$$

$$c_v = \sum_{i=1}^M c_{i1} - \sum_{i=1}^M c_{i2} \dots (4.3)$$

$$c_d = \sum_{i=1}^M c_{ii} - \sum_{i=1}^M c_{i(M-i+1)} \dots (4.4)$$

Energi dibagi dalam 4 (empat) ciri, yaitu [11] :

1. Energi yang berhubungan dengan nilai pendekatan (aproksimasi)/Ea, Ea dihitung berdasarkan persentase jumlahan kuadrat dari nilai koefisien aproksimasi ca dibagi dengan jumlahan seluruh koefisien c.

$$E_a = \frac{\sum c_a^2}{\sum c^2} x 100\% \dots (4.5)$$

2. Energi yang berhubungan dengan nilai detail pada arah horizontal/Eh, Eh dihitung berdasarkan persentase jumlahan kuadrat dari nilai koefisien detail pada arah horizontal ch dibagi dengan jumlahan seluruh koefisien c.

$$E_h = \frac{\sum c_h^2}{\sum c^2} x 100\% \dots (4.6)$$

3. Energi yang nilai berhubungan dengan nilai detail pada arah vertikal/Ev, Ev dihitung berdasarkan persentase jumlahan kuadrat dari nilai koefisien detail pada arah horizontal cv dibagi dengan jumlahan seluruh koefisien c.

$$E_v = \frac{\sum c_v^2}{\sum c^2} x 100\% \dots (4.7)$$

Energi yang berhubungan dengan nilai detail pada arah diagonal/Ed, Ed dihiitung berdasarkan persentase jumlahan kuadrat dari nilai koefisien detail pada arah diagonal cd dibagi dengan jumlahan seluruh koefisien c.

$$E_d = \frac{\sum c_d^2}{\sum c^2} x 100\% \dots (4.8)$$

B. Entropi

Entropi merepresentasikan sifat keacakan dari suatu citra. Sifat keacakan sangat terkait erat dengan informasi. Analisis dapat dilakukan dengan berbasis pada informasi yang diperoleh berdasar sifat keacakan ini. Shannon mendefinisikan entropi secara matematis pada persamaan dasar berikut :

$$H = - \sum_{i=0}^N p_i \cdot \log(p_i) \dots (4.9)$$

dengan H adalah entropy dan pi adalah probabilitas kejadian i. Untuk data digital digunakan log dengan bilangan dasar 2. Entropy juga mendefinisikan rerata informasi yang diperoleh.

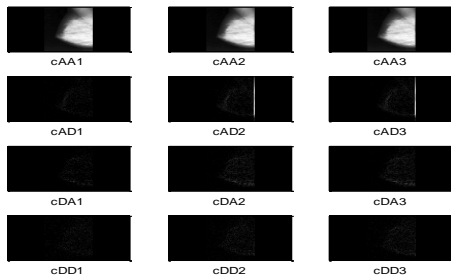
V. Klasifikasi payudara normal dan abnormal dengan fuzzy logic

Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang

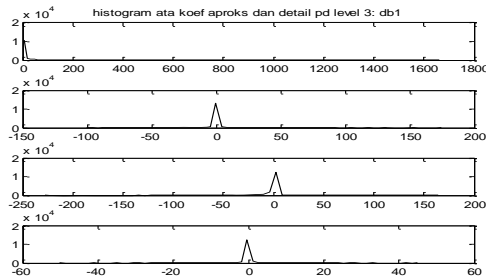
output. Zadeh memperkenalkan teori yang memiliki obyek-obyek dari himpunan fuzzy yang memiliki batasan yang tidak presisi dan keanggotaan dalam himpunan fuzzy, dan bukan dalam bentuk logika benar (*true*) atau salah (*false*), tapi dinyatakan dalam derajat (*degree*). Konsep seperti ini disebut dengan *Fuzziness*. *Fuzziness* dapat didefinisikan sebagai logika kabur berkenaan dengan semantik dari suatu kejadian [9]. Hasil pengambilan dengan logika fuzzy akan menentukan apakah payudara normal atau masuk klasifikasi abnormal dengan mencari nilai TN (True Negative), TP (True Positive), FN (False Negative) dan FP (False Positive).

VI. Hasil dan Pembahasan

Berikut merupakan hasil dekomposisi wavelet haar level 3 beserta histogramnya untuk pengujian pada citra normal dan abnormal :

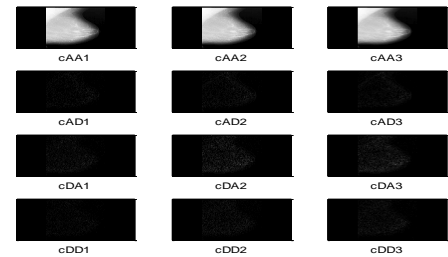


Gambar 4. Hasil dekomposisi wavelet haar Level 3 untuk citra normal

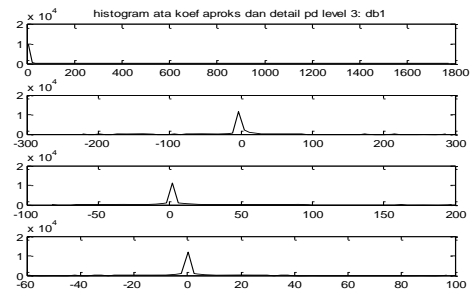


Gambar 5. Histogram ciri energi dekomposisi wavelet haar level 3 untuk citra normal

Dari gambar di atas, menunjukkan nilai dari tiap-tiap koefisien aproksimasi dan koefisien detail dari citra normal.



Gambar 6. Hasil dekomposisi wavelet haar level 3 untuk citra abnormal



Gambar 7. Histogram ciri energi wavelet dekomposisi haar level 3 untuk citra abnormal

Pada gambar diatas menunjukkan nilai dari koefisien aproksimasi dan koefien detail dari citra abnormal. Dari gambar histogram antara kedua citra normal dan abnormal dapat dilihat bahwa citra abnormal memiliki energi yang lebih besar disbanding citra normal.

A. Desain *system fuzzy*

System fuzzy yang digunakan yaitu FIS (fuzzy inference system) tipe sugeno. FIS di desain dengan dua membership input yaitu “energy” dan “entropi” dengan variable input low, middle dan high. Untuk membership output yaitu “hasil” dengan variable normal dan abnormal. Untuk rule fuzzy dibentuk 5 buah rule. Pada proses *defuzzifikasi* (pengambilan keputusan) output normal direpresentasikan dengan 0 dan abnormal direpresentasikan dengan 1. Untuk selanjutnya akan ditentukan apakah hasil klasifikasi termasuk ke dalam kategori TN (True Negative), TP (True Positive), FN (False Negative) dan FP (False Positive) dari proses *defuzzifikasi* tersebut.

TABEL 1. DATA HASIL TRAINING

NORMAL	Ea3	Eh3	Ev3	Ed3	Edetail	energi total	entropi	HASIL KLASIFIKASI DENGAN FUZZY
mdb003	99.31%	0.01%	0.03%	0.00%	0.05%	99.36%	4.5823	TN
mdb004	99.11%	0.01%	0.12%	0.00%	0.12%	99.23%	4.8972	TN
mdb033	99.57%	0.02%	0.17%	0.00%	0.19%	99.76%	3.4523	TN
mdb018	99.89%	0.00%	0.01%	0.00%	0.02%	99.91%	3.2064	TN
mdb020	99.24%	0.01%	0.10%	0.00%	0.11%	99.35%	4.9523	TN
mdb008	99.08%	0.01%	0.14%	0.00%	0.15%	99.23%	4.9704	TN
mdb009	97.92%	0.05%	0.07%	0.00%	0.13%	98.05%	5.0156	TN
RATA-RATA						99.27%	4.4395	
ABNORMAL								
mdb099	99.50%	0.07%	0.15%	0.00%	0.21%	99.71%	3.9163	TP
mdb104	99.66%	0.01%	0.04%	0.00%	0.05%	99.71%	3.8936	TP
mdb107	99.49%	0.04%	0.02%	0.00%	0.06%	99.55%	4.9804	TP
mdb121	99.30%	0.05%	0.02%	0.00%	0.07%	99.37%	5.3528	TP
mdb102	99.82%	0.01%	0.03%	0.00%	0.04%	99.86%	4.0675	TP
mdb105	99.59%	0.03%	0.01%	0.00%	0.04%	99.63%	4.9845	TP
mdb001	99.64%	0.07%	0.09%	0.00%	0.16%	99.80%	4.0177	TP
RATA-RATA						99.66%	4.45897	
AKURASI								100 %
SENSITIVITAS								100%
SPESIFISITAS								100%

TABEL 2. DATA HASIL PENGUJIAN

NORMAL	Ea3	Eh3	Ev3	Ed3	Edetail	energi total	entropi	HASIL
mdb011	98.85%	0.08%	0.05%	0.00%	0.13%	98.98%	4.6563	TN
mdb014	99.17%	0.01%	0.15%	0.00%	0.15%	99.32%	4.5525	TN
mdb016	99.60%	0.02%	0.03%	0.00%	0.04%	99.64%	3.7013	TN
RATA-RATA						99.31%	4.30336	
ABNORMAL								
mdb005	99.29%	0.05%	0.03%	0.00%	0.07%	99.36%	5.1672	TP
mdb010	99.89%	0.00%	0.02%	0.00%	0.02%	99.91%	3.9003	TP
mdb124	99.89%	0.00%	0.02%	0.00%	0.02%	99.91%	3.8925	TP
RATA-RATA						99.73%	4.32	
AKURASI								100%
SENSITIVITAS								100%
SPESIFISITAS								100%

B. Hasil penelitian

Pada penelitian ini citra yang digunakan bersumber dari MIAS dataset yang sudah diberi label, berukuran 1024x1024 pixel, format file pgm, dan diberi nama file mdb-x. x mengacu kepada nomor citra. Setelah di dapatkan hasil pengambilan keputusan dari *defuzzifikasi*, kemudian akan dicari nilai TP (True Positive), TN (True Negative), FP (False Positive) dan FN (False Negative). Nilai ini digunakan untuk mendapatkan nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas dari metode yang dipakai pada penelitian. Metode ini di latih pada masing-masing 7 citra latih normal dan abnormal dan didapatkan nilai akurasi sensitifitas dan spesifisitas 100%. Kemudian sistem diujikan pada masing –masing 3 citra normal dan abnormal, metode akan mendeteksi apakah citra tersebut memang termasuk normal atau abnormal sesuai dengan data latih yang sudah ada di database. Berikut ini merupakan hasil perhitungan dari akurasi, sensitivitas dan spesifisitas metode untuk citra uji :

$$\% \text{ akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FN} \times 100 \dots (7.1)$$

$$\% \text{ akurasi} = \frac{3 + 3}{3 + 0 + 3 + 0} \times 100 = 100\%$$

$$\% \text{ sensitivitas} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100 \dots (7.2)$$

$$\% \text{ sensitivitas} = \frac{3}{3 + 0} \times 100 = 100 \%$$

$$\% \text{ spesitifitas} = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \dots (7.3)$$

$$\% \text{ spesitifitas} = \frac{3}{3 + 0} \times 100 = 100 \%$$

C. Analisis hasil

Dari hasil pengujian didapatkan nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi yaitu 100% untuk data normal dan abnormal. nilai energy dekomposisi wavelet haar memiliki nilai yang lebih tinggi pada citra abnormal dibandingkan citra normal, begitu juga dengan nilai entropi. Yang menggambarkan keseragaman tekstur dan sifat keacakan suatu citra. Dari data penelitian dapat dilihat bahwa nilai energy dekomposisi berbanding terbalik dengan nilai energy, semakin tinggi nilai energy maka nilai entropi citra menjadi semakin kecil. Nilai energy sangat dipengaruhi oleh nilai pada koefisien aproksimasi (Ea). Karena pada Ea yaitu pada subband LL menyimpan lebih banyak informasi citra itu sendiri. Dengan hasil klasifikasi dan system yang dibuat, diharapkan dapat digunakan untuk deteksi dini kanker payudara dan membantu dokter dalam analisis citra mammogram.

VII. Kesimpulan

1. Ciri energi hasil dekomposisi wavelet dan entropi dapat dijadikan sebagai ciri yang akan diekstrak sebagai inputan untuk proses klasifikasi karena merepresentasikan keberagaman tekstur dan sifat keacakan dari citra.

2. System logika fuzzy dapat dijadikan sebagai system klasifikasi dengan nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA :

- [1] www.who.int/cancer/event/breast_cancer_month/en/
- [2] www.depkes.go.id/index.php/press-realise/
- [3] M. Vidhya, N. Sangeetha, and M. N. Vimalkumar, "Early Stage Detection of Cancer in Mammogram Using Statistical Feature Extraction," pp. 401–404, 2011.
- [4] M. Transformasi and P. Wavelet, "Makalah seminar tugas akhir analisis tekstur menggunakan metode transformasi paket," pp. 1–8, 1982.
- [5] M. T. Akhir, "Identifikasi keberadaan kanker pada citra mammografi menggunakan metode wavelet haar," pp. 1–7.
- [6] S. A. Butler, R. J. Gabbay, D. A. Kass, D. E. Siedler, K. F. O. Shaughnessy, and R. A. Castellino, "Computer-Aided Detection in Diagnostic Mammography :," no. November, pp. 1511–1515, 2004.
- [7] S. Amutha and R. S. M, "Bi-Orthogonal Wavelet."
- [8] T. Discrete and W. Transform, "Topic 7: Discrete Wavelet Transform."
- [9] B. A. B. Ii and T. Teoritis, "BAB II TINJAUAN TEORITIS 2.1. Pengertian Fuzzy Logika," 1965.
- [10] T. Roorkee, "Contrast Enhancement of Mammographic Images Using Wavelet Transform Vijaya Kumar Gunturu Ambalika Sharma," pp. 323–327, 2010.
- [11] Irtawaty, Andi Sri "ekstraksi ciri berbasis wavelet untuk perhitungan kuantitas bakteri lactobacillus bulgarius dan streptococcus thermophiles pada yogurt'. universitas gadjahmada. 2014

Pengujian *Tracking Color* Menggunakan IP Webcam untuk Deteksi Ketinggian Air

Adhadi Kurniawan, I Wayan Mustika, dan Sri Suning Kusumawardani

Laboratorium Sistem Elektronis, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Jl. Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281, Indonesia

Email : adhadi.k_s2te12@mail.ugm.ac.id, wmustika@ugm.ac.id, suning.kusuma69@gmail.com

Abstract— Flood is a type of natural disaster that may occur periodically. It could cause severe damage, with the advance of digital image processing technology, various applications can be applied to assist people in various field. In this study, a technique to detect the water level using digital image processing is proposed. The proposed technique uses tracking the object color method to identify the water level and RGB color for testing. RGB color test is used to get a clear color and contrast which can be detected later using an IP webcam. The selected color will be used as indicator either normal or warning limit. On testing to detect colors, the colors that are in use are the basic colors are red, green and blue. The success rate in detecting the base color that is 97% for red, 10% for green color and 48% for the color blue. Based on the success rate of the then used was red. In testing to detect water levels, IP webcam can detect water levels based on the color red and the success rate obtained is 95% of the overall testing.

Keywords-Tracking Objects; ColorFiltering; Segmentation Color; IP Webcam

Abstrak— Banjir adalah jenis bencana alam yang terjadi secara alami dan berulang yang dapat secara langsung maupun secara tidak langsung dapat menimbulkan kerusakan parah dan ancaman publik. Kemajuan teknologi pengolahan citra digital yang semakin pesat, maka dapat mempermudah manusia dan dewasa ini banyak aplikasi yang dapat menerapkannya dalam berbagai bidang. Penelitian ini melakukan deteksi ketinggian air dengan menggunakan pengolahan citra digital. Metode yang ditawarkan adalah metode *tracking object color*. Warna yang dipilih akan dijadikan indikator ketinggian air dengan skala penunjukkan batas normal dan batas ketinggian yang berpotensi banjir. Pada pengujian mendeteksi warna, warna yang di gunakan adalah warna dasar yaitu warna merah, warna hijau dan warna biru. Tingkat keberhasilan yang didapat dalam mendeteksi warna dasar yaitu 97% untuk warna merah, 10% untuk warna hijau dan 48% untuk warna biru. Berdasarkan tingkat keberhasilan yang didapat maka yang digunakan adalah warna merah. Dalam pengujian mendeteksi ketinggian air, IP webcam dapat mendeteksi ketinggian air berdasarkan warna merah dengan baik dan tingkat keberhasilan yang didapat adalah 95% dari keseluruhan pengujian.

Katakunci-Tracking Objek; Color Filtering; Segmentasi Warna; IP Webcam

I. PENDAHULUAN

Banjir adalah jenis bencana alam yang terjadi secara alami dan berulang yang dapat secara langsung maupun secara tidak langsung dapat menimbulkan kerusakan parah dan ancaman publik. Menurut [1], banjir adalah adanya air di daerah yang biasanya kering, sedangkan bencana banjir adalah banjir yang *signifikan* mengganggu atau mengganggu aktivitas manusia dan sosial. Banjir dapat terjadi tanpa pemberitahuan sebelumnya, oleh karena itu diperlukan sistem peringatan dini mengenai banjir. Sistem peringatan dini tentang banjir pada prinsipnya dimaksudkan supaya masyarakat yang bermukim di daerah *endemik* agar dapat memperoleh informasi lebih awal tentang besaran (*magnitude*) banjir yang mungkin terjadi dan juga waktu evakuasi memadai sehingga risiko yang ditimbulkan dapat diminimalkan [2].

Sistem peringatan dini banjir dapat dicapai salah satunya dengan mendeteksi ketinggian pintu air. Penelitian yang berkaitan dengan deteksi ketinggian air dilakukan dengan sistem monitoring tingkat ketinggian air berdasarkan berbasis mikrokontroler [3]. Sistem ini merupakan sebuah peralatan yang berfungsi mendeteksi ketinggian air oleh sensor dan hasilnya dilaporkan melalui sebuah peralatan *display* yang berupa LCD dan LED. Informasi tentang tingkat ketinggian air ditunjukkan oleh peralatan *display* tersebut. Memonitor tingkat ketinggian air selain menggunakan peralatan *display* berupa LCD dan LED dapat juga menggunakan teknologi kamera. Kamera yang digunakan dapat berbasis *webcam*, CCTV maupun IP kamera. Pemrosesan biasanya menggunakan pengolahan citra digital.

Perkembangan teknologi menggunakan pengolahan citra digital sudah banyak diaplikasikan, baik dalam masukannya berupa file *image*, file video bahkan menggunakan kamera. Pemrosesan video pendeteksi kecepatan dan ketinggian aliran lahar dingin pendukung sistem peringatan dini merupakan salah satu memanfaatkan *computer vision system* deteksi kecepatan dan ketinggian aliran lahar. Metode deteksi ini dirancang menggunakan metode *optical flow pyramidal lucas kanade*, *edge detection sobel*, *thresholding*, *frame adder*, *hough transform*, *dilation* dan *region of interest* [4]. Pada aplikasi lainnya, sistem pendeteksi orang tergeletak memanfaatkan kamera pengawas dengan menggunakan metode *template matching*. Penelitian ini merancang suatu sistem yang dapat mendeteksi orang tergeletak dengan memanfaatkan kamera pengawas sebagai *divais* masukan citra dan kemudian citra masukan akan diolah dengan

proses *background subtraction*, *binerisasi*, *median filtering*, *hole-filing*, dan *template matching* [5]. Sedangkan Penggunaan *tracking object* pada penelitian [6] membuat sistem yang bertujuan dalam penggunaan sebuah robot untuk melakukan *tracking* sebuah bola lalu mengikutinya pada jarak yang bisa berubah-ubah.

Beberapa penyebab bencana banjir adalah tingginya curah hujan yang terjadi dan luasnya sungai yang tidak mampu menampung aliran air. Faktor lain juga akibat penggunaan lahan yang salah di daerah-daerah. Tingkat populasi yang meningkat menyebabkan pemukiman yang tidak terkontrol dan tidak teratur [7]. Tingginya curah hujan yang terjadi di hulu sungai membuat jumlah debit air meningkat sehingga ketinggian air juga meningkat, oleh karena itu ketinggian air dapat mengakibatkan banjir. Indikator ketinggian di pintu air bendungan selalu dipantau. Tiap bendungan batas ketinggian air berbeda-beda. Berdasarkan informasi yang diberikan oleh [8] menunjukkan batas status normal di bendungan Katulampa adalah kurang dari 80 cm sedangkan indikator ketinggian melebihi 200 cm status berubah menjadi siaga 1. Perubahan status ketinggian ini merupakan indikator akan terjadi banjir.

Penelitian melakukan deteksi ketinggian air dengan menggunakan pengolahan citra digital. Metode yang ditawarkan adalah metode *tracking object color* dengan bantuan Matlab untuk mengolah citra. Penelitian ini menggunakan pengujian warna RGB. Pengujian warna RGB ini nanti untuk mendapatkan warna yang jelas dan kontras yang dapat terdeteksi oleh IP *webcam*. Warna yang dipilih akan dijadikan indikator ketinggian air dengan skala penunjukkan batas normal dan batas ketinggian yang berpotensi banjir. Prosedur *tracking color* ini lebih ditekankan pada proses pencarian warna dan mendeteksi ketinggian air berdasarkan resolusi citra yang tertangkap oleh IP *webcam*. Perubahan ketinggian air berdasarkan volume air dalam waduk. Pada prosesnya IP *webcam* akan menangkap citra, citra yang tertangkap akan dilakukan *tracking object color* dengan teknik *color filtering* dan segmentasi warna. Proses *tracking object color* ini digunakan untuk menemukan sebuah warna yang terdapat pada citra. Setelah menemukan warna yang dicari pada citra maka proses selanjutnya adalah melakukan proses *bounding box*. *Bounding box* di sini membentuk sumbu X dan Y. Sumbu X dan Y ini merupakan lebar dan tinggi pada citra. Ukuran dari *bounding box* akan terus berubah-ubah menyesuaikan dari ukuran objek yang di *tracking* [9] sehingga ketinggian dapat dideteksi berdasarkan warna yang dipilih nantinya.

II. TEORI

A. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital secara umum didefinisikan sebagai pemrosesan citra dua dimensi dengan komputer. Dalam konteks yang lebih luas, pengolahan citra digital mengacu pada pemrosesan setiap data 2 dimensi. Citra digital merupakan sebuah larik (*array*) yang berisi nilai-nilai real maupun kompleks yang merepresentasikan dengan deretan *bit* tertentu [10].

Pengolahan citra atau *image processing* adalah suatu sistem dimana proses dilakukan dengan masukan berupa

citra (*image*) dan hasilnya (*output*) juga berupa citra (*image*). Pada awalnya pengolahan citra ini dilakukan untuk memperbaiki kualitas citra, namun dengan berkembangnya dunia komputasi yang ditandai dengan semakin meningkatnya kapasitas dan kecepatan proses komputer, serta munculnya ilmu-ilmu komputer yang memungkinkan manusia dapat mengambil informasi dari suatu citra maka *image processing* tidak dapat dilepaskan dengan bidang *computer vision* [11].

B. Color Filtering

Color Filtering adalah metode yang berguna untuk menemukan sebuah warna yang terdapat pada sebuah gambar, dengan ditemukannya warna yang dicari pada sebuah gambar, kita dapat menentukan proses apa yang selanjutnya harus dilakukan.

Pada dasarnya pencarian ini menggunakan kombinasi dari komponen *Red*, *Green*, dan *Blue* yang terdapat pada gambar. Nilai dari masing-masing komponen ini didapat dari hasil beberapa kali eksperimen. Hasil dari eksperimen ini adalah sebuah kombinasi dari komponen warna *Red*, *Green*, dan *Blue*. Kombinasi warna ini yang kemudian dijadikan *filter* yang merupakan penentu sebuah warna diloloskan atau tidak.

Keluaran dari metode ini langsung akan menghasilkan sebuah gambar *biner*. Gambar *biner* sendiri adalah sebuah gambar yang hanya memiliki 2 derajat keabuan yaitu hitam dan putih seperti pada Gambar 1. Dimana warna putih pada gambar adalah merupakan representasi dari sebuah *pixel* yang warnanya di loloskan. Sedangkan warna hitam pada gambar merupakan representasi dari *pixel* yang warnanya tidak di loloskan, sehingga dari proses diatas dapat menyimpulkan bahwa warna putih pada gambar adalah objek yang sedang dicari karena warna putih pada gambar merupakan warna pada *pixel* yang sesuai dengan *filter* yang didapat dari hasil eksperimen [12].



Gambar 1. Contoh Gambar Derajat Keabuan

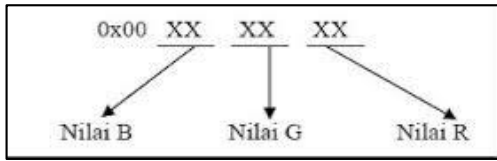
C. Sistem Warna RGB

Dalam pengolahan citra warna di tunjukkan dengan nilai *heksadesimal* dari 0x00000000 sampai 0x00ffffff. Warna hitam adalah 0x00000000 dan warna putih adalah 0x00ffffff. Definisi warna diatas seperti Gambar 1 dibawah, *variabel* 0x00 menyatakan angka di belakangnya adalah *heksadesimal*.

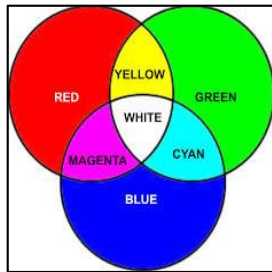
Terlihat pada Gambar 2, bahwa setiap warna memiliki *range* nilai 00 (angka desimalnya adalah 0) dan ff (angka desimalnya adalah 256), atau mempunyai nilai derajat keabuan $256 = 28$. Dengan demikian *range* warna yang digunakan adalah $(28)(28)(28) = 224,2$ (atau dikenal dengan istilah *True Color* pada *windows*). Nilai warna yang digunakan diatas merupakan gabungan warna

cahaya merah, warna hijau dan warna biru seperti yang terlihat pada Gambar 3, sehingga untuk menentukan nilai suatu warna yang bukan warna dasar digunakan gabungan skala kecerahan setiap warnanya.

Gambar 3 dibawah ini untuk menyajikan warna tertentu dapat dengan mudah dilakukan, yaitu dengan mencampur ketiga warna dasar RGB [12].



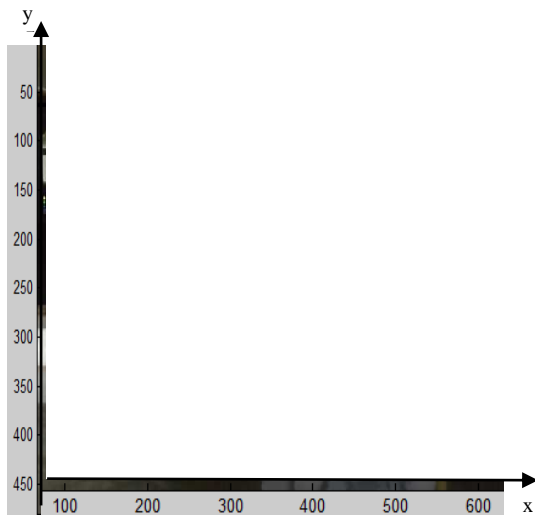
Gambar 2. Nilai Warna RGB dalam Heksadesimal



Gambar 3. Kombinasi Warna dalam Heksadesimal

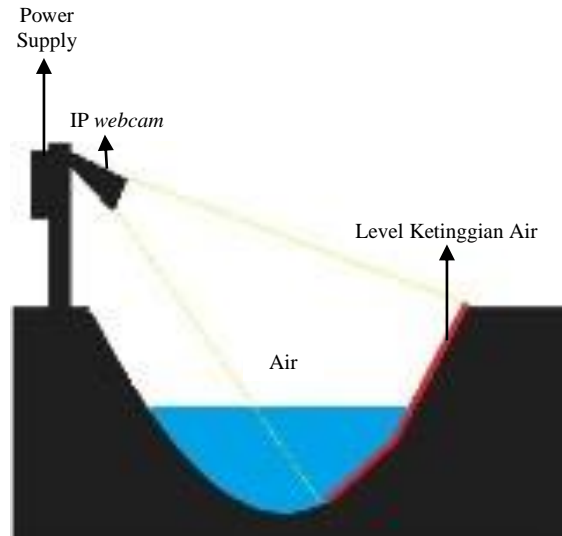
III. TINJAUAN SISTEM

Sistem dalam penelitian ini menggunakan IP *webcam* untuk mendeteksi ketinggian air. Pada prosesnya IP *webcam* akan menangkap citra, citra yang tertangkap akan dilakukan *tracking object color*. Proses *tracking object color* ini digunakan untuk menemukan sebuah warna yang terdapat pada citra. Setelah menemukan warna yang dicari pada citra maka proses selanjutnya adalah melakukan proses *bounding box*. *Bounding box* akan menunjukkan skala penunjukkan batas ketinggian air berdasarkan warna. Ini terlihat dari perubahan objek dengan menyesuaikan dari ukuran objek warna yang di *tracking*. Objek akan direpresentasikan ke ukuran *resolusi* IP *webcam* dengan *resolusi* 640x480. Ukuran *resolusi* ini terlihat pada Gambar 4 sehingga skala penunjukkan batas ketinggian air berdasarkan warna akan terlihat pada sumbu Y pada citra tersebut.



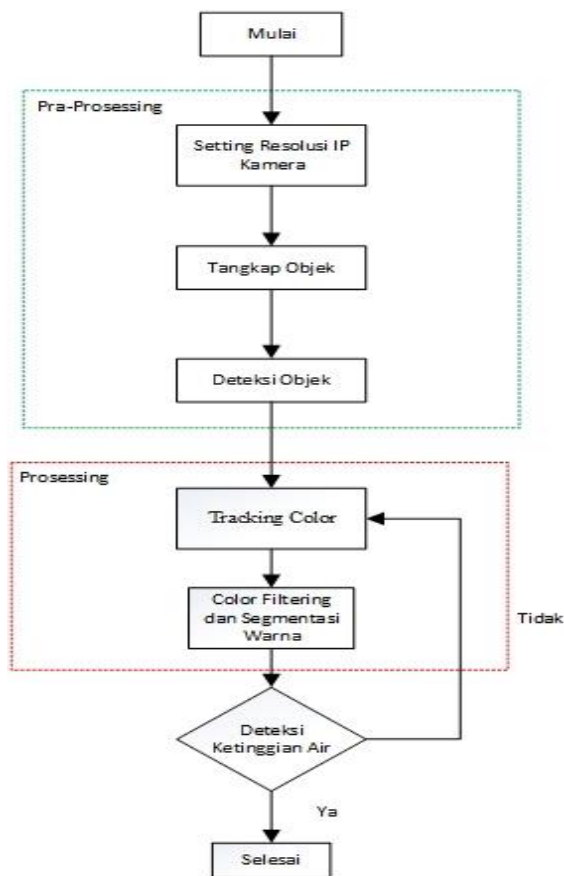
Gambar 4. Ukuran Resolusi Kamera 640x480

Dalam penempatan IP *webcam* terletak lebih tinggi dari objek yang dideteksi sedangkan skala penunjukkan ketinggian air berdasarkan warna ditempatkan di dalam air. Penempatan IP *webcam* skala penunjukkan ketinggian air berdasarkan warna terlihat pada Gambar 5 dibawah ini. Semakin banyak air yang tertampung, maka semakin tinggi air dan IP *webcam* akan mendeteksi ketinggian tersebut dengan skala penunjukkan berdasarkan warna yang telah ditentukan. Skala penunjukkan ini akan memberikan informasi batas normal dan batas ketinggian yang berpotensi banjir. Informasi ketinggian ini akan dapat menjadi masukan terhadap tindakan yang akan dilakukan oleh pihak terkait.



Gambar 5. Penempatan IP webcam

Sedangkan *flowchart* sistem kerja deteksi ketinggian air berdasarkan warna terlihat pada Gambar 6. Sistem ini ketika dijalankan IP *webcam* terlebih dahulu di *setting resolusi* yang diinginkan, lalu IP *webcam* akan menangkap objek, setelah objek tertangkap proses selanjutnya adalah mendeteksi objek yang berwarna. Objek yang berwarna itu akan di *tracking* setelah itu di lakukan tahap *color filtering* dan segmentasi warna mencari warna yang diinginkan. Pada proses *tracking* ini juga proses *bounding box* dilakukan untuk mendeteksi ketinggian air. Proses *bounding box* ini akan berubah-ubah sesuai dengan objek yang dideteksi. Ketika terjadi perubahan ketinggian maka akan dilakukan *tracking* kembali, jika terdeteksi ketinggian yang berpotensi banjir maka proses berhenti.



Gambar 6. Flowchart Sistem Kerja Deteksi Ketinggian Air

IV. PENGUJIAN DAN HASIL

A. Pengujian

Untuk mengetahui keandalan dalam mendeteksi ketinggian air berdasarkan warna dilakukan beberapa *tracking* warna merah, hijau dan biru. Hasil ini nanti akan menetapkan warna apa yang akan digunakan dalam skala penunjukkan deteksi ketinggian air berdasarkan warna. Pengujian dilakukan dengan berdasarkan intensitas cahaya. Pada pengujian ini akan dilakukan beberapa perlakuan. Dalam perlakuan ini intensitas cahaya sama dengan 0 dianggap kondisi gelap, intensitas cahaya kurang dari 35 dianggap redup dan lebih dari 35 dianggap terang. Dalam intensitas cahaya satuan yang digunakan lux. Pada Tabel I, II dan III menunjukkan perlakuan yang diujikan dengan warna dasar yaitu warna merah, warna hijau dan warna biru. Pengujian ini juga berdasarkan jarak yang digunakan bervariasi untuk melihat juga kemampuan IP *webcam* dapat menangkap citra.

Setelah pengujian warna selesai dilakukan dan didapat warna apa yang tepat digunakan dalam mendeteksi ketinggian maka pengujian selanjutnya adalah mendeteksi ketinggian air berdasarkan warna. Pengujian ini dilakukan dengan intensitas cahaya berbeda dan kemampuan IP *webcam* dalam mendeteksi ketinggian berdasarkan warna. Warna yang dipilih sebagai skala penunjukan ketinggian air.




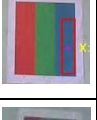

TABEL I. DATA PERLAKUAN PENGUJIAN BERDASARKAN KATAGORI PENCAHAYAAN DAN WARNA MERAH

No	Resolusi	Citra	Intensitas Cahaya (lux)	Jarak IP Webcam (cm)	Uji	Berhasil
1	320x240		7	80	20	20
2			21	80	20	19
3			110	210	20	19
4			149	210	20	19
5			166	30	20	20






TABEL II. DATA PERLAKUAN PENGUJIAN BERDASARKAN KATAGORI PENCAHAYAAN DAN WARNA HIJAU

No	Resolusi	Citra	Intensitas Cahaya (lux)	Jarak IP Webcam (cm)	Uji	Berhasil
1.	320x240		6	120	20	3
2			17	210	20	2
3			23	60	20	2
4			52	80	20	1
5			123	210	20	2

TABEL III. DATA PERLAKUAN PENGUJIAN BERDASARKAN KATEGORI PENCAHAYAAN DAN WARNA BIRU

No	Resolusi	Citra	Intensitas Cahaya (lux)	Jarak IP Webcam (cm)	Uji	Berhasil
1.	320x240		4	80	20	2
2			20	60	20	15
3			47	210	20	5
4			112	120	20	18
5			123	210	20	8

TABEL IV. DATA PERLAKUAN PENGUJIAN BERDASARKAN KATEGORI PENCAHAYAAN DAN DETEKSI KETINGGIAN AIR

No	Resolusi	Citra	Intensitas Cahaya (lux)	Jarak IP Webcam (cm)	Uji	Deteksi Tinggi
1	320x240		10	30	20	19
2			15	30	20	18
3			15	30	20	19
4			20	30	20	20
5			20	30	20	19

B. Hasil

Pengujian dilakukan terhadap warna merah terlihat pada Tabel I, IP *webcam* dapat mendeteksi warna merah dengan intensitas cahaya sebesar 7 lux, dengan jarak terhadap objek sejauh 80 cm. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali dengan tingkat keberhasilan yang ditunjukkan dari IP *webcam* menangkap objek warna merah pada kondisi intensitas yang berbeda-beda. Intensitas cahaya pada pengujian mulai dari intensitas cahaya yang redup sebesar 7 lux hingga intensitas cahaya terang sebesar 166 lux mendapatkan tingkat keberhasilan rata-rata sebesar 97% dari jumlah keseluruhan pengujian pada warna merah.

Pengujian selanjutnya, dilakukan terhadap warna hijau terlihat pada Tabel II, IP *webcam* belum dapat mendeteksi warna hijau. Hal ini terlihat pada beberapa kali pengujian dengan intensitas cahaya yang berbeda dan jarak IP *webcam* terhadap objek tetap belum dapat dideteksi. Intensitas cahaya pada pengujian mulai dari intensitas cahaya yang redup sebesar 6 lux hingga intensitas cahaya sebesar 123 lux mendapat tingkat keberhasilan rata-rata sebesar 10% dari jumlah keseluruhan pengujian pada warna hijau.

Kemudian pengujian dilakukan terhadap warna biru terlihat pada Tabel III, IP *webcam* dapat mendeteksi warna biru dengan intensitas cahaya sebesar 20 lux, dengan jarak terhadap objek sejauh 60 cm. Pengujian dilakukan dengan beberapa perlakuan intensitas cahaya dan dilakukan sebanyak 20 kali tiap percobaan. Perlakuan intensitas cahaya yang redup sebesar 4 lux hingga intensitas cahaya yang terang sebesar 123 lux didapat tingkat keberhasilan yang ditunjukkan dalam mendeteksi warna biru rata-rata dari keseluruhan pengujian sebesar 48%.

Berdasarkan pengujian pada deteksi warna yang telah dilakukan maka dapat ditentukan warna apa yang tepat dijadikan sebagai skala penunjukkan ketinggian air. Warna yang tepat berdasarkan pengujian deteksi warna adalah warna merah. Tingkat keberhasilan yang ditunjukkan dalam mendeteksi warna merah sebesar 97%. Pemilihan warna merah ini juga dikarenakan warna dasar merah mempunyai warna yang kontras terhadap *background* selain itu juga pada kondisi redup warna merah tetap dapat terdeteksi oleh IP *webcam*.

Pada pengujian deteksi ketinggian air, warna merah digunakan sebagai skala penunjukkan ketinggian air. Pengujian ini dapat dilihat pada Tabel IV. Tabel IV memperlihatkan bagaimana IP *webcam* mendeteksi ketinggian air. Pengujian dilakukan dengan simulasi, simulasi dengan menempatkan skala penunjukkan warna merah pada dinding aquarium. IP *webcam* mendeteksi ketinggian secara berkala. Ketinggian air terdeteksi berbeda-beda sesuai dengan ketinggian air. Pada pengujian yang pertama dilakukan 20 kali pengujian dengan intensitas cahaya 10 lux, dengan jarak IP *webcam* 30 cm terdeteksi ketinggian 19 kali ketinggian air. Skala penunjukkan warna merah menunjukkan sumbu Y yang dijadikan indikator ketinggian pada citra menunjukkan ketinggian 145 *pixel*. Sedangkan pada pengujian ketiga dengan ketinggian air berbeda menunjukkan ketinggian 154 *Pixel*, kemudian pada pengujian yang kelima

menunjukkan ketinggian 274 *pixel*. Pengujian masing-masing dilakukan sebanyak 20 kali dengan total pengujian 100 kali pengujian. Tingkat keberhasilan rata-rata IP *webcam* mendeteksi ketinggian air sebesar 95% dari keseluruhan pengujian yang dilakukan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian deteksi warna dan deteksi ketinggian air maka dapat disimpulkan bahwa IP *webcam* dapat mendeteksi warna dasar yaitu warna merah, warna hijau, dan warna biru. Tingkat keberhasilan rata-rata dalam mendeteksi warna dasar adalah 97% untuk warna merah, 10% untuk warna hijau, dan 48% untuk warna biru sehingga dalam pemilihan warna untuk skala penunjukkan yang tepat menggunakan warna merah dengan tingkat keberhasilan sebesar 97%. Kemudian pada pengujian deteksi ketinggian air dengan skala penunjukkan warna merah dari 20 kali pengujian tiap percobaan dengan total pengujian 100 kali pengujian dapat mendeteksi ketinggian air dengan baik. Tingkat keberhasilan yang ditunjukkan mencapai 95% dari keseluruhan pengujian.

REFERENCES

- [1] S N Jonkman and I. Kelman, "An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths," pp. 75-97, 2005.
- [2] G. Irianto, "Sistem Peringatan Dini Tentang Banjir," ed: Kompas, 2003.
- [3] Z. Budiarmo, "SISTEM MONITORING TINGKAT KETINGGIAN AIR BENDUNGAN BEBASIS MIKROKONTROLLER," *Jurnal Dinamika Informatika*, vol. 3, 2011.
- [4] L. Awaludin, A. Harjoko, and R. Sumiharto, "Pemrosesan Video Pendeteksi Kecepatan dan Ketinggian Aliran Lahar Dingin Pendukung Sistem Peringatan Dini," *IJEIS-Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems*, vol. 2, pp. 187-198, 2012.
- [5] J. K. Candra, "Sistem Pendeteksi Orang Tergeletak Memanfaatkan Kamera Pengawas dengan Menggunakan Metode Template Matching," 2013.
- [6] G. S. Nahla, S. Setiawardhana, and D. Pramadihanto, "Tracking Bola Menggunakan Robotino," *EEPIS Final Project*, 2011.
- [7] I. Akar, K. Kalkan, D. Maktav, and Y. Ozdemir, "Determination of land use effects on flood risk by using integration of GIS and remote sensing," in *Recent Advances in Space Technologies, 2009. RAST '09. 4th International Conference on*, 2009, pp. 23-26.
- [8] P. Air. Available: http://27.111.43.223/banjir/Mobile/#hal_1
- [9] N. R. B.S.L and D. F. Akbar, "Object Tracking Berbasis Background Substraction dan Kalman Filter " 2014.
- [10] D. Putra, *Pengolahan citra digital*: Penerbit Andi, 2010.
- [11] H. Mulyawan, "IDENTIFIKASI DAN TRACKING OBJEK BERBASIS IMAGE PROCESSING SECARA REAL TIME," *EEPIS Final Project*, 2011.
- [12] H. Prabowo and S. Soelistiono, "Multiple Object Tracking OpenCV (Pelacakan Beberapa Objek Menggunakan OpenCV) " Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya.

Pemetaan Alamat dan Fungsi Basis untuk Meningkatkan Unjuk-Kerja *CMAC*

Muhamad Iradat Achmad¹⁾, Adhi Susanto²⁾, Hanung Adinugroho³⁾

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia

¹⁾ iradat@ymail.com, ³⁾ adinugroho@ugm.ac.id

Abstract—Cerebellar Model Articulation Controller (*CMAC*) is an artificial neural network that uses a postulate of the cerebellum model as its basic structure. This network process inputs into outputs through a series of mapping including the Look Up Table (*LUT*)-based address and binary basis function mappings. The *LUT* address mapping works fast but the characteristics of the input is not well incorporated to the structure and the needs of computation resources is not practical for a system with high input resolution. The binary basis function mapping is easily implemented but produces roughly output.

This paper proposes a formula based address mapping that is more sensitive to the characteristics of the input and can be applied to a variety of input resolutions. This paper also proposes an operational basis function mapping by introducing a calculation of the basis function center and uses it to compute the output in term of the input space. In implementation, *CMAC* is used to reconstruct the “peaks” function with both limited and complete training datasets. Results show that the enhanced *CMAC* increases the network performance of Mean Square Error (*MSE*) (factor of 96%), *MSE* of the leave-one-out training (factor of 86%), ratio of zero weights (factor of 4%), and ratio of weights (factor of 0.5%).

Intisari—Cerebellar Model Articulation Controller (*CMAC*) adalah jaringan syaraf tiruan yang menggunakan postulat model otak kecil sebagai struktur dasarnya. Jaringan ini mengolah masukan menjadi keluaran melalui serangkaian pemetaan termasuk pemetaan alamat *Look Up Table (LUT)* dan fungsi basis biner. Pemetaan alamat *LUT* bekerja cepat namun karakteristik masukan tidak tercakup secara baik ke dalam struktur dan kebutuhan komputasi tidak praktis untuk sistem dengan resolusi masukan tinggi. Pemetaan fungsi basis biner diimplementasikan lebih mudah namun menghasilkan keluaran yang kasar.

Tulisan ini mengusulkan pemetaan alamat berdasar rumus yang lebih peka karakteristik masukan dan dapat diterapkan untuk beragam resolusi masukan. Tulisan ini juga mengusulkan pemetaan fungsi basis operasional dengan mengintrodusir perhitungan pusat fungsi basis dan menggunakannya untuk menghitung keluaran dalam konteks ruang masukan. Dalam implementasi, *CMAC* digunakan untuk merekonstruksi fungsi “peaks” dengan *dataset* pelatihan terbatas dan lengkap.

Hasil menunjukkan bahwa *CMAC* yang ditingkatkan meningkatkan unjuk-kerja jaringan *Mean Square Error (MSE)* (96%), *MSE* pelatihan *leave-one-out* (86%), rasio bobot nol (4%), dan rasio bobot (0.5%).

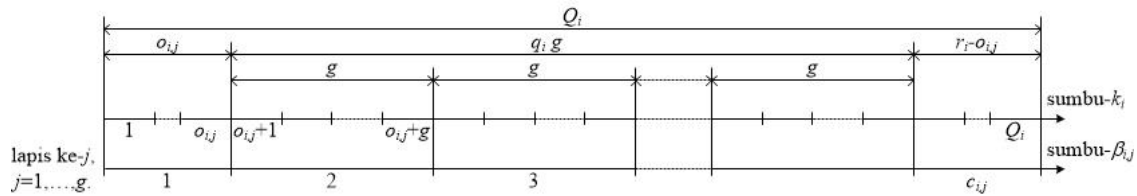
Kata kunci-peningkatan *CMAC*, simplifikasi pemetaan alamat, pemetaan fungsi basis operasional

I. PENGANTAR

Cerebellar Model Articulation Controller (CMAC) orisinal adalah jaringan syaraf tiruan yang menggunakan postulat model otak kecil (*cerebellum*) [1] sebagai struktur dasarnya. Menurut postulat itu, model otak kecil ekuivalen secara struktural dan fungsional dengan modifikasi jaringan Perceptron [2] untuk meningkatkan kemampuan diskriminasi pola masukan dan kecepatan belajar. Dalam modifikasi tersebut, suatu pengkode biner digunakan untuk memetakan pola masukan menjadi serangkaian digit biner dan lokasi digit ‘1’ dan ‘0’ bersesuaian dengan alamat fungsi basis aktif dan tidak aktif. Pengkode biner memetakan pola masukan mirip menjadi alamat fungsi basis saling berdekatan dan pola masukan berbeda menjadi alamat fungsi basis saling berjauhan. Karakteristik ini mendasari sifat generalisasi lokal dan mempengaruhi kemampuan dikotomi masukan dan kecepatan belajar *CMAC*.

CMAC mengolah masukan menjadi keluaran melalui serangkaian pemetaan termasuk pemetaan alamat berdasar *LUT* dan fungsi basis biner. Menurut [3], pemetaan alamat *LUT* memerlukan ruang penyimpanan besar dan penelitian itu mengusulkan skema pengalamatan langsung untuk mereduksi kebutuhan penyimpanan. Secara prinsip kedua skema tersebut sama karena ruang masukan dan alamat memiliki sistem koordinat berbeda dan hampir semua alamat mencakup lebih dari satu masukan. Kedua skema itu menghasilkan alamat yang terdistribusi pada arah diagonal ruang masukan sehingga karakteristik masukan pada arah berbeda tidak tercakup ke dalam struktur. Tulisan ini mengusulkan pemetaan alamat berdasar rumus yang mengintrodusir variabel ubah-posisi untuk mendapatkan tumpang-susun alamat aktif yang terdistribusi merata ke semua arah ruang masukan sehingga karakteristik masukan saling bertetangga dapat tercakup ke dalam struktur *CMAC*. Pemetaan ini menjadi lebih bermakna pada sistem dengan resolusi masukan tinggi. Tulisan ini juga mengusulkan pemetaan fungsi basis operasional dengan mengintrodusir perhitungan pusat fungsi basis dan menggunakannya untuk menghitung keluaran dalam konteks ruang masukan. Adanya pemetaan ini menjadikan ragam fungsi matematis [4] dapat diterapkan sebagai fungsi basis *CMAC* yang operasional.

Bagian ini telah menjelaskan secara umum tentang *CMAC* dan usulan peningkatannya. Bagian II menjelaskan rangkaian pemetaan *CMAC* dengan memberi penekanan pada pemetaan yang akan ditingkatkan. Bagian III berisi



Gambar 1. Formasi segmen alamat pada sumbu masukan diskrit.

detail peningkatan CMAC yang diusulkan. Bagian IV menjelaskan metode penilaian unjuk-kerja yang digunakan dalam implementasi. Bagian V berisi implementasi CMAC. Bagian VI berisi kesimpulan dan mengakhiri tulisan ini.

II. CMAC

CMAC diusulkan oleh Albus [5][6] untuk aplikasi kendali. Jaringan ini mengolah masukan menjadi keluaran melalui serangkaian pemetaan seperti berikut

$$s \rightarrow k \rightarrow b \rightarrow \beta \rightarrow m \rightarrow a \rightarrow aw \rightarrow y. \quad (1)$$

Dalam hal ini s , k , b , β , m , a , aw , dan y masing-masing secara berurutan adalah masukan kontinu, masukan diskrit, kode biner, segmen alamat, alamat, fungsi basis, fungsi basis terboboti, dan keluaran. Simbol ' \rightarrow ' disebut pemetaan. Pemetaan $s \rightarrow k$ mengubah masukan kontinu s_i menjadi masukan diskrit k_i dengan $i=1,2,\dots,N$ adalah dimensi masukan. Pemetaan $k \rightarrow b$ mengkonversi k_i menjadi kode biner b_i . Pemetaan segmen alamat ($b \rightarrow \beta$) memilih digit $b_j=1$ dan subskrip j terpilih menjadi elemen vektor segmen alamat $\beta_{l=j}$ ($l=1,2,\dots,g$) dengan l adalah nomor lapis. Pemetaan alamat ($\beta \rightarrow m$) menggabung elemen ke- l masing-masing segmen alamat β_i ($i=1,2,\dots,N$) menjadi elemen ke- l vektor alamat m_l ($l=1,2,\dots,g$). Pemetaan $m \rightarrow a$ memicu fungsi basis di masing-masing m_l ($l=1,2,\dots,g$) sehingga diperoleh nilai fungsi basis a_l ($l=1,2,\dots,g$). Akhirnya, pemetaan keluaran ($aw \rightarrow y$) mengakumulasi nilai fungsi basis terboboti aw menjadi keluaran y . Bobot w diperoleh melalui proses pelatihan bobot. Pada CMAC dengan fungsi basis biner ($a=1$), operasi dot (atau inner) product aw ekuivalen dengan penjumlahan elemen bobot aktif w_l ($l=1,2,\dots,g$).

A. Pemetaan Alamat Berdasar LUT, $k \rightarrow b \rightarrow \beta \rightarrow m$

Rangkaian pemetaan ini mengolah masukan diskrit k_i ($i=1,\dots,N$) menjadi alamat m_j ($j=1,\dots,g$) melalui penerapan teknik LUT di masing-masing sub-pemetaan. Pemetaan $k \rightarrow b$ mengkonversi level diskrit k_i menjadi vektor biner b_i . Komposisi bit b_i harus memiliki nilai '1' sepanjang satu dan hanya satu sub-interval pada seluruh level k_i dan nilai '0' pada k_i lainnya. Cacah b_i yang bernilai '1' untuk setiap level adalah konstan. Ukuran vektor biner b_i sebanding dengan resolusi level diskrit k_i . Pemetaan $b \rightarrow \beta$ merampingkan vektor b_i berukuran tertentu menjadi vektor β_i berukuran lebih kecil. Nilai elemen β_i menyatakan lokasi digit b_i yang bernilai '1'. Akhirnya, pemetaan $\beta \rightarrow m$ menggabungkan lokasi univariat β_i ($i=1,\dots,N$) menjadi alamat multivariat m . Realisasi LUT dalam rangkaian pemetaan tersebut sangat bergantung pada kompleksitas (resolusi dan dimensi) ruang masukan diskrit. Realisasi ini cukup cepat untuk kompleksitas rendah namun menjadi masalah untuk

kompleksitas tinggi. Selain itu, kekangan dalam pemetaan $k \rightarrow b$ menyebabkan tumpang-susun alamat dalam $\beta \rightarrow m$ terdistribusi pada arah diagonal ruang masukan sehingga karakteristik masukan bertetangga pada arah berbeda tidak mencakup ke dalam bentukan struktur yang dihasilkan. Masalah ini diselesaikan dalam III.B melalui pemetaan alamat berdasar rumus alamat.

B. Pemetaan Fungsi Basis, $m \rightarrow a$

Pemetaan $m \rightarrow a$ menghitung keluaran fungsi basis biner pada masukan k tercakup alamat m . Nilainya 1 jika k tercakup m dan 0 jika lainnya. Karena itu pemetaan ini menghasilkan keluaran fungsi basis konstan dan pada nilai batas diskontinu. Realisasi pemetaan ini relatif sederhana dengan sumberdaya komputasi minimal. Namun, ketika keluaran konstan cukup memadai untuk beberapa aplikasi, banyak sistem mensyaratkan keluaran fungsi basis kontinu, dan untuk itu fungsi basis tak-biner diperlukan. Beragam fungsi matematis yang ada dalam [4] mengandung variabel fungsi yang nilainya bervariasi dalam ruang masing-masing fungsi sehingga kebutuhan informasi nilai variabel fungsi relatif terhadap ruang masukan menjadikan fungsi tersebut tidak operasional sebagai fungsi basis. Masalah ini diselesaikan oleh pemetaan fungsi basis operasional (III.B).

III. PENINGKATAN CMAC

Bagian ini menjelaskan peningkatan CMAC yang mencakup pemetaan alamat berdasar rumus dan pemetaan fungsi basis operasional.

A. Pemetaan Alamat Berdasar Rumus, $k \rightarrow m$

Pemetaan ini menyederhanakan pemetaan alamat dari $k \rightarrow b \rightarrow \beta \rightarrow m$ menjadi $k \rightarrow m$ dan mengubah dari alamat berorientasi LUT menjadi alamat berorientasi rumus. Pemetaan ini dijelaskan seperti berikut. Gambar 1 menampilkan formasi segmen alamat pada sumbu- k_i ($i=1,\dots,N$). Formasi ini diinterpretasi secara geometris sebagai susunan g lapis $\beta_{i,j}$ ($j=1,\dots,g$). Setiap nilai k_i bersesuaian dengan suatu nilai $\beta_{i,j}$ di lapis- j ($j=1,\dots,g$). Pada lapis ke- j , panjang interval Q_i dibagi oleh g menjadi q_i sub-interval tengah yang masing-masing panjangnya g dan menyisakan dua sub-interval batas yang masing-masing panjangnya o dan $r-o$. Besaran o disebut penyeimbang (offset) yang diintrodukir untuk membuat g lapis segmen alamat yang masing-masing memiliki formasi berbeda. Nilai $o_{i,j}$ menyatakan besar langkah perubahan formasi ke- j dalam unit sumbu- k_i . Nilai $o_{i,j}$ dalam interval $[1,g]$ adalah untuk memastikan bahwa g formasi berbeda memiliki satu sub-interval batas mencakup $k_i=1$ karena satu unit sumbu- k_i setara dengan $(1/g)$ unit formasi m_j . Selain itu, aturan pembagian dua integer menyatakan bahwa pembagian Q_i oleh g (≥ 1) memenuhi relasi $Q_i = o_{i,j} + q_i g + r_i - o_{i,j}$ dengan q_i

adalah hasil bagi (*quotient*), dan $r_{i,j}$ adalah sisa pembagian (*remainder*) yang nilainya terletak dalam interval $[0, g-1]$. Karena itu, cacah segmen alamat pada lapis ke- j adalah

$$c_{i,j} = \left\lceil \frac{Q_i - o_{i,j}}{g} \right\rceil + 1. \quad (2)$$

Dalam hal ini, $\lceil \bullet \rceil$ adalah operator *ceil* (atau pembulatan ke positif tak-berhingga), dan *offset* $o_{i,j}$ pada lapis ke- j adalah

$$o_{i,j} = \begin{cases} d_i j \bmod g, & \text{untuk } 1 \leq j \leq g-1 \\ g, & \text{untuk } j = g. \end{cases} \quad (3)$$

Persamaan (3) menghasilkan nilai $o_{i,j}$ berbeda pada lapis berbeda karena d_i adalah elemen yang *invertible* modulo g dan perkaliannya dengan setiap nilai $j \in \{1, \dots, g\}$ menghasilkan nilai g yang unik. Jika ada suatu nilai j yang memenuhi relasi $d_j \bmod g = 1 \bmod g$ dengan $d_i \in Z_g = \{0, \dots, g-1\}$, maka nilai j tersebut unik dan $d_i \in Z_g$ disebut elemen yang *invertible* dalam Z_g . Nilai $d_i \in Z_g = \{0, \dots, g-1\}$ disebut *invertible* jika dan hanya jika pembagi utama terbesar (*greatest common divisor* disingkat *gcd*) antara d_i dan g adalah satu, yaitu $\text{gcd}(d_i, g) = 1$.

Penerapan (2) (dan juga (3)) pada masing-masing dimensi masukan k_i ($i=1, \dots, N$) menghasilkan ruang segmen alamat N dimensi (disingkat *ND*) β_j ($j=1, 2, \dots, g$) dan titik $k=(k_1, \dots, k_N)$ dalam ruang masukan bersesuaian dengan segmen alamat $\beta_j=(\beta_{1,j}, \dots, \beta_{N,j})$ dalam ruang segmen alamat. Berdasar fakta bahwa perubahan interval k_i dari $[1, Q_i]$ menjadi $[1, u]$ dengan $1 \leq u \leq Q_i$ menyebabkan perubahan dalam (2) dari Q_i ke $Q_i - (Q_i - u) = u$, maka $k_i \in k$ dalam interval $[1, Q_i]$ akan dipetakan melalui

$$\beta_{i,j} = \left\lceil \frac{k_i - o_{i,j}}{g} \right\rceil. \quad (4)$$

ke $\beta_{i,j} \in \beta_j$ dalam interval $[0, c_{i,j}-1]$, sehingga titik masukan *ND* $k=(k_1, \dots, k_N)$ bersesuaian dengan alamat *ND* $m_j=(\beta_{1,j}, \dots, \beta_{N,j})$ pada lapis $j=1, \dots, g$. Ruang masukan *ND* mengandung $L=Q_1 Q_2 \dots Q_N$ masukan $k=(k_1, \dots, k_N)$ dan ruang alamat *ND* pada lapis- j , β_j , berisi

$$p_j = c_{1,j} c_{2,j} \dots c_{N,j}. \quad (5)$$

alamat untuk masing-masing lapis- j ($j=1, 2, \dots, g$) atau

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_g. \quad (6)$$

alamat untuk semua lapis. Nilai $c_{i,j}$ diperoleh dari (2).

Penomoran tunggal alamat dapat diperoleh melalui *reshaping* ruang alamat berdasar urutan nomor dimensi dan paralel terhadap salah satu sumbu. *Reshaping* berdasar urutan nomor dimensi $1, \dots, N$ dan paralel terhadap sumbu- k_1 ditempuh melalui proses rekursif yang dapat dijelaskan sebagai berikut. Rumus alamat untuk perubahan $k_1 \in k$ dalam $[1, Q_1]$ ketika $k_{j \neq 1} = 1 \in k$ adalah

$m_j = \beta_{1,j}$. Perubahan $k_1, k_2 \in k$ ketika $k_{j \neq 1, 2} = 1 \in k$ mengembangkan rumus alamat menjadi $m_j = \beta_{1,j} + \beta_{2,j} c_{1,j}$, yaitu perubahan satu unit $\beta_{2,j}$ memerlukan satu kali penjejakan $c_{1,j}$ alamat yang paralel sumbu- k_1 . Perubahan $k_1, k_2, k_3 \in k$ ketika $k_{j \neq 1, 2, 3} = 1 \in k$ mengubah rumus alamat menjadi $m_j = \beta_{1,j} + \beta_{2,j} c_{1,j} + \beta_{3,j} c_{1,j} c_{2,j}$. Proses terus berlanjut sampai akhirnya perubahan $k_1, \dots, k_N \in k$ menghasilkan rumus nomor alamat lapis ke- j ($j=1, \dots, g$)

$$m_j = \beta_{1,j} + \beta_{2,j} \times c_{1,j} + \beta_{3,j} \times c_{1,j} \times c_{2,j} + \dots + \beta_{N,j} \times c_{1,j} \times c_{2,j} \times \dots \times c_{N-1,j}. \quad (7)$$

Alamat m_j menyatakan nomor alamat relatif terhadap masing-masing lapis. Rumus alamat yang menggunakan penomoran tunggal untuk semua lapis dapat diperoleh melalui

$$m'_j = m_j + \sum_{l=0}^{j-1} p_l \quad (8)$$

dengan $p_0=0, j=1, \dots, g$, dan m'_j dalam $[0, p-1]$. Besaran g disebut parameter generalisasi dan besaran d disebut parameter vektor ubahposisi. Kedua parameter ini ditetapkan dalam tahap desain *CMAC*.

B. Pemetaan Fungsi Basis Operasional, $m \rightarrow a$

Fungsi basis sering dinyatakan dalam bentuk matematis sebagai fungsi dari jarak radial antara titik masukan dan pusat fungsi basis. Beberapa contoh fungsi tersebut adalah fungsi linear radial, fungsi kubik radial, fungsi spline plat tipis (*thin plate*), dan fungsi Gaussian. Bentuk-bentuk fungsi ini dapat digunakan hanya jika pusat fungsi basis relatif terhadap sistem ruang masukan diketahui untuk setiap nilai masukan tercakup. Pada sumbu- k_i , setelah masukan k_i memicu suatu fungsi basis aktif, pusat fungsi basis yang disimbolkan sebagai z_a dapat dihitung melalui

$$z_a(k_i) = \left\{ \begin{aligned} \alpha + \beta &= \chi. & (1) & (1) \\ K_i - [(K_i - jd_k \bmod g) \bmod g] & \\ & + \frac{1}{2}(g+1). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Dalam hal ini,

$$K_i = \begin{cases} k_i - g & \text{jika } 1 \leq k_i \leq (jd_k \bmod g) \\ k_i - 1 & \text{jika } [(jd_k \bmod g) + 1] \leq k_i \leq Q_i, \end{cases} \quad (10)$$

dan batas fungsi basis adalah $t_1 = z_a - 0.5g$ dan $t_2 = z_a + 0.5g$. Pemetaan fungsi basis kemudian memiliki bentuk umum

$$a_i = f(z_a, k_i). \quad (11)$$

dan disebut keluaran fungsi basis univariat karena dipicu oleh variabel masukan $k_i \in k$ ($i=1, \dots, N$) di sumbunya masing-masing. Pemetaan fungsi basis multivariat dapat dihitung melalui

$$a_m = \prod_{i=1}^N a_i. \quad (12)$$

yaitu perkalian antara keluaran masing-masing fungsi basis univariat. Operator perkalian dalam (12) memelihara bentuk fungsi basis univariat.

Bentuk fungsi basis mempengaruhi kemampuan pemetaan keluaran dan pelatihan bobot suatu jaringan. Fungsi Gaussian cenderung menuju 0 ketika jarak radial menuju tak-hingga. Oleh karena itu fungsi ini memiliki representasi lokal sehingga dapat mengurangi interferensi global dalam proses belajar. Karena kekangan lebar fungsi basis berhingga ($=g$), maka fungsi Gaussian dapat dimodifikasi ke bentuk yang lebih kompak seperti berikut

$$f(k_i) = \exp\left(\frac{1}{4((z_a - k_i)/g)^2 - 1}\right). \quad (13)$$

IV. PENILAIAN UNJUK-KERJA

Suatu ukuran yang sering dipergunakan untuk mengetahui seberapa “dekat” vektor keluaran y_i dari vektor keluaran terharap \hat{y}_i dalam suatu *dataset* berhingga $\{a_i, \hat{y}_i\}$ ($i=1, \dots, L$) adalah galat kuadrat rata-rata (*mean squared error*), disingkat *MSE*, dan dihitung melalui

$$MSE = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (\hat{y}_i - y_i)^2. \quad (14)$$

Secara sederhana dapat dikatakan bahwa semakin kecil nilai *MSE*, semakin dekat jarak y_i ke \hat{y}_i , dan semakin tinggi penilaian unjuk-kerja jaringan. Sebaliknya, semakin besar nilai *MSE*, semakin jauh jarak y_i ke \hat{y}_i , dan semakin rendah penilaian unjuk-kerja jaringan. *MSE* sering dipergunakan karena perhitungannya memerlukan sumberdaya komputasi minimal dan unjuk-kerja jaringan langsung dapat dinilai setelah proses pelatihan selesai.

Penilaian unjuk-kerja lebih akurat dapat diperoleh melalui proses pelatihan dan pengujian menggunakan dua subset data berbeda, data latih dan data uji, yang dipilih secara acak dari dataset. Ukuran subset data latih umumnya lebih besar dari ukuran subset data uji karena algoritma pelatihan tidak dapat bekerja baik jika data latih tidak mencukupi, sementara unjuk-kerja jaringan tidak dapat diukur secara akurat jika data uji terlalu kecil. Pembagian dataset secara tepat merupakan kesulitan tersendiri dalam skema ini karena data latih berbeda umumnya memberikan unjuk-kerja jaringan berbeda. Kesulitan tersebut diatasi oleh metode *leave-one-out* melalui penetapan hanya satu data sebagai data uji dan sisanya sebagai data latih proses pelatihan dan pengujian berlangsung dalam beberapa siklus sehingga setiap data dalam datasets mendapat kesempatan sekali menjadi data uji. Pada siklus ke- j , yaitu proses pelatihan tanpa data ke- j

dan proses pengujian menggunakan data ke- j , *mean square error* siklus ke- j , disingkat *MSE_j*, dihitung melalui

$$MSE_j = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (\hat{y}_i - y_i^{(-j)})^2 \quad (15)$$

dengan $y_i^{(-j)}$ adalah elemen ke- i vektor keluaran jaringan yang diperoleh melalui pelatihan tanpa data ke- j . Setelah proses pelatihan dan pengujian seluruh siklus telah dilakukan, rerata *MSE_j* ($j=1, 2, \dots, L$), yang dihitung melalui

$$\overline{MSE} = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L MSE_j, \quad (16)$$

selanjutnya dipergunakan untuk menilai unjuk-kerja jaringan. Penilaian dengan (16) (termasuk (15)) membutuhkan waktu lebih lama dan sumberdaya komputasi lebih besar dari (14), karena proses pelatihan dan pengujian berlangsung dalam beberapa siklus. Meski demikian, penilaian (16) lebih akurat dari (14) karena proses pelatihan tanpa data latih ke- j yang menghasilkan $y_i^{(-j)}$ inheren dengan struktur yaitu cacah dan situasi tumpang-susun bobot aktif yang menyimpan informasi keluaran ke- j , dan inheren dengan kemampuan generalisasi yaitu interpolasi (atau aproksimasi) dan ekstrapolasi lokal data ke- j .

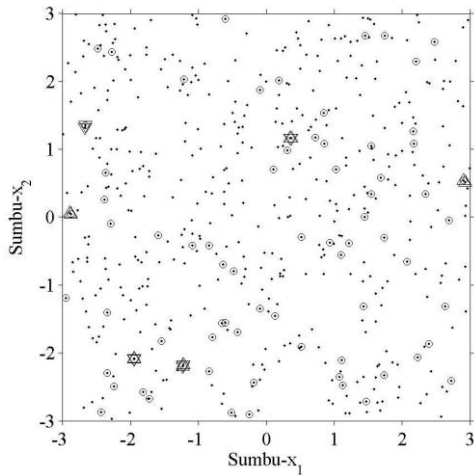
Ukuran (16) dipergunakan untuk menilai unjuk-kerja jaringan dalam proses perhitungan bobot menggunakan dataset yang berukuran relatif kecil dan dipilih secara acak dalam range data. Ukuran (14) dipergunakan setelah proses perhitungan keluaran menggunakan dataset lengkap dan bobot terlatih hasil proses sebelumnya. Selain itu unjuk-kerja struktur juga dapat diketahui melalui perhitungan rasio bobot nol dan rasio bobot. Rasio bobot nol adalah perbandingan antara cacah bobot terlatih dan tidak dilatih. Ukuran ini dapat dipergunakan untuk mengetahui kemampuan pemetaan alamat menghasilkan tumpang-susun alamat yang kondusif membaca karakteristik masukan bertetangga. Rasio bobot yang didefinisikan sebagai perbandingan antara cacah masukan dan cacah bobot terlatih dapat dipergunakan untuk mengetahui efisiensi struktur.

V. IMPLEMENTASI

Dalam implementasi ini *CMAC* tanpa dan dengan peningkatan dipergunakan untuk merekonstruksi fungsi *peaks* [7] yang memiliki bentuk matematis seperti berikut

$$f(x_1, x_2) = 3(1 - x_1)^2 e^{-x_1^2 - (x_2+1)^2} - \frac{1}{3} e^{-(x_1+1)^2 - x_2^2} - 10\left(\frac{1}{5} x_1 - x_1^3 - x_2^5\right) e^{-x_1^2 - x_2^2}. \quad (17)$$

Gambar 2 menampilkan sampel dataset pada bidang x_1, x_2 dengan resolusi spasial 2^{10} . Resolusi ini cukup memadai untuk memperlihatkan bahwa f kontinu dalam interval $[-3, 3]$ sumbu x_1 dan x_2 .



Gambar 2. Sampel dataset terbatas dan lengkap dalam ruang masukan resolusi spasial 2^{10} .

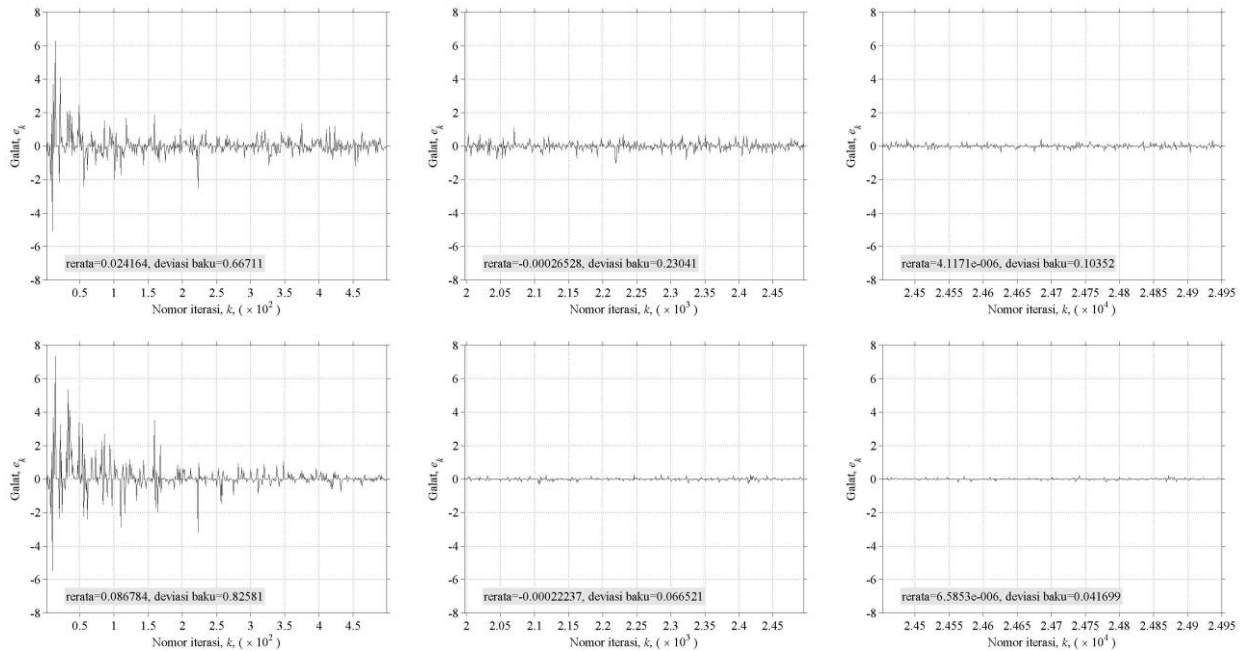
Simulasi menggunakan dua dataset yang berbeda cara memperoleh, penggunaan, dan ukuran masing-masingnya. Dataset pertama adalah $\{(x_{1,i}, x_{2,i}), y_i\}$ ($i=1, \dots, L_1$) dengan $x_{1,i}$ dan $x_{2,i}$ dipilih secara acak dan merata dalam interval $[-3, 3]$ sumbu x_1 dan x_2 , dan y_i adalah nilai fungsi (17) pada posisi $(x_{1,i}, x_{2,i})$. Disebut acak karena periode data tak-hingga bergantung pada kemampuan mesin pembangkitnya, dan disebut merata karena setiap nilai yang dibangkitkan memiliki peluang kemunculan sama. Ukuran L_1 ditetapkan setelah parameter kuantisasi masukan, Q_1 dan Q_2 , diberikan dalam tahap desain, sehingga nilainya dapat ditetapkan lebih kecil ('<') atau sangat lebih kecil ('<<') dari ukuran ruang masukan terkuantisasi. Dataset ini dipergunakan dalam proses perhitungan vektor bobot. Dataset kedua disebut lengkap karena mengandung semua kemungkinan titik dalam ruang masukan yang telah dikuantisasi. Dataset ini adalah $\{(x_{1,i}, x_{2,i}), y_i\}$ ($i=1, \dots, L_2$) dengan $x_{1,i}$ dan $x_{2,i}$ adalah nilai berbeda jika metode kuantisasi yang digunakan berbeda. Dataset ini dipergunakan dalam proses perhitungan keluaran setelah proses perhitungan bobot menggunakan dataset pertama selesai. Penggunaan dua dataset berbeda adalah untuk menyertakan pengaruh struktur dan kemampuan generalisasi suatu jaringan dalam perhitungan performa sehingga penilaian menjadi lebih akurat. Pengaruh struktur dapat berasal dari perbedaan metode kuantisasi masukan, sementara pengaruh kemampuan generalisasi berasal dari perbedaan ukuran dataset, yaitu ukuran dataset perhitungan vektor bobot lebih kecil atau sangat lebih kecil dari ukuran dataset perhitungan vektor keluaran.

Dalam tahap desain, kedua CMAC (tanpa dan dengan peningkatan) menggunakan parameter kuantisasi masukan $[s_{\min}, s_{\max}] = [-3, 3]$ dan $(Q_1, Q_2) = (128, 128)$. Desain CMAC tanpa peningkatan menerapkan metode kuantisasi ruang masukan merata dan menggunakan parameter generalisasi $g=23$, vektor ubahposisi $d=(d_1, d_2)=(1, 1)$, fungsi basis biner, dan pelatihan bobot *error correction rule* dengan ambang galat 1×10^{-7} . Sementara desain CMAC dengan peningkatan menggunakan $g=23$, $d=(1, 5)$, fungsi basis gaussian (13), dan pelatihan bobot *least mean square (LMS)* [9] dengan $\mu=0.5$. Kedua struktur menggunakan

cacah epok=100 untuk menyelesaikan satu siklus pelatihan. Ukuran dataset pertama ditetapkan $L_1=500$ (atau ~ 33 kali lebih kecil dari ukuran dataset kedua $L_2=Q_1 \times Q_2=128^2$). Posisi $(x_{1,i}, x_{2,i})$ dataset pertama dibangkitkan dan nilai fungsi $y_i=f(x_{1,i}, x_{2,i})$ dihitung. Dataset kedua dibangkitkan setelah proses kuantisasi masukan selesai. Kuantisasi merata menetapkan 128 partisi seragam dalam interval masukan $[-3, 3]$ sumbu x_1 dan x_2 , sementara kuantisasi optimal menggunakan karakteristik fungsi f Gambar 2 untuk mengoptimalkan partisi masing-masing sumbu. Optimisasi berlangsung secara iteratif dan kriteria berhenti iterasi yang digunakan adalah ambang galat $\text{realit} = 1 \times 10^{-9}$ dan cacah iterasi =250. Perbedaan metode kuantisasi masukan kedua CMAC menyebabkan komposisi dataset lengkap ke dua struktur saling berbeda.

Gambar 2 menampilkan distribusi 500 titik dataset pertama pada bidang x_1x_2 dengan penanda titik. Hasil pemeriksaan dataset pertama menunjukkan bahwa 70 dari 500 titik data dalam dataset pertama memiliki nilai rekonstruksi berbeda karena metode kuantisasi berbeda. Titik-titik tersebut diberi penanda lingkaran. Hal ini sekaligus menunjukkan bahwa perbedaan metode kuantisasi kedua CMAC menghasilkan dataset berbeda. Gambar 2 juga memperlihatkan 10 dari 500 titik dengan penanda segitiga ke bawah yang *co-incident* setelah kuantisasi merata, dan 8 dari 500 titik dengan penanda segitiga ke atas yang *co-incident* setelah kuantisasi optimal. Maksud *co-incident* adalah titik-titik berbeda namun jaraknya cukup dekat memiliki nilai kuantisasi sama. Kasus titik-titik yang *co-incident* mirip dengan kasus interferens belajar dalam proses pelatihan. Pengaruh titik *co-incident* terhadap performa jaringan relatif kecil karena cacah nya kecil, dan pengaruh yang kecil itu dapat diminimalkan dalam pelatihan dengan cacah epok yang besar.

Proses perhitungan vektor bobot menggunakan dataset pertama berlangsung selama 500 siklus, dan dalam setiap siklus proses iteratif berlangsung selama 100 epok, sehingga total epok yang ditempuh selama proses perhitungan vektor bobot adalah $500 \times 100 = 50000$ epok. Seiring proses ini, proses perhitungan performa jaringan MSE_j juga dilakukan. Pada siklus ke- j ($j=1, \dots, 500$) proses pelatihan tanpa data ke- j dan proses pengujian menggunakan data ke- j diterapkan. Proses pelatihan dimaksud berlangsung selama 499 iterasi karena 1 dari 500 data tidak dilatih. Dengan demikian, total iterasi yang diperlukan dalam proses perhitungan vektor bobot menggunakan dataset pertama adalah 50000×499 iterasi. Proses perhitungan vektor bobot dan proses perhitungan performa yang berjalan bersama tidak saling mempengaruhi karena vektor bobot kedua proses saling berbeda. Inisialisasi vektor bobot dalam setiap siklus proses perhitungan performa menggunakan vektor bobot nol $\underline{0}$, sehingga independensi masing-masing MSE_j ($j=1, \dots, 500$) dapat terjaga. Sementara, dalam proses perhitungan vektor bobot, inisialisasi vektor bobot siklus ke- j menggunakan vektor bobot siklus sebelumnya, dan pada $j=0$ inisialisasi vektor bobot adalah $\underline{0}$. Inisialisasi bobot demikian tidak mempengaruhi vektor bobot yang dihasilkan karena data latih dibangkitkan secara acak dan pelatihan tanpa data ke- j belaku untuk semua $j=1, \dots, 500$.



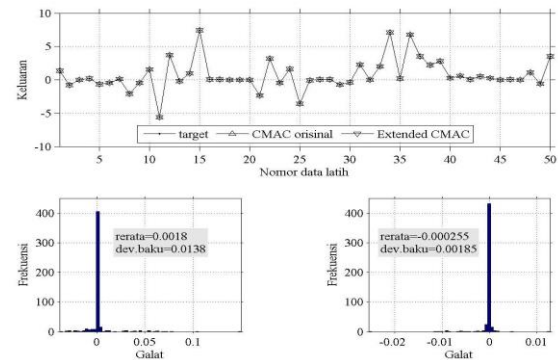
Gambar 3. Ploting galat versus nomor iterasi dalam proses belajar CMAC sebelum peningkatan (atas) dan CMAC setelah peningkatan (bawah). Kiri ke kanan: epok 1, 5, dan 50.

Proses konvergensi algoritma belajar kedua struktur dapat teramati melalui *ploting* galat e_k terhadap nomor iterasi k , seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Indikator nilai rerata galat dan deviasi baku yang terbaca semakin kecil seiring meningkatnya epok merupakan indikasi bahwa algoritma belajar semakin konvergen. Juga diketahui bahwa nilai rerata galat berfluktuasi disekitar nol. Hal ini menunjukkan bahwa galat e_k tidak murni independen dengan keluaran y_k , namun bergantung lemah (*weakly dependent*) dengan y_k . Fluktuasi tersebut menyebabkan estimasi gradien instan pada setiap langkah iterasi cukup berbeda dengan nilai gradien sebenarnya, yang kemudian menyebabkan *noise* dalam vektor bobot memaksa nilai bobot berfluktuasi di sekitar nilai bobot optimum. Nilai rerata dan khususnya deviasi baku dapat dipergunakan untuk menilai kecepatan konvergensi algoritma belajar. Dari Gambar 3 diketahui bahwa nilai deviasi baku epok ke-1, 5, dan 50 mengalami penurunan yang cukup besar dan cepat. Indikasi ini menunjukkan bahwa peningkatan *CMAC* menghasilkan peningkatan kecepatan konvergensi algoritma belajar.

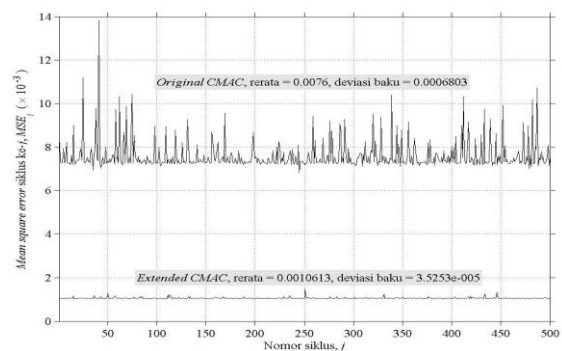
Vektor bobot terlatih yang diperoleh melalui proses pelatihan 50000 epok (1 epok=500 iterasi) telah cukup memadai untuk dipergunakan dalam perhitungan keluaran. Hasil perhitungan 50 elemen pertama vektor keluaran kedua struktur dan vektor keluaran terharap (atau target) yang bersesuaian dari dataset perhitungan bobot diperlihatkan dalam Gambar 4 atas. Penanda titik data ketiga kurva ('•', 'Δ', dan '∇') tampak saling tumpang-susun sehingga perbedaan ploting ketiga kurva tidak terlihat. Dalam hal ini, kedua struktur mampu mereproduksi vektor keluaran yang sangat 'dekat' dengan vektor keluaran terharap. Histogram galat kedua struktur dalam Gambar 4 bawah menjelaskan bahwa galat terdistribusi di sekitar nilai rerata yang semakin mendekati nol dengan deviasi baku yang semakin kecil. Hal ini merupakan

indikasi bahwa bobot terlatih yang dihasilkan peningkatan *CMAC* lebih akurat mereproduksi vektor keluaran.

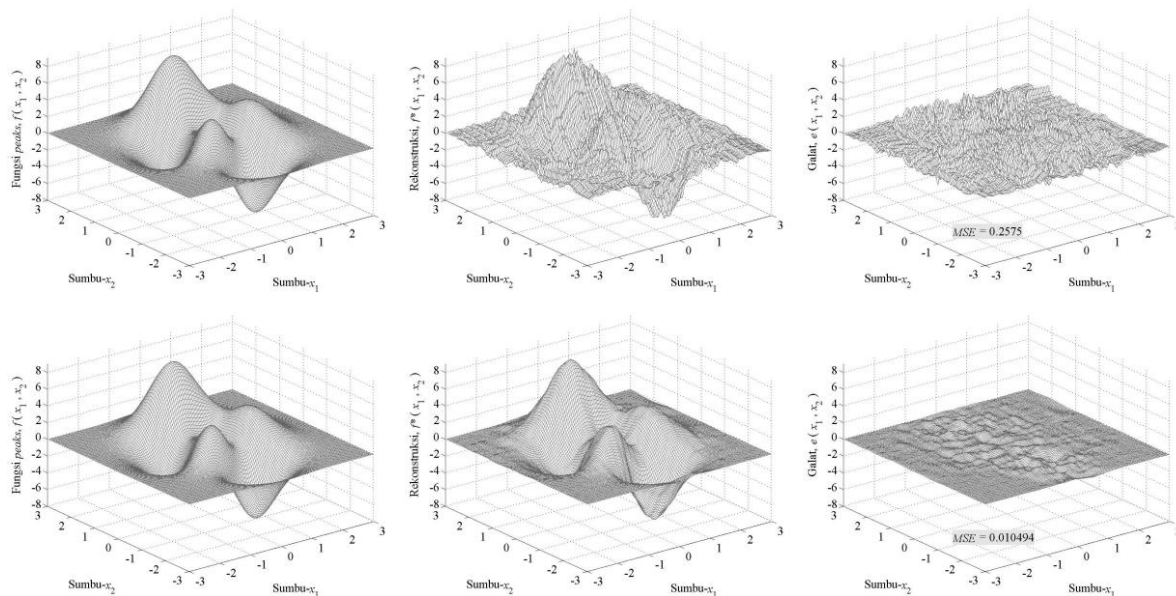
Hasil perhitungan performa MSE_j kedua struktur yang diperlihatkan dalam Gambar 5 menunjukkan bahwa di semua siklus pelatihan tanpa data ke- j ($j=1, \dots, 500$) dan



Gambar 4. Rekonstruksi 50 elemen pertama vektor keluaran (atas) dan histogram galat CMAC sebelum peningkatan (bawah kiri) dan setelah peningkatan (bawah kanan).



Gambar 5. Performa MSE_j metode *leave-one out CMAC* sebelum peningkatan (atas) dan setelah peningkatan (bawah).



Gambar 6. Ploting dataset lengkap (kiri), rekonstruksi dari pelatihan dataset terbatas (tengah), bidang galat (kanan). CMAC sebelum peningkatan (atas) dan setelah peningkatan (bawah).

pengujian atas data ke- j , nilai MSE_j , rerata, dan deviasi baku yang dihasilkan oleh peningkatan *CMAC* sangat lebih kecil. Nilai deviasi baku yang lebih besar merupakan indikasi bahwa struktur *CMAC* rentan terhadap perubahan komposisi data latih. Hal ini karena bidang penerimaan masukan yang dibentuk oleh tumpang susun fungsi basis terdistribusi pada ruang masukan secara tidak merata dan berorientasi diagonal sehingga mengurangi independensi fungsi basis di masing-masing bidang penerimaan dan independensi antar bidang penerimaan. Berkurangnya independensi ini menyebabkan vektor bobot lebih sensitif terhadap perubahan keluaran.

Gambar 6 menampilkan plotting dataset lengkap fungsi *peaks*, bidang rekonstruksi, dan bidang galat. Dataset lengkap diperoleh melalui kuantisasi merata (kiri-atas) dan kuantisasi optimal (kiri-bawah) ruang masukan. Bidang rekonstruksi diperoleh melalui pelatihan dataset terbatas yang berisi 500 data latih atau 33 kali lebih kecil dari ukuran dataset lengkap (16384). Peningkatan *CMAC* menghasilkan bidang rekonstruksi yang tampak lebih halus dan lebih mendekati fungsi target dibanding *CMAC* tanpa peningkatan. Hal ini semakin jelas terlihat pada bidang galat. Hasil perhitungan *MSE* menunjukkan bahwa *CMAC* setelah peningkatan mampu memperkecil nilai *MSE* (memperbaiki unjuk-kerja hingga 96%. Selain itu, perhitungan angka kondisi bentukan matriks fungsi basis yang didefinisikan sebagai pembagian nilai singular terbesar oleh nilai singular terkecil menghasilkan 1.31×10^{16} sebelum peningkatan dan 6.24×10^6 setelah peningkatan *CMAC*. Dengan angka ketelitian 10^{15} , matriks fungsi basis mengalami perubahan dari singular menjadi tak-singular. Hal ini menegaskan bahwa vektor bobot terlatih *CMAC* sebelum ditingkatkan lebih sensitif terhadap perubahan keluaran. Dampak sensitifitas bobot terlihat pada rekonstruksi bidang galat kedua struktur. Perhitungan rasio bobot nol menghasilkan $979/44=22.25$ untuk *CMAC* setelah ditingkatkan dan $984/54=18.22$ untuk *CMAC* sebelum ditingkatkan. Peningkatan unjuk-

kerja sebesar 4 % ini menunjukkan bahwa *CMAC* setelah ditingkatkan lebih kondusif membaca karakteristik masukan. Hasil perhitungan rasio bobot *CMAC* $16384/979=16.74$ setelah peningkatan dan $16384/984=16.65$ sebelum peningkatan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan efisiensi 0.5 %.

VI. KESIMPULAN

Peningkatan *CMAC*, yang terdiri atas pemetaan alamat berdasar rumus dan pemetaan fungsi basis operasional, telah diusulkan dalam penelitian ini. Dalam simulasi, setelah melalui pelatihan dataset terbatas dan lengkap, *CMAC* dengan dan tanpa peningkatan diterapkan untuk merekonstruksi fungsi *peaks*. Hasil penilaian menunjukkan bahwa *CMAC* yang diusulkan meningkatkan unjuk-kerja jaringan *Mean Square Error* (*MSE*) (96%), *MSE* pelatihan *leave-one-out* (86%), rasio bobot nol (4%), dan ratio bobot (0.5%).

REFERENSI

- [1] J. S. Albus, "A Theory of Cerebellar Function," *Mathematical Bioscience*, vol. 10, pp. 25-61, Feb. 1971.
- [2] Rosenblatt, F., "The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in The Brain", *Psychological Review*, vol. 65, No. 6, pp. 386-408, 1958.
- [3] J. S. Ker, Y. H. Kuo, R. C. Wen, and B. D. Liu, "Hardware Implementation of CMAC Neural Network with Reduced Storage Requirement," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 8, no. 6, pp. 1545-1556, November 1997.
- [4] M. Brown and C. Harris, "Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control," Prentice Hall, 1994, pp. 235-240.
- [5] J. S. Albus, "A New Approach to Manipulator Control: The Cerebellar Model Articulation Controller (CMAC)," *J. Dynam. Syst., Meas., Contr.*, pp. 220-227, Sept. 1975.
- [6] J. S. Albus, "Data Storage in The Cerebellar Model Articulation Controller (CMAC)," *J. Dynam. Syst., Meas., Contr.*, pp. 228-233, Sept. 1975.
- [7] Matlab Function Reference Release 14, Service Pack 1.

Estimasi Model Sederhana Kendali Posisi Ketinggian *Quadrotor* AR.Drone 2

Ardhimas Wimbo Wasisto, Atikah Surriani, Nia Maharani, Adha Imam Cahyadi, Teguh Bharata Adji

Department of Electrical Engineering and Information Technology

Jalan Grafika 2, Yogyakarta 55281, Indonesia

a.wimbo.sie13@mail.ugm.ac.id, atikah.surriani.sie13@mail.ugm.ac.id, nia.sie13@mail.ugm.ac.id,

masimam@jteti.gadjahmada.edu, adji@ugm.ac.id

Abstract—The research is aimed to study modeling parameter identification of AR.Drone 2 quadrotor. Firstly, we analyze the transient response using position as the input and altitude position as the output based on sensor data feedback. The quadrotor is assumed as blackbox using SISO structure. The model is assumed as a simple two order system using P controller.

Keywords— AR.Drone 2; quadrotor; transient response analysis; two order system; blackbox; P controller;

Abstrak—Penelitian ini membahas dan mengidentifikasi parameter sistem kendali dari posisi ketinggian *quadrotor* AR.Drone 2. Pertama dilakukan analisa tanggapan transien masukan posisi ketinggian terbang statis (*hover*), berdasarkan perekaman data estimasi ketinggian yang terbaca sensor. Dalam hal ini model kendali posisi ketinggian terbang sistem AR.Drone 2 diasumsikan sebagai *blackbox* dengan model sistem *Single Input – Single Output (SISO)*. Pendekatan model matematis sederhana berdasarkan analisa tanggapan transien orde 2, dengan kendali proporsional, parameter tanggapan waktu berhasil didapatkan.

Kata kunci— AR.Drone 2; quadrotor; analisa tanggapan transien; sistem orde 2; blackbox; kendali posisi ketinggian;

I. PENDAHULUAN

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan Pesawat Udara Nir-Awak (PUNA), khususnya model sayap putar dengan konfigurasi multirotor, menjadi topik penelitian yang menarik dewasa ini karena dapat dioperasikan dalam ruang terbatas dan memiliki manuverabilitas tinggi [1].

Salah satu permasalahan menarik dalam perancangan multirotor, khususnya *quadrotor*, adalah karena karakteristik dasar sistemnya yang tidak stabil dan mudah dipengaruhi gangguan, baik gangguan internal maupun eksternal. Upaya untuk merancang pengendali *quadrotor* merupakan tantangan tersendiri bagi peneliti karena kegagalan sistem kendali UAV akan menyebabkan UAV tidak dapat bekerja sesuai yang diharapkan dan dapat berakibat fatal. Oleh karena itu sangatlah penting untuk merancang sistem kendali UAV yang tahan terhadap gangguan [2]. Pendekatan model karakteristik sistem yang sederhana dari sistem yang non-linier dan kompleks dilakukan dengan model sistem linier, yang menghasilkan model matematis linier *quadrotor* dengan 12 keadaan [3,4]. Model linier tersebut telah terbukti secara teori bersifat terkendali dan teramati, serta telah diaplikasikan secara matematis pada perancangan kendali *quadrotor*

metode *gain scheduling* dan *sparse controller* [5,6], dan secara teori dapat diterapkan sebagai alternatif metode kendali model *quadrotornya*.

Pemodelan sebuah keadaan kendali posisi ketinggian *quadrotor* dengan cara menganalisa tanggapan transien oleh masukan sebuah titik posisi ketinggian menggunakan produk Parrot AR.Drone versi 2.0 (ARD2) yang merupakan salah satu robot terbang berkonfigurasi *quadrotor* yang mendukung kegiatan penelitian dan pendidikan karena fasilitas kemudahan mengakses perangkat lunak dan perangkat keras yang terintegrasi dan memiliki kestabilan terbang yang tinggi [7]. Posisi tersebut merupakan posisi referensi ketinggian awal posisi *hover*, atau posisi dengan ARD2 terbang statis pada ketinggian tertentu, setelah menerima perintah awal untuk terbang. Sistem ARD2 dianggap sebagai sebuah *blackbox* dengan model dan karakteristik secara rinci dianggap belum diketahui secara pasti, hanya dapat diketahui parameter input dan output posisi ketinggian.

Penelitian dilakukan melalui 2 tahap. Tahap pertama adalah melakukan pencatatan data tanggapan transien ketinggian melalui umpan balik data sensor ketinggian ARD2 menggunakan aplikasi *Robot Operating System (ROS)* generasi *Fuerte* yang dioperasikan pada Linux Ubuntu 12.04. Tahap kedua adalah menentukan fungsi alih model berdasarkan analisa tanggapan transien dari data yang diperoleh pada tahap pertama. Hasil pemodelan dibandingkan untuk menguji kecocokan model sistemnya.

II. ANALISA TANGGAPAN TRANSIEN ORDE TINGGI

Salah satu cara untuk menganalisa karakteristik sistem kendali dapat diamati dari hasil tanggapan transien terhadap masukan sinyal undak satuan. Analisa hasil masukan undak satuan bergantung pada kondisi awal sistem. Berdasarkan hasil model matematis *quadrotor* [5] yang berbasis pada metode pemodelan robot terbang *quadrotor* oleh Peter I. Corke [4], maka dapat diasumsikan bahwa model matematis *quadrotor* adalah sistem stabil berorde tinggi (orde 2 atau lebih) dengan kendali proporsional. Untuk memudahkan analisa sistem berorde tinggi sering kali digunakan pendekatan analisa sistem orde 2 [8]. Persamaan umum fungsi alih sistem kalang tertutup orde 2 adalah :

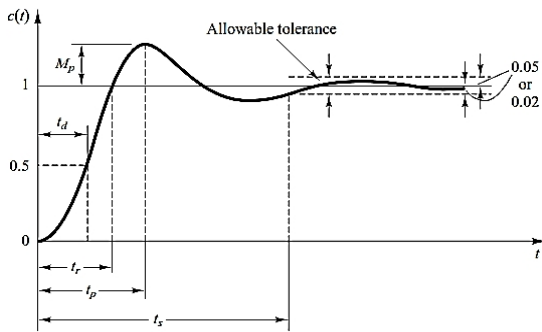
$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\sigma s + \omega_n^2} \quad (1)$$

dengan

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}}, \quad (2)$$

yang merupakan frekuensi alami tanggapan waktu sistem dan ζ merupakan koefisien redaman. Sedangkan $\sigma = \zeta \omega_n$ merupakan nilai redaman. Persamaan umum tanggapan transien dengan masukan undak satuan sistem orde 2 adalah :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3)$$



Gambar 1. Parameter-parameter spesifikasi analisa tanggapan transien sistem orde 2 [8]

Gambar 1 menunjukkan lokasi parameter-parameter spesifikasi yang digunakan untuk menganalisa tanggapan transien yang diperoleh adalah *delay time*, *rise time*, *peak time*, *maximum overshoot*, dan *settling time*, dengan penjelasan sebagai berikut :

1) *Delay time* (t_d), waktu yang diperlukan saat tanggapan meningkat dari nol hingga 50% nilai tunak.

2) *Rise time* (t_r), waktu yang diperlukan pada saat tanggapan meningkat dari kondisi awal menuju nilai yang diharapkan :

a) 0% hingga 100%, pada kondisi kurang teredam (*underdamped*), dengan nilai redaman $0 < \zeta < 1$.

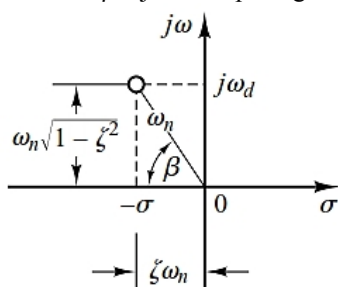
b) 10% hingga 90%, pada kondisi teredam lebih (*overdamped*), dengan nilai redaman $\zeta > 1$.

$$t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \quad (4)$$

dengan

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{\omega_d}{\sigma}\right), \quad (5)$$

dimana definisi sudut β dijelaskan pada gambar 2.



Gambar 2. Parameter-parameter pembentuk sudut β [8]

3) *Peak time* (t_p), waktu yang dibutuhkan untuk tanggapan mencapai puncak simpangan pertama.

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} \quad (6)$$

dengan ω_d merupakan frekuensi natural yang teredam.

4) *Maximum Overshoot* (M_p), Perbandingan antara nilai puncak tertinggi $c(t_p)$ kurva tanggapan terhadap nilai tunak tanggapan $c(\infty)$.

$$\%M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\% \quad (7)$$

5) *Settling time* (t_s), adalah waktu yang dibutuhkan agar kurva mencapai dan tetap berada di dalam batas-batas yang dekat dengan nilai tunak mantap. Batas-batas tersebut dinyatakan dalam prosentase mutlak nilai tunak mantap sebagai berikut :

a) Kriteria 2% :

$$t_s = 4T = \frac{4}{\sigma} \quad (8)$$

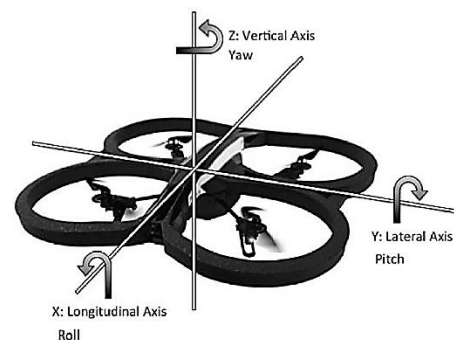
b) Kriteria 5% :

$$t_s = 3T = \frac{3}{\sigma} \quad (9)$$

III. MODEL MATEMATIS

A. Batasan Model

Model hanya menggunakan model sistem SISO. Berdasarkan konfigurasi sumbu pada Gambar 3, parameter posisi pada sumbu x dan y diasumsikan selalu tetap pada koordinat (0,0), hanya menganalisa parameter estimasi posisi ketinggian pada sumbu z, dengan nilai referensi masukan adalah nilai ketinggian,

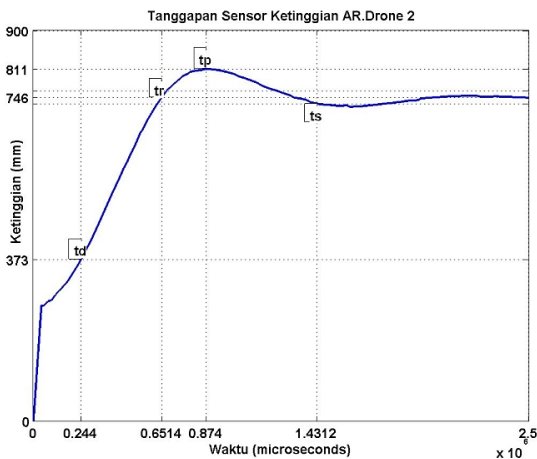


Gambar 3. Sumbu-sumbu dan bidang kendali yang bekerja pada AR.Drone 2 [9]

B. Tanggapan Transien terhadap Masukan Undak Satuan

Untuk memperoleh karakteristik tanggapan estimasi ketinggian dari sensor, ARD2 dioperasikan menggunakan komputer dengan aplikasi ROS Fuerte Turtle yang terpasang pada sistem operasi Ubuntu 12.04 LTS melalui koneksi wifi. Program digunakan untuk mendapatkan umpan balik data nilai estimasi ketinggian secara *real time* dengan resolusi waktu tiap 1 mikrodetik [10].

Hasil plot tanggapan estimasi posisi ketinggian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tanggapan sensor ketinggian AR.Drone 2

Data posisi ketinggian hasil umpan balik sensor ketinggian ARD2 diterima dalam bentuk nilai *integer*, sehingga semua nilainya berupa bilangan bulat. Hasil plot grafik menunjukkan garis linier pada ketinggian kurang dari 266 mm. Hal tersebut disebabkan oleh karena ketika ARD2 mulai diaktifkan dan mulai terbang pada ketinggian kurang dari 266 mm, data ketinggian belum diterima oleh program. Namun demikian plot grafik menunjukkan bahwa hasil pengambilan data menunjukkan bahwa tanggapan transien estimasi ketinggian terhadap masukan undak satuan posisi menunjukkan tanggapan kurva dengan karakteristik sistem orde 2 yang kurang teredam. Parameter-parameter spesifikasi analisa tanggapan transien yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel I.

TABLE I. PARAMETER TANGGAPAN SENSOR KETINGGIAN

Parameter	Nilai (detik)	Ketinggian (mm)
t_d	0,24396	373
t_r	0,65134	746
t_p	0,87502	811
t_s	1,431	761
Posisi <i>tunak</i>	746	
Mp	8,7131%	

Nilai pengaturan awal posisi ketinggian terbang pada program, dari mulai pesawat aktif, *take off* hingga mencapai ketinggian standar *hover* adalah ketinggian 700 mm. Namun berdasarkan data parameter waktu dan ketinggian yang diperoleh, tampak bahwa nilai posisi ketinggian *tunak* berbeda dengan *set point*. Berdasarkan hasil pengambilan data, nilai ketinggian *tunak* berada pada posisi 746 mm. Oleh karena itu nilai *set point* model ditetapkan bernilai 746 mm. Sedangkan kriteria waktu t_s menggunakan kriteria 2%.

C. *Pemodelan Sistem Orde 2*

Untuk mendapatkan bentuk fungsi alih persamaan umum orde 2 tanggapan masukan undak satuan, maka terlebih dahulu harus ditentukan nilai redaman σ dan

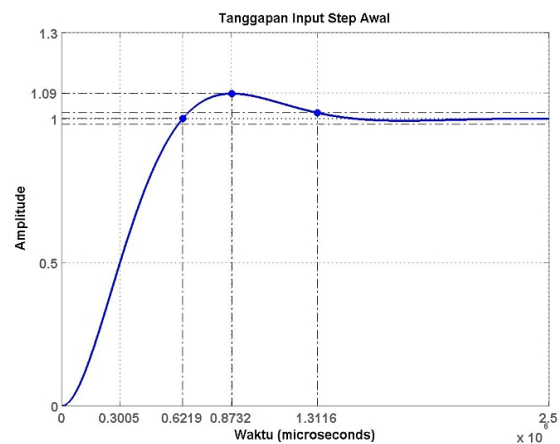
frekuensi natural ω_n . Untuk mendapatkan nilai ω_n , dengan melakukan substitusi nilai $\zeta = \sigma/\omega_n$ maka dari (2) diperoleh :

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{1 - (\frac{\sigma}{\omega_n})^2} \tag{10}$$

Dari (2) dan (10) diperoleh $\sigma = 2.7949$ dan $\omega_n = 4.5532$ rad/detik, sehingga dapat dihitung koefisien redaman $\zeta = 0.61385$, yang memenuhi syarat karakteristik sistem kurang teredam. Berdasarkan nilai redaman dan frekuensi natural yang diperoleh maka estimasi persamaan fungsi alih model sistem kendali posisi kalang tertutupnya adalah :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{20.73}{s^2 + 5.59s + 20.73} \tag{11}$$

Dengan memberikan masukan undak satuan pada (11) maka dapat diperoleh kurva tanggapan transien sebelum diberikan penguatan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tanggapan transien model terhadap nilai masukan undak satuan tanpa penguatan

Dari (11), persamaan fungsi alih model sistem (*plant*) kalang terbuka dapat diperoleh :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{20.7}{s^2 + 5.591s} \tag{12}$$

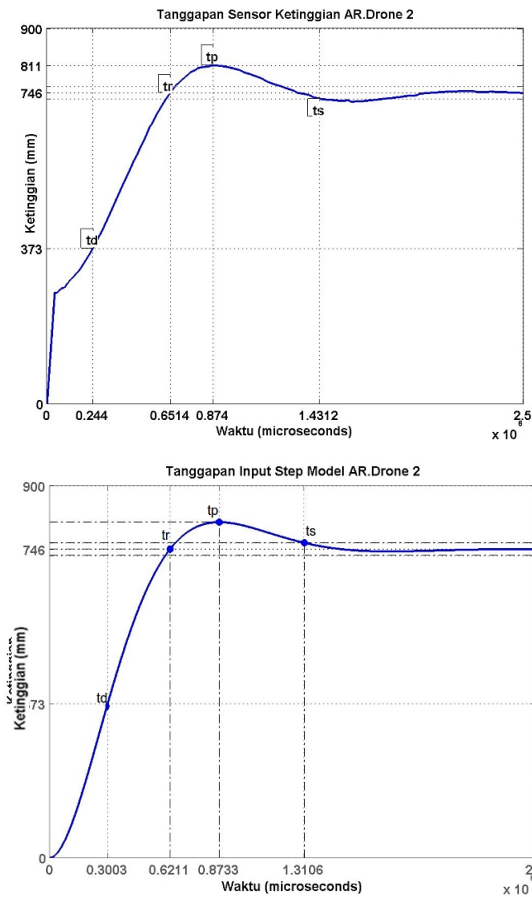
yang menunjukkan keadaan sistem sebelum diberikan pengendali proporsional.

TABLE II. PARAMETER TANGGAPAN TRANSIEN MODEL SISTEM ORDE 2

Parameter	Nilai (detik)	Ketinggian (mm)
t_d	0,3005	0.5
t_r	0,6219	1
t_p	0,8732	1.09
t_s	1,3116	1.02
Posisi <i>tunak</i>	1	
Mp	9 %	

Tabel II menunjukkan parameter analisa spesifikasi tanggapan transien model sistem akibat masukan undak satuan tanpa penguatan. Kurva tanggapan transien

menunjukkan adanya *overshoot* sebesar 9%, yang berarti kondisi model sistem kurang teredam. Nilai keluaran tunak = 1, menunjukkan bahwa sistem menghasilkan nilai tunak yang sesuai dengan masukan referensi undak satuan yang bernilai 1.



Gambar 6. Perbandingan tanggapan data sensor ketinggian dengan model sistem orde 2 dengan input ketinggian 746 mm.

TABLE III. PERBANDINGAN PARAMETER TANGGAPAN SENSOR KETINGGIAN DENGAN MODEL SISTEM ORDE 2

Parameter	Navdata		Model	
	Nilai (detik)	Ketinggian (mm)	Nilai (detik)	Ketinggian (mm)
t_d	0.24396	373	0.3003	373
t_r	0.65134	746	0.6211	746
t_p	0.87502	811	0.8733	811
t_s	1.43100	761	1.3106	760.92
Posisi tunak	746 mm		746 mm	
M_p	8.71%		8.66%	

Untuk menguji keluaran sistem terhadap kendali proporsional, maka selanjutnya model sistem diberikan masukan undak satuan dengan amplitudo sebesar 746, yang berarti nilai referensi ketinggian *hover* yang diharapkan adalah setinggi 746 mm. Hasil perbandingan kurva dengan skala yang sama, tanggapan transien sensor dengan model sistem menunjukkan nilai keluaran posisi puncak dan posisi pada keadaan tunak menunjukkan nilai

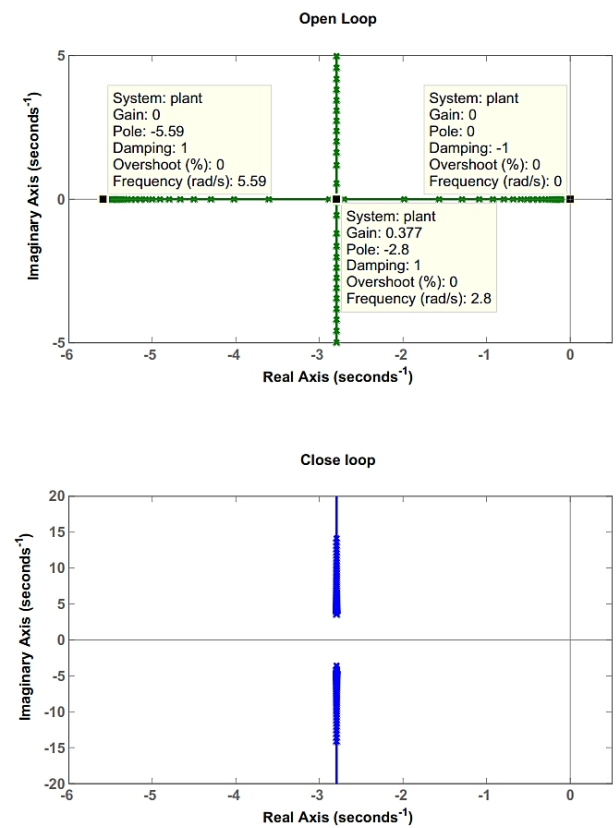
yang sama. Perbandingan nilai masing-masing parameter spesifikasi pada Gambar 6 dan Tabel III, menunjukkan perbedaan nilai waktu kurang dari 1 mikrodetik dalam mencapai titik-titik posisi awal hingga posisi tunak. Nilai ketinggian pada saat mencapai waktu tunak memiliki perbedaan yang disebabkan karena nilai umpan balik sensor ketinggian berupa nilai *integer* yang berupa nilai pembulatan terdekat, sedangkan nilai model adalah nilai riil, yang memenuhi nilai kriteria 2% dari nilai tunak.

D. Analisa Kestabilan

Untuk menguji kestabilan sistem digunakan analisa menggunakan *Root Locus* dan Diagram Bode.

1) *Root Locus*

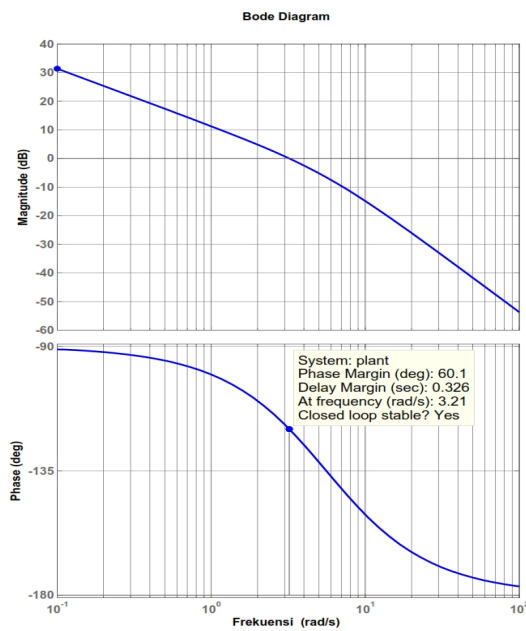
Analisa perbandingan letak *pole-pole* sistem kalang terbuka dan kalang tertutup ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan analisa kestabilan *root locus* model sistem kalang terbuka dan sistem kalang tertutup

Berdasarkan persamaan model sistem(12), diperoleh nilai kedua *pole* negatif yang berada pada sumbu nyata di titik $S_1 = 0$ dan $S_2 = -5.59$. Model sistem tersebut stabil dan tidak akan mengalami *overshoot* dengan batas penguatan kurang dari 0,377. Analisa *root locus* dari (11) juga diperoleh nilai kedua *pole* negatif yang berada pada titik $S_1 = -2.795 + 3.594j$ dan $S_2 = -2.795 - 3.594j$. Kedua *pole* menunjukkan daerah karakteristik sistem yang stabil, meskipun memiliki *overshoot*. Secara teori, berdasarkan letak kedua *pole* pada masing-masing model, karakteristik sistem yang diperoleh akan selalu stabil dengan nilai konstanta proporsional K_p yang terus meningkat mendekati tak hingga.

2) Diagram Bode



Gambar 8. Analisa kestabilan domain frekuensi dengan Bode Plot

Berdasarkan hasil analisa bode plot model sistem kalang terbuka pada Gambar 8 menunjukkan batas frekuensi tanpa redaman pada 3,21 rad/detik, dengan sudut fasa -120° . Dengan demikian nilai marginal fasanya adalah 60° , sedangkan batas marginal fasa yang baik adalah antara $45^{\circ} - 60^{\circ}$. Pada frekuensi rendah kurang dari 3,21 rad/detik, dari nilai magnitudo sistem menunjukkan bahwa nilai redaman. Sebaliknya ketika diberikan frekuensi tinggi maka nilai redaman sistem menjadi sangat besar.

Hasil pemodelan matematis berdasarkan parameter spesifikasi analisa tanggapan transien yang diperoleh dari gambaran kurva umpan balik data sensor ketinggian ARD2 secara umum menunjukkan karakteristik yang sama. Hal ini dapat diambil kesimpulan bahwa pendekatan model sistem orde 2 dengan kendali proporsional cukup berhasil mewakili model sistem kendali posisi ketinggian ARD2 yang sesungguhnya. Namun demikian masih ditemukan beberapa kendala.

Beberapa kendala pengambilan data ketinggian awal pada saat rotor mulai menyala hingga ketinggian kurang dari 266 mm, tidak menunjukkan tanggapan transien yang diharapkan karena data pada rentang tersebut data ketinggian belum terbaca oleh sensor. Selain itu ketinggian *set point* program sebesar 700 mm tidak terpenuhi pada posisi terbang hover yang berada pada 746 mm, sehingga *set point* pendekatan model harus menyesuaikan. Meskipun tidak sama persis, perbandingan kurva antara hasil pengambilan data dengan kurva model karakteristik yang stabil dan mirip.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, umpan balik data sensor ketinggian yang terintegrasi pada ARD2 memberikan informasi data secara nyata dan cukup akurat yang dapat digunakan sebagai salah satu referensi pemodelan posisi ketinggian dengan masukan dan keluaran tunggal. Secara

teori, sistem kendali posisi ketinggian ARD2 dapat diwakili dengan sistem orde 2 dengan kendali posisi dengan masukan dan keluaran tunggal (SISO). Pada kasus pemodelan kendali posisi ketinggian *quadrotor* ARD2, menunjukkan kesesuaian sehingga dapat mewakili model sistem kendali posisi ketinggian ARD2 yang sesungguhnya. Namun, dengan mengabaikan pengukuran parameter yang lain, metode tersebut hanya berlaku dengan model masukan dan keluaran tunggal (*Single Input Single Output*) yang belum merepresentasikan model keseluruhan dari ARD2 yang sesungguhnya. Selanjutnya perlu penelitian lebih lanjut analisa tanggapan model dengan masukan dan keluaran jamak (*Multiple Input Multiple Output*) untuk validasi model secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Pounds, R. Mahony, and P. Corke, "Modelling and control of a quad-rotor robot," in *Australasian Conference on Robotics and Automation 2006*, 2006.
- [2] A. I. Cahyadi, "Aspek-aspek teoretis pada Unmanned Aerial Vehicle (UAV): Desain Pengendali Robust Nirlinier pada UAV Bidang Prioritas Riset Pertahanan dan Keamanan Jenis Insentif Riset Riset Dasar Lembar Pengesahan," no. 0274, 2013.
- [3] R. Inovan, H. Tnunay, Y. Nugroho, M. Q. Abdurrohman, A. Cahyadi, and Y. Yamamoto, "Quadrotor State-Space Equation," no. 3, pp. 3-5.
- [4] P. I. Corke, *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB*, 73rd ed., vol. 73. Berlin: Springer-Verlag, 2011.
- [5] A. Ataka, H. Tnunay, R. Inovan, M. Abdurrohman, H. Preastianto, A. I. Cahyadi, and Y. Yamamoto, "Controllability and observability analysis of the gain scheduling based linearization for UAV quadrotor," *2013 Int. Conf. Robot. Biomimetics, Intell. Comput. Syst.*, pp. 212-218, Nov. 2013.
- [6] R. Inovan, H. Tnunay, and M. Q. Abdurrohman, "Sparse Controller for Linearized Quadrotor Model," pp. 0-3.
- [7] T. Krajnik, V. Vonasek, D. Fiser, and J. Faigl, "AR-Drone as a Platform for Robotic Research and Education," 2011.
- [8] K. Ogata, *Modern control engineering*, Fifth. Boston: Prentice-Hall, 2010.
- [9] J. P. Hansen, A. Alapetite, I. S. MacKenzie, and E. Mollenbach, "The Use of Gaze to Control Drones," 2014.
- [10] "Up and flying with the AR.Drone and ROS: Handling feedback | Robohub." [Online]. Available: <http://robhub.org/up-and-flying-with-the-ar-drone-and-ros-handling-feedback/>. [Accessed: 28-Jun-2014].

Perbandingan Karakteristik Morfologi Inti nRBC (Nucleated Red Blood Cell) dengan 5 Jenis Sel Darah Putih

Hanung Adi Nugroho, Alfiah Rizky Diana Putri,
Department of Electrical Engineering and Information Technology
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta, Indonesia
e-mail: adinugroho@ugm.ac.id, alfiah.rizky@mail.ugm.ac.id

Abstract—Nucleated Red Blood Cells are often counted as white blood cell in Complete Blood Count using automatic means, based on its characteristics of having nuclei. Research was done to compare morphological characteristics of nRBC with five different white blood cells from smeared blood images. Using the R images from original RGB images, binary segmentation was done from histogram. Nuclei in the images were detected using blob extraction algorithm. Width, length, area, and perimeter from one nucleus were extracted to calculate morphological characteristics, which were Euler number, ellipticity and compactness from both nRBC and white blood cells. Characteristics extracted from nuclei were analysed, with Euler number as the best characteristic for nRBC with a mean of 0,811036.

Keywords—nRBC, CBC, euler number, ellipticity, compactness

Intisari—Sel Darah Merah yang Menggumpal (*Nucleated Red Blood Cell*) sering dihitung sebagai sel darah putih pada perhitungan sel darah secara otomatis karena memiliki inti. Dilakukan penelitian untuk membandingkan karakteristik morfologi nRBC dengan lima jenis sel darah putih dari citra darah yang telah diberi zat warna. Dengan menggunakan citra R dari citra asli, dilakukan segmentasi biner dari histogram. Deteksi inti dilakukan menggunakan *blob extraction*. Fitur panjang, lebar, luas, dan keliling diekstrak dari inti untuk menghitung karakteristik morfologi berupa Euler number, elipsitas dan kekompakan dari nRBC dan sel darah putih. Nilai yang diekstrak dari inti telah dibandingkan, dengan Euler number memberikan hasil yang paling baik untuk nRBC dengan mean sebesar 0,811036.

Kata kunci—nRBC, CBC, euler number, elipsitas, kekompakan

I. PENDAHULUAN

Sel darah merah yang menggumpal (*Nucleated Red Blood Cell*) atau yang selanjutnya disebut nRBC adalah suatu jenis kelainan pada sel darah merah yang diakibatkan oleh adanya penggumpalan pada sel darah merah. Penggumpalan yang terjadi menyebabkan sel darah merah terlihat seperti memiliki inti. Pada orang dewasa, kemunculan nRBC dalam jumlah besar pada darah dapat menjadi indikasi adanya kelainan darah, anemia regeneratif, kelainan pada sumsum tulang belakang, dan beberapa jenis penyakit lainnya[1].

Perhitungan sel darah secara otomatis atau perhitungan sel darah komplit (*Complete Blood Count*, CBC) dilakukan dengan

cara menghitung jumlah dari sel-sel yang ada dalam darah: sel darah merah (eritrosit, RBC), sel darah putih (leukosit, WBC), dan platelet (trombosit). Jumlah sel darah yang sangat tinggi atau sangat rendah dapat menjadi indikasi adanya kelainan atau penyakit, sehingga CBC merupakan tes darah yang lazim dilakukan pada bidang kedokteran untuk diagnosis, perawatan, dan *follow up*[2].

Pada perhitungan sel darah secara otomatis, nRBC sering salah dihitung sebagai sel darah putih[1], menyebabkan terjadinya kesalahan pada hasil perhitungan sel darah yang dapat menyebabkan kesalahan diagnosis. Penelitian mengenai karakteristik sel darah putih dalam perhitungan sel darah secara otomatis telah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya. Segmentasi sel darah putih dilakukan pada diagnosis penyakit leukemia pada citra sumsum tulang belakang[3] dan citra leukemia akut[4]. Segmentasi juga dilakukan untuk sitoplasma dan inti sel darah putih dari citra darah[5] *Manual cropping* dilakukan pada citra untuk menghitung Euler number[6]. Analisis pola statistis untuk morfometri inti sel darah putih dilakukan untuk membedakan lima jenis sel darah putih[2]. Selain menarik analisis untuk karakteristik, dilakukan pula klasifikasi untuk sel darah putih pada citra leukemis menggunakan jaringan syaraf tiruan[7] dan klasifikasi sel darah menggunakan SVM[8].

Penelitian mengenai identifikasi nRBC pada darah sendiri belum terlalu banyak dilakukan. Penelitian mengenai nRBC pada *fetal DNA* dengan metode *flow sorting* telah dilakukan untuk mengisolasi sel darah nRBC[9]. Kumo, Takeshi et. al. memisahkan nRBC dari sel darah pada ibu hamil dengan cara mengekstrak sel darah menggunakan *micro gap* dengan diafragma[10].

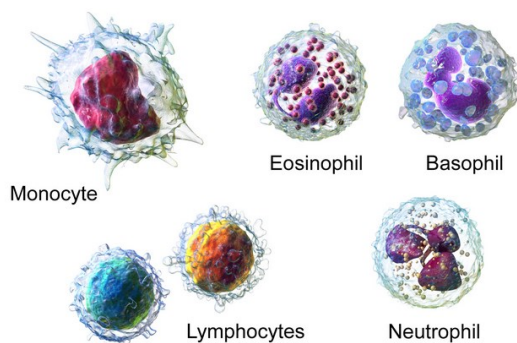
Penelitian telah dilakukan untuk mengekstrak karakteristik morfologi pada inti nRBC dan inti lima jenis sel darah putih. Karakteristik berupa panjang, lebar, luas, dan keliling inti digunakan untuk menghitung *euler number*, elipsitas, dan kekompakan. Hasil yang diperoleh untuk nRBC dibandingkan dengan hasil yang diperoleh untuk sel darah putih. Pendahuluan dijelaskan pada Bab I dan II. Penjelasan untuk metode yang digunakan dapat dilihat pada Bab III hingga Bab IV. Hasil dan pembahasan dijelaskan pada Bab V dan kesimpulan pada Bab VI.

II. NRBC DAN SEL DARAH PUTIH

Sel darah manusia memiliki bagian-bagian berupa sel darah merah (eritrosit, RBC), sel darah putih (leukosit, WBC), keping darah atau platelet (trombosit), dan plasma darah[5]. Sifat khas dari sel darah merah adalah bahwa sel darah merah tidak memiliki inti, sedangkan sel darah putih adalah sel darah yang memiliki inti. Terdapat lima jenis sel darah putih, seperti yang dijelaskan pada Tabel 1 dan diilustrasikan pada Gambar 1.

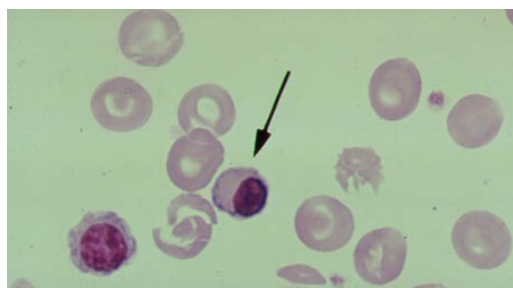
TABEL 1 JENIS-JENIS SEL DARAH PUTIH[11]

Jenis	Jumlah (%)	Inti	Keterangan
Neutrofil	62,0%	<i>Multilobed</i>	warna agak pink
Eosinofil	2,3%	<i>Bi-lobed</i>	penuh granule pink-orange
Basofil	0,4%	<i>Bi-lobed</i> atau <i>tri-lobed</i>	Besar dan biru
Limfosit	30,0%	Berwarna gelap, eksentrik	Sel NK dan sel T sitotoksik
Monosit	5,3%	Bentuk ginjal	-



Gambar 1 Ilustrasi Sel Darah Putih

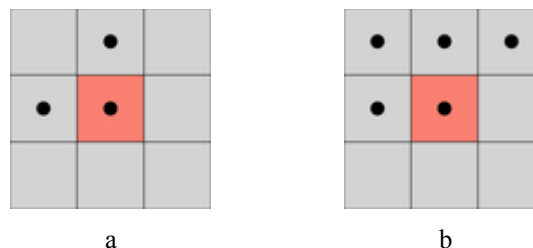
nRBC (Gambar 2) adalah sel darah merah yang menggumpal, sehingga sel darah merah yang seharusnya tidak memiliki inti nampak seperti memiliki inti seperti sel darah putih. nRBC banyak terdapat pada darah bayi (*fetal blood*) dan darah hewan. Pada darah orang dewasa, terdapatnya nRBC dalam jumlah banyak merupakan indikasi adanya kelainan tertentu[12].



Gambar 2 nRBC

III. BLOB EXTRACTION

Blob extraction atau *Connected Component Labeling* adalah algoritma yang digunakan untuk mendeteksi daerah yang saling terhubung atau terkoneksi dalam citra biner. Koneksi dapat berupa koneksi 4 arah atau koneksi 8 arah[13]. Label yang sama diberikan untuk piksel yang saling terkoneksi. Proses labeling dilakukan secara iteratif.



Gambar 3 Blob extraction (a) 4 arah (b) 8 arah

Blob extraction, seperti namanya yang berarti ekstraksi gumpalan, dapat digunakan untuk menemukan gumpalan-gumpalan lubang (*hole*) dari sebuah luasan citra untuk kemudian ditutup (*operasi closing*), dan juga digunakan pada invers citra semula untuk menghilangkan gumpalan luasan tidak diinginkan dari objek dengan cara menghilangkan luasan yang memiliki luas lebih kecil dari batas (*threshold*).

IV. EKTRAKSI FITUR MORFOLOGI

Ekstraksi fitur digunakan untuk menyatakan informasi yang ada pada data dalam suatu himpunan fitur yang berdimensi lebih kecil. Fitur bentuk atau fitur morfologi dapat diekstrak dari citra yang sudah disegmentasi biner. Terdapat beberapa fitur morfologi yang dapat diekstrak dari citra. Pada paper, fitur morfologi yang diekstrak dari inti sel darah adalah luas (*area*), keliling (*perimeter*), *euler number*[6], elipsitas, dan kekompakan yang dihitung menggunakan *form factor*[2]. Persamaan untuk menghitung *euler number*, elipsitas, dan kekompakan dapat dilihat pada (1) hingga (3).

$$Euler\ Number\ (E) = \frac{A}{W * L} \quad (1)$$

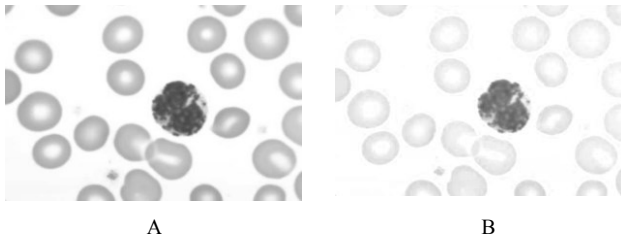
$$Elipsitas\ (e) = 1 - \frac{W}{L} \quad (2)$$

$$Kekompakan\ (R) = 4\pi \frac{A}{p^2} \quad (3)$$

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

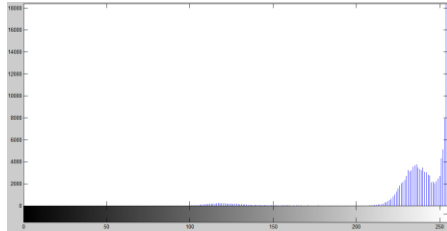
A. Citra Darah dan Segmentasi Inti

Penelitian dilakukan pada citra darah yang sudah diberi noda/ pewarna (*blood smear*) yang diperoleh dari *Hematology Atlas*[14] dan *Blood Atlas*[15]. Citra darah yang sudah diberi *staining agent* digunakan karena pada citra inti cukup dapat dibedakan dari bagian darah lain. Pada penelitian digunakan 9 buah citra nRBC dan 13 citra sel darah putih (3 basofil, 2 limfosit, 2 monosit, 2 eosinofil, dan 4 neutrofil).



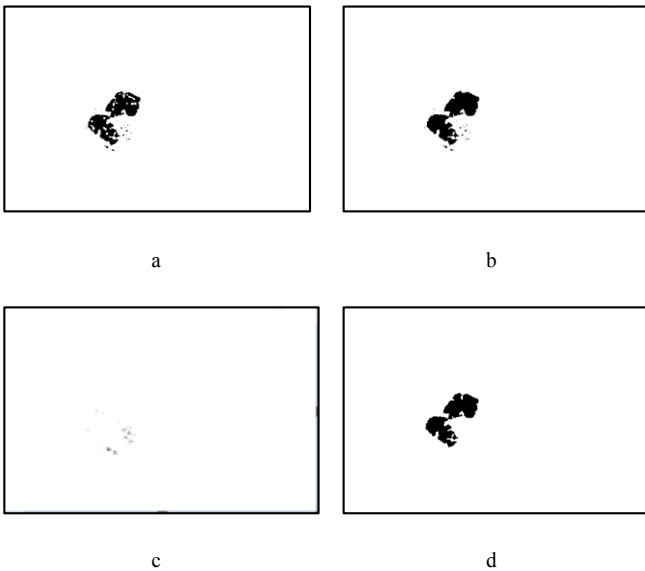
Gambar 4 Citra Asli (Basofil) (a) Grayscale (b) Citra R

Citra darah yang digunakan dalam penelitian adalah citra RGB 8 bit. Dari citra RGB tersebut, citra R digunakan pada penelitian (Gambar 4).



Gambar 5 Histogram Citra R (Basofil)

Dari histogram citra, dapat terlihat bahwa citra dapat disegmen menjadi 3 bagian atau 3 puncak, yaitu inti darah, sel darah, dan latar belakang. Dengan k-means clustering, histogram kemudian disegmentasi menjadi 3 bagian. Bagian ketiga atau inti darah kemudian diubah menjadi citra biner sehingga menjadi seperti pada Gambar 6a.



Gambar 6 Citra Eosinofil (a) Setelah Segmentasi biner (b) Setelah blob extraction untuk menutup lubang (c) Setelah Di-invers kemudian mengalami blob extraction (citra hasil invers) (d) Citra b dikurangi invers citra c

Citra yang telah hasil segmentasi biner yang diperoleh seperti pada Gambar 6a masih memiliki banyak lubang. Seperti misalnya pada eosinofil dan basofil, lubang (*hole*) disebabkan oleh *granule* merah dan biru yang terdapat pada inti. Untuk menutup lubang-lubang yang ada pada inti, dilakukan proses *blob extraction* pada citra biner sehingga lubang dapat menutup

(Gambar 6b). Proses yang sama dilakukan pada invers citra untuk menemukan luasan-luasan yang lebih kecil dari inti yang hendak diekstrak ciri morfologinya Gambar 6c. Setelah dikurangkan dari invers Gambar 6b, didapatkan inti yang telah tersegmentasi dari citra darah seperti pada Gambar 6d.

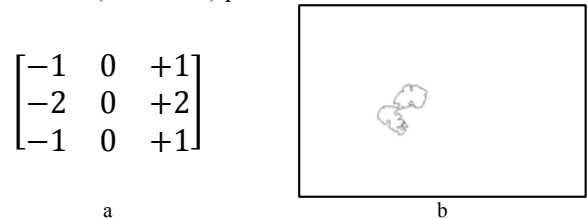
B. Mencari Panjang, Lebar, dan Luas

Dari citra inti tersegmentasi biner seperti pada Gambar 6d, luas inti dalam piksel dapat dicari dengan menghitung jumlah piksel bernilai 0 yang ada pada citra. Hasil luasan piksel untuk nRBC dan sel darah putih dapat dilihat pada kolom A (*Area*) pada Tabel 2 dan Tabel 3. Panjang dan lebar inti dalam piksel dihitung secara iteratif dari baris dan kolom untuk menemukan piksel inti pertama dan terakhir pada baris dan kolom. Panjang dan lebar dalam piksel didapatkan dengan mengurangkan kolom awal inti dari kolom akhir inti dan baris awal inti. Hasil panjang dan lebar inti yang didapatkan untuk nRBC dan sel darah putih dapat dilihat pada kolom L (*Length*) dan W (*Width*) pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Karena panjang dan lebar diperoleh dari citra dalam satuan piksel dan begitu pula dengan luasan yang bernilai luas piksel, perbesaran mikroskop dan kamera yang digunakan saat mengakuisisi citra sangat mempengaruhi luasan yang didapatkan. Dari Tabel 2, terlihat bahwa panjang, lebar, dan luas inti nRBC yang diperoleh dari citra sampel relatif sama. Hal ini disebabkan oleh persamaan mikroskop dan kamera yang digunakan untuk mengakuisisi data citra. Lain halnya pada Tabel 3, terlihat bahwa nilai panjang, lebar, dan luas dari mean data nRBC yang diperoleh dari Tabel 2 berbeda cukup jauh dengan nilai yang didapatkan dari sel darah putih. Hal ini dapat disebabkan karena ukuran nRBC yang lebih kecil atau akuisisi citra yang berbeda sehingga tidak dapat dibandingkan. Yang terjadi pada penelitian adalah hal yang kedua karena perbesaran mikroskop yang digunakan berbeda dan beberapa tidak diberikan dari sumber. Untuk dapat membandingkan nilai yang diperoleh dari citra menjadi ukuran riil, perlu dilakukan kalibrasi dengan cara mengalikan nilai dari piksel yang diperoleh dengan rasio piksel (*pixel ratio*) dan perbesaran mikroskop.

C. Mencari Keliling dengan Deteksi Tepi

Dari citra inti tersegmentasi biner seperti pada Gambar 6d, keliling inti dapat dicari dengan menghitung jumlah piksel yang mengelilingi objek. Piksel yang mengelilingi objek dapat diperoleh menggunakan deteksi tepi inti. Operator yang digunakan dalam deteksi tepi adalah operator Sobel horizontal. Keliling dari ini NRBC dan inti sel darah putih dapat dilihat pada kolom P (*Perimeter*) pada Tabel 2 dan Tabel 3.



Gambar 7 (a) Operator Sobel (b) Citra Eosinofil setelah Deteksi Tepi (Invers)

TABEL 2 KARAKTERISTIK MORFOLOGI NRBC YANG DIEKSTRAK DARI CITRA

Sel Darah	A	P	W	L
NRBC_1	1099	110	37	35
NRBC_2	1727	141	48	44
NRBC_3	1208	121	39	40
NRBC_4	1209	123	39	40
NRBC_5	1090	108	36	36
NRBC_6	1567	139	43	48
NRBC_7	1130	111	37	37
NRBC_8	1316	123	41	39
NRBC_9	1143	111	37	37

TABEL 3 KARAKTERISTIK MORFOLOGI SEL DARAH PUTIH DAN NRBC YANG DIEKSTRAK DARI CITRA

Sel Darah	A	P	W	L
Mean NRBC	1276,556	120,778	39,667	39,556
Basofil_1	6261	531	93	97
Basofil_2	7820	389	106	109
Basofil_3	7662	582	105	118
Limfosit_1	1756	136	48	47
Limfosit_2	4972	262	85	74
Monosit_1	7817	378	129	87
Monosit_2	8811	504	110	115
Eosinofil_1	4211	856	81	102
Eosinofil_2	4313	505	103	106
Neutrofil_1	4727	314	68	110
Neutrofil_2	2655	267	52	95
Neutrofil_3	6271	348	103	97

Seperti pada Bagian C, nampak pula bahwa nilai keliling yang didapatkan cukup beragam. Nilai-nilai keliling tersebut tidak dapat dibandingkan secara langsung karena faktor untuk kalibrasi tidak diketahui.

D. Menghitung Karakteristik Morfologi

Selain karakteristik morfologi berupa panjang, lebar, luas, dan keliling, karakter morfologi berupa euler number, elipsitas, dan kekompakan dapat pula diekstrak dari citra. Karakter-karakter morfologi tersebut tidak secara langsung dapat diperoleh dari citra, karena masing-masing kalkulasi membutuhkan informasi lain seperti panjang, lebar, luas, dan keliling.

Persamaan untuk menghitung euler number, elipsitas, dan kekompakan dapat dilihat pada (1) hingga (3). Hasil yang diperoleh untuk nRBC dapat dilihat pada Tabel 4 dengan E (euler number), e (elipsitas), dan R(kekompakan). Hasil untuk nRBC dapat dibandingkan dengan hasil milik lima jenis sel darah putih pada Tabel 5.

TABEL 4 KARAKTERISTIK MORFOLOGI NRBC YANG DIPEROLEH DARI HASIL KALKULASI

Sel Darah	E	e	R
NRBC_1	0,848649	0,574713	1,141818
NRBC_2	0,817708	0,428571	1,09204
NRBC_3	0,774359	0,546512	1,037244
NRBC_4	0,775000	0,546512	1,004617
NRBC_5	0,841049	0,625000	1,174799
NRBC_6	0,759205	0,481928	1,019586
NRBC_7	0,82542	0,564706	1,152968
NRBC_8	0,823014	0,528736	1,093529
NRBC_9	0,834916	0,58427	1,166232

TABEL 5 KARAKTERISTIK MORFOLOGI SEL DARAH PUTIH DAN NRBC YANG DIPEROLEH DARI HASIL KALKULASI

Sel Darah	E	e	R
Mean NRBC	0,811036	0,542327	1,098093
Basofil_1	0,694047	0,316176	0,279151
Basofil_2	0,676822	0,333333	0,649669
Basofil_3	0,618402	0,371257	0,284368
Limfosit_1	0,778369	0,575221	1,193524
Limfosit_2	0,790461	0,606481	0,91057
Monosit_1	0,696516	0,370732	0,687767
Monosit_2	0,696522	0,054545	0,436063
Eosinofil_1	0,509683	0,802469	0,072247
Eosinofil_2	0,395036	0,379518	0,212609
Neutrofil_1	0,631952	0,733333	0,602714
Neutrofil_2	0,537449	0,846154	0,468195
Neutrofil_3	0,627665	0,576132	0,650973

Membandingkan inti nRBC dengan lima jenis inti sel darah putih dari Euler number, elipsitas, dan kekompakannya memiliki keunggulan dibandingkan dengan membandingkan inti dari panjang, lebar, keliling, dan luasnya. Karena euler number, elipsitas, dan kekompakan merupakan nilai perbandingan yang tidak memiliki satuan, informasi mengenai kamera dan perbesaran mikroskop tidak diperlukan untuk perbandingan.

Dapat terlihat dari Tabel 4, Euler number untuk inti nRBC relatif sama, dengan mean sebesar 0,811036. Euler number merupakan perbandingan antara luas objek dengan luas persegi panjang yang melingkupi. Euler number inti nRBC bernilai besar karena bentuknya yang mendekati bentuk lingkaran atau elips, sehingga luas yang dicakup juga besar. Bentuk inti yang mendekati bentuk lingkaran juga terlihat dari nilai kekompakannya yang bernilai mendekati 1, dengan mean sebesar 1,098093. Semakin mendekati nilai 1, maka suatu objek semakin kompak. Terlihat pula dari mean nilai elipsitas yang

bernilai 0,542327 bahwa bentuk inti nRBC mendekati bentuk lingkaran.

Bila karakteristik yang diperoleh untuk nRBC dibandingkan dengan karakteristik untuk lima jenis sel darah putih seperti pada Tabel 5, dapat terlihat bahwa meskipun *Euler number*, elipsitas, dan kekompakan menyatakan karakteristik morfologi, tidak semuanya dapat digunakan untuk membandingkan inti sel-sel darah secara tepat. Dari tabel dapat terlihat bahwa nilai elipsitas dan kekompakan yang didapat dari inti-inti sel cukup beragam. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor. Pada inti sel seperti neutrofil yang *multilobe* dan limfosit yang memiliki bentuk eksentrik, nilai panjang dan lebar yang diperoleh tidak seragam, sehingga menyebabkan nilai elipsitas yang sesuai untuk objek yang berbentuk elips menjadi tidak seragam. Nilai kekompakan yang dipengaruhi oleh nilai keliling menyebabkan nilai yang berbeda untuk jumlah cuping (*lobe*) yang berbeda pada neutrofil dan basofil.

Meskipun begitu, dapat terlihat bahwa nilai *euler number* untuk masing-masing jenis sel darah putih dan nRBC memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Dapat dilihat dari tabel bahwa *euler number* nRBC lebih tinggi dibandingkan dengan *euler number* dari sel darah putih. Dari *euler number*-nya sel darah putih dapat diurutkan (dari paling besar ke paling kecil): limfosit, monosit, basofil, neutrofil, dan eosinofil. Dari *euler number*-nya, nRBC memiliki kemiripan paling tinggi dengan limfosit yang juga memiliki kemiripan pada nilai kekompakan[1]. Untuk membedakan nRBC dengan limfosit, dapat digunakan informasi elipsitas.

VI. KESIMPULAN

Dari riset yang telah dilakukan pada *paper*, dapat disimpulkan bahwa karakteristik berupa panjang, lebar, luas, dan keliling dari inti nRBC dan lima jenis sel darah putih dapat diekstrak dari citra. Dari karakteristik-karakteristik tersebut, karakteristik morfologi berupa *Euler number* (E), Elipsitas(e), dan Kekompakan(R) dari masing-masing dapat dihitung. Karakteristik yang paling menonjol dari inti nRBC bila dibandingkan dengan sel darah putih adalah *Euler number* dengan nilai mean *Euler number* sebesar 0,811036.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Chaefer and R. M. Rowan, "The Clinical Relevance of Nucleated Red Blood Cell Counts," *Sysmex J. Int.*, vol. 10, no. 2, pp. 59–63, 2000.
- [2] M. Ghosh, M. Pal, A. K. Mai, and S. K. Pain, "Statistical Pattern Analysis of White Blood Cell Nuclei Morphometry," April, pp. 59–66, 2010.
- [3] L. H. Nee and M. Y. Mashor, "White Blood Cell Segmentation for Acute Leukemia Bone Marrow Images," February, pp. 27–28, 2012.
- [4] A. S. A. Nasir and M. Y. Mashor, "Unsupervised Colour Segmentation of White Blood Cell for Acute Leukaemia Images," pp. 1–4, 2011.

- [5] F. I. Sholeh, "Blood Cell Segmentation for Fresh Blood Smear Images," pp. 978–979, 2013.
- [6] Ratnasari, Fifin Dewi, Sri Hartati. Identifikasi dan klasifikasi jenis sel darah putih dengan pengolahan citra digital. Tesis UGM. 2010.
- [7] M.-C. Su, C.-Y. Cheng, and P.-C. Wang, "A neural-network-based approach to white blood cell classification.," *ScientificWorldJournal.*, vol. 2014, no. 1, p. 796371, Jan. 2014.
- [8] W. Tai, R. Hu, H. C. W. Hsiao, R. Chen, and J. J. P. Tsai, "Blood Cell Image Classification Based on Hierarchical SVM," pp. 129–136, 2011.
- [9] D. W. Bianchi, a F. Flint, M. F. Pizzimenti, J. H. Knoll, and S. a Latt, "Isolation of fetal DNA from nucleated erythrocytes in maternal blood.," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 87, no. 9, pp. 3279–83, May 1990.
- [10] T. Kumo, Y. Tomizawa, M. Kita, H. Takabayashi, E. Tamiya, and Y. Takamura, "Concentration and Extraction Chip of Fetal Nucleated Red Blood Cell (nRBC) By Micro Gap With Diaphragm for Fetal DNA Diagnosis from Maternal Blood," October, pp. 1583–1585, 2010.
- [11] Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, and Peter Walter "Leukocyte functions and percentage breakdown". *Molecular Biology of the Cell* (4th ed.). New York: Garland Science. 2002. ISBN 0-8153-4072-9.
- [12] J. Li, K. Kobata, Y. Kamei, and Y. Okazaki, "Nucleated red blood cell counts : An early predictor of brain injury and 2-year outcome in neonates with hypoxic – ischemic encephalopathy in the era of cooling-based treatment," *BRAIN Dev.*, 2013.
- [13] R. Fisher, S. Perkins, A. Walker and E. Wolfart. "Connected Component Labeling". 2003
- [14] Meldeiros, Nivaldo. *hematologyatlas.com*. 2014.
- [15] Blood Atlas. *image.bloodline.net*. 2010. Carden Jennings Publishing.

Optimasi Waktu Gerak Lurus Robot Lengan 6 DOF Dengan Algoritma Genetik

Oyas Wahyungoro¹, R. Suryoto Edy Raharjo², Priyatmadi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro FT UGM
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

Email : oyas@te.ugm.ac.id, oyas@ugm.ac.id

Abstract— This paper proposes genetic algorithm (GA) to optimize the travel time for the 6 DOF robot arm straight motion. The objective function in GA is proposed to seek the optimal time value of robotic arm motion in a straight line trajectory. As more and more levels of Degree of Freedom (DoF), the more difficult to achieve precision, especially during straight motion from the initial point to the final point, which is affected by the determination of the swivel angle of each actuator, linearity path length straight-effector motion, and the required number of Intermediate Point. This affects the time it takes to reach the destination point (final point). Forward kinematics is used to find the coordinates of the end effector, and a linear function of a straight line from the starting point (initial point) to the point of destination (final point) and the travel time is used as the objective function of GA.

Intisari— Paper ini mengusulkan algoritma genetika (GA) untuk mengoptimalkan waktu tempuh gerak lurus untuk robot lengan 6 DOF. Fungsi obyektif pada GA diusulkan untuk mencari nilai waktu yang optimal dari gerakan robot lengan pada trajektori berupa garis lurus. Karena semakin banyak tingkat Degree of Freedom (DoF), semakin sulit mencapai kepresisian, terutama pada saat gerak lurus dari titik awal (*initial point*) ke titik tujuan (*final point*), yang dipengaruhi oleh penentuan putar sudut masing-masing aktuator, linieritas panjang lintasan gerak lurus efektor, dan banyaknya *Intermediate Point* yang diperlukan. Hal ini berpengaruh pada waktu yang diperlukan untuk mencapai titik tujuan (*final point*). Kinematika maju digunakan untuk mencari koordinat end effector, dan fungsi linier dari garis lurus dari titik awal (*initial point*) ke titik tujuan (*final point*) serta waktu tempuh digunakan sebagai fungsi obyektif GA.

Keywords— 6 DOF arm robot, arm robot, genetic algorithms.

I. PENDAHULUAN

Robot lengan merupakan robot dengan prinsip gerakan seperti halnya lengan manusia. Pada awalnya, robot lengan mempunyai sendi bahu (*shoulder*), sendi siku (*elbow*), sendi pergelangan (*wrist*) dan jari (*end effector*). Dalam perkembangannya, jumlah sendi putar diperbanyak untuk meningkatkan jangkauan dan fleksibilitas. Dalam aplikasinya di dunia industri, robot lengan digunakan untuk memindahkan barang dari suatu tempat ke tempat yang lain baik secara otomatis maupun manual. Melakukan pekerjaan yang sama berulang-ulang dan dalam waktu yang lama [1]. Derajat kebebasan (*Degree of Freedom* atau DoF) pada robot lengan merupakan gerakan linier atau putaran pada sebuah sumbu (*axis*). Kepresisian robot lengan sangat mempengaruhi tingkat keberhasilan pekerjaan. Semakin banyak tingkat *Degree of Freedom*

(DoF), semakin sulit mencapai kepresisian [2], terutama pada saat gerak lurus.

Srinivasan Alavandar, Adhi vairava Sundaram dan Nigam [3] melakukan penelitian menggunakan GA untuk mengendalikan robot lengan sebagai pemijat, dengan sensor kamera, encoder di setiap sendi dan saklar sebagai sensor pada grip. Gerakan lengan robot, konsumsi energi, perbedaan kecepatan gerakan dari satu titik ke titik lain, dioptimalkan menggunakan GA, dan menghindari tabrakan dengan benda di sekitarnya[4].

Penelitian optimasi trajektori robot lengan 3 DOF, optimasi jarak dan waktu tempuh, membatasi torsi maksimum, dan menghindari tabrakan, dilakukan oleh Bahaa Ibraheem Kazem, Ali Ibrahim Mahdi, dan Ali Talib Oudah [5]. Penentuan titik awal, titik tengah dan titik akhir menggunakan *Quadrinomial* dan *quintik polinomial*, sehingga trajektori berupa lintasan melengkung, tidak berupa garis lurus.

Dalam paper ini lintasan trajektori yang digunakan berupa garis lurus, dan ditentukan oleh koordinat titik awal (*initial point*), titik tujuan (*final point*) dan titik antara (*intermediate point*).

Intermediate point (IM) merupakan titik koordinat yang berada pada lintasan antara titik awal dan titik tujuan yang harus dilewati *end effector* [5].

Dalam paper ini, metode GA digunakan untuk mencari waktu yang optimal dari beberapa percobaan dengan perbedaan jumlah *intermediate point* (IM).

Kinematika maju digunakan untuk mencari koordinat *end effector*, dan fungsi linier dari garis lurus dari titik awal (*initial point*) ke titik tujuan (*final point*) digunakan sebagai fungsi obyektif pada GA.

Pengendalian robot, menggunakan *software*, *hardware* dan Robot Lengan. Data yang diambil dari robot lengan berupa data sudut masing-masing servo. Konfigurasi seperti pada Gambar 1. Konfigurasi ini, mempermudah untuk dilakukan perubahan tipe algoritma pada *software* tanpa merubah *hardware* dengan biaya lebih kecil.

II. PERANCANGAN SISTEM

Robot lengan dalam penelitian ini menggunakan motor servo digital Dynamixel AX-12A, Gambar 2, yang dilengkapi dengan keluaran posisi sudutnya.

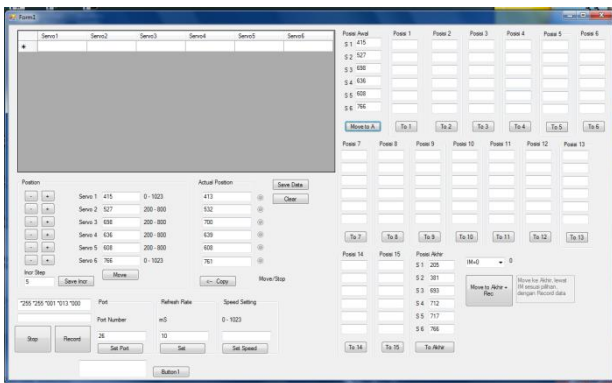


Gambar 1. Pengendalian Robot Lengan

Software pengendali dan perekam data servo, dibuat dengan menggunakan Visual Studio 2010 (Gambar 3). Pada software, akan dimasukkan sudut masing-masing servo pada titik awal, titik antara dan titik akhir, dan akan merekam sudut masing-masing servo saat pergerakan dari titik awal ke titik akhir. Setelah semua servo berhenti bergerak, software akan berhenti merekam data. Data sudut masing-masing servo, diambil dengan interval 100mS, dan hasilnya berupa data dalam format file Spreadsheet xlsx.



Gambar 2. Robot Lengan 6 DOF



Gambar 3. Software Pengendali dan Perekam

III. ANALISA KINEMATIKA

Koordinat end effector dicari menggunakan rumus kinematika maju, dengan masukan berupa sudut masing-masing servo. Proses diawali dengan membuat frame assignment (Gambar 4), selanjutnya dilakukan pemodelan dengan DH Parameter seperti pada Tabel 1 [6]. Perubahan sudut servo 6 (wrist) tidak mempengaruhi koordinat end effector, maka dalam perhitungan hanya digunakan panjangnya (a₆) saja. Notasi yang digunakan untuk mempersingkat dalam perhitungan matriks, antara lain :

$$C_i = \cos \theta_i$$

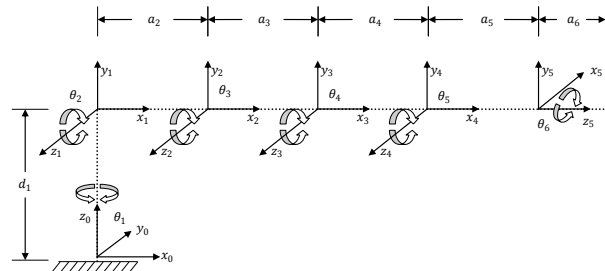
$$S_i = \sin \theta_i$$

$$C_{ij} = \cos(\theta_i + \theta_j)$$

$$S_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j)$$

Tabel 1 DH Table

Joint <i>i</i>	α_i	a_i	d_i	θ_i
1	90	0	d_1	θ_1
2	0	a_2	0	θ_2
3	0	a_3	0	θ_3
4	0	a_4	0	θ_4
5	0	$a_5 + a_6$	0	θ_5



Gambar 4. Frame Assingment

Berdasarkan tabel DH, didapatkan matriks transformasi untuk masing-masing sendi, sebagai berikut :

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & -C_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & a_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} C_3 & -S_3 & 0 & a_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & a_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} C_4 & -S_4 & 0 & a_4 C_4 \\ S_4 & C_4 & 0 & a_4 S_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} C_5 & -S_5 & 0 & (a_5 + a_6) C_5 \\ S_5 & C_5 & 0 & (a_5 + a_6) S_5 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

$$T_5^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4$$

$$T_5^0 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Dari perhitungan, persamaan matriks robot lengan yang didapatkan adalah :

$$r_{11} = C_1 C_{23} C_{45} - C_1 S_{23} S_{45} \tag{7}$$

$$r_{12} = -C_1 S_{23} C_{45} - C_1 C_{23} S_{45} \tag{8}$$

$$r_{13} = S_1 \tag{9}$$

$$p_x = C_1(a_2 C_2 + a_3 C_{23}) + C_1 C_{23}(a_4 C_4 + (a_5 + a_6) C_{45}) \tag{10}$$

$$r_{21} = S_1 C_{23} C_{45} - S_1 S_{23} S_{45} \tag{11}$$

$$r_{22} = -S_1 S_{23} C_{45} - S_1 C_{23} S_{45} \quad (12)$$

$$r_{23} = -C_1 \quad (13)$$

$$P_y = S_1(a_2 C_2 - a_3 C_{23}) + S_1 C_{23}(a_4 C_4 + (a_5 + a_6) C_{45}) - S_1 S_{23}(a_4 S_4 + (a_5 + a_6) S_{45}) \quad (14)$$

$$r_{31} = S_{23} C_{45} + C_{23} S_{45} \quad (15)$$

$$r_{32} = C_{23} C_{45} - S_{23} S_{45} \quad (16)$$

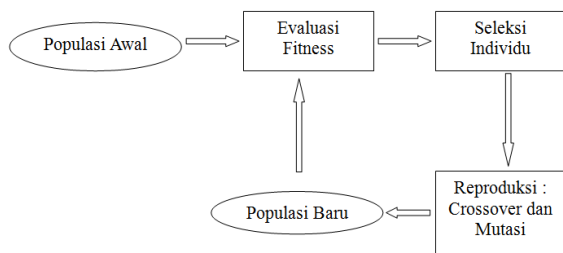
$$r_{33} = 0 \quad (17)$$

$$P_z = d_1 + S_{23}(a_4 C_4 + (a_5 + a_6) C_{45}) + C_{23}(a_4 S_4 + (a_5 + a_6) S_{45}) + a_2 S_2 + a_3 S_{23} \quad (18)$$

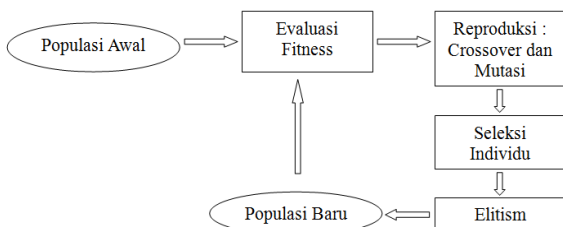
IV. ALGORITMA GENETIK

David Goldberg pertama kali memperkenalkan Algoritma genetik, dimana gambaran siklusnya dapat dilihat pada Gambar 5. Kemudian siklus tersebut diperbaiki oleh Zbigniew Michalewics dengan menambahkan operator Elitism dan membalik urutan antara proses seleksi dan proses reproduksi (Gambar 6) [7]. Dalam penelitian ini, penulis menerapkan GA dengan siklus yang telah diperbaharui seperti pada Gambar 6.

Fungsi objektif dalam GA, berupa nilai rata-rata *error*, simpangan koordinat *end effector* terhadap fungsi linier garis lurus dari titik awal ke titik akhir dalam dimensi ruang, yang dinyatakan dengan persamaan (19) dan (20) dalam satu individu dan waktu tempuh. Waktu tempuh, dicari berdasarkan jumlah data yang direkam.



Gambar 5. Siklus Algoritma Genetik oleh David Goldberg



Gambar 6. Siklus Algoritma Genetik yang telah diperbaharui oleh Zbigniew Michalewics

$$f(x_i) = \frac{|(P_i - A) \times (P_i - B)|}{|B - A|} \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{f(x_i)}{n} \quad (20)$$

A. Populasi Awal

Kumpulan individu berupa data koordinat *end effector* hasil percobaan, data ini sebagai populasi awal. Individu dalam penelitian ini, berupa kumpulan koordinat *end effector* pada saat pergerakan dari titik awal menuju titik akhir Gambar 7. Gen pada individu merupakan salah satu koordinat dari *end effector* pada saat pengambilan data, sehingga untuk membentuk populasi awal dibutuhkan beberapa kali percobaan, Gambar 8.

B. Crossover dan Mutasi

Metode *one-cut point* digunakan untuk crossover, dimana kita memilih secara acak satu kromosom dan menukar gen mulai dari posisi *cut-point* dengan kromosom lain. Pertama, kita tentukan nilai *crossover probability* P_c dengan nilai 0-1. Dilanjutkan dengan membangkitkan angka acak R antara 0-1, sebanyak jumlah kromosom. Jika $R_{[i]} < P_c$, maka kromosom ke- i akan dipilih sebagai induk. Posisi *cut-point*, kita cari dengan cara membangkitkan angka acak antara 1-panjang kromosom (jumlah gen dalam satu kromosom). Misalkan $cut-point=3$, maka :

$$[1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6] \leftrightarrow [A \ B \ C \ D \ E \ F]$$

$$offspring_{[i]} = [1 \ 2 \ C \ D \ E \ F]$$

Proses mutasi dimulai dengan menentukan prosentase banyaknya gen yang akan dimutasi dalam populasi (*mutation rate*) P_m . Dimulai dengan mencari panjang gen, banyaknya gen dalam populasi, yaitu jumlah gen dalam kromosom \times populasi. Selanjutnya membangkitkan angka acak antara 1-panjang gen, sebanyak panjang gen $\times P_m$ Maka gen yang terpilih untuk dimutasi, akan dirubah.

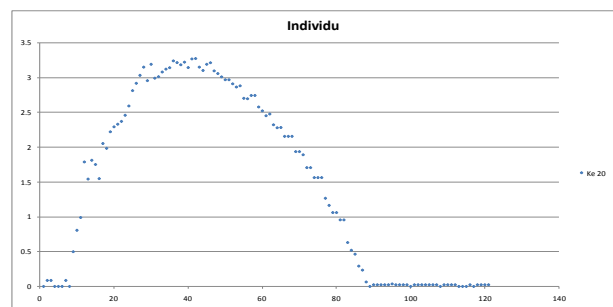
C. Seleksi

Seleksi individu dilakukan untuk evaluasi *fitness*, dimana nilai obyektif setiap individu akan dibandingkan dengan nilai obyektif dari populasi.

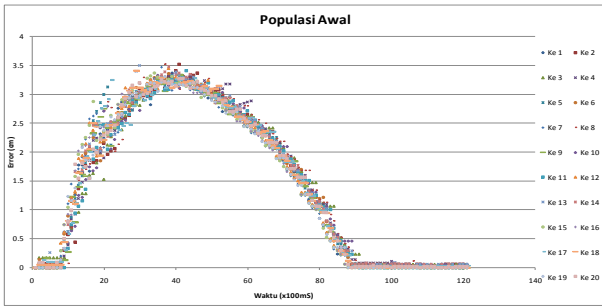
Proses seleksi dengan menggunakan metode mesin roulette. Masing-masing individu dicari nilai probabilitasnya $P_{[i]}$, dan nilai probabilitas kumulatif $C_{[i]}$ dengan rumus :

$$P_{[i]} = \frac{\text{nilai fitness}}{\text{total fitness populasi}} \quad (20)$$

$$C_{[i]} = P_{[1]} + \dots + P_{[i]} \quad (21)$$



Gambar 7. Individu



Gambar 8. Populasi Awal

D. Elitism

Pemilihan kromosom yang akan masuk dalam daftar Elit dengan menggunakan nilai dari fungsi obyektif dan nilai fitness. Jika nilai tersebut lebih besar dari *Elitism Threshold*, maka kromosom tersebut masuk dalam kelompok elit.

V. HASIL

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data 20 kali dalam satu percobaan, dan 9 percobaan, yaitu percobaan tanpa *Intermediate Point* (IM=0), IM=2, IM=3, IM=5, IM=7, IM=9, IM=11, IM=13, dan IM=15.

Optimasi GA dengan pengaturan populasi, jumlah iterasi, *crossover probability*, *mutation rate* serta koordinat titik awal dan titik akhir pada Tabel 2. Titik awal dan titik akhir mempunyai nilai yang sama untuk semua percobaan.

Perbandingan hasil percobaan setiap kelompok percobaan pada Tabel 3, menunjukkan waktu tempuh terkecil dan terbesar beserta nilai rata-rata error yang dihasilkan. Nilai error merupakan nilai *absolute error*, dan interval pengambilan data adalah 100mS.

Hasil optimasi GA pada setiap kelompok percobaan, mendapatkan hasil pada Tabel 4. Nilai rata-rata *error* lebih kecil dari nilai sebelum GA, namun waktu tempuh yang dihasilkan tidak lebih kecil dari waktu tempu terkecil dalam kelompok percobaan. Dengan demikian hasil optimasi GA mendapatkan nilai waktu tempuh yang optimal dengan nilai rata-rata *error* yang kecil.

Tabel II Pengaturan Optimasi GA

Pengaturan	Nilai
Populasi	20
Jumlah Iterasi	100
Crossover Probability	0,25
Mutation Rate	0,1
Koordinat Titik Awal (x)	4, 959943
Koordinat Titik Awal (y)	16,15475
Koordinat Titik Awal (z)	48,05948
Koordinat Titik Akhir (x)	-1,35081
Koordinat Titik Akhir (y)	-4,48115
Koordinat Titik Akhir (z)	47,3173

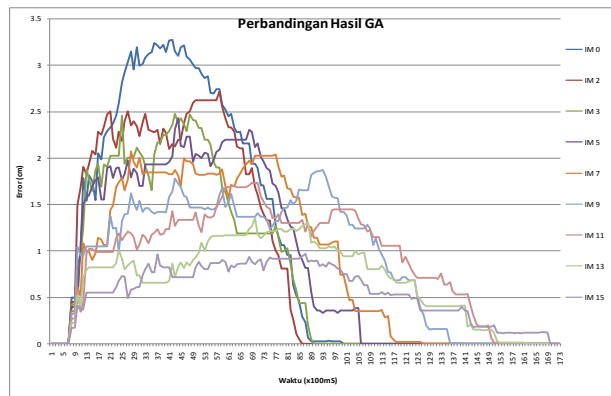
Tabel III Perbandingan Hasil Percobaan

Kelompok Percobaan	Waktu Tempuh Terkecil (x100mS)	Rata-rata Error (cm)	Waktu Tempuh Terbesar (x100mS)	Rata-rata Error (cm)
IM = 0	91	3,92	122	3,24
IM = 2	83	3,15	122	2,91
IM = 3	81	2,87	130	2,93

IM = 5	103	2,91	138	2,73
IM = 7	116	2,76	146	2,64
IM = 9	127	2,42	174	2,12
IM = 11	139	2,31	174	2,05
IM = 13	147	2,15	181	1,86
IM = 15	152	1,48	189	1,62

Tabel IV Perbandingan Hasil Optimasi GA

Percobaan	Rata-rata Error (cm)	Waktu Tempuh (x100mS)
IM = 0	3,17	100
IM = 2	2,72	85
IM = 3	2,33	89
IM = 5	2,66	105
IM = 7	2,05	126
IM = 9	1,82	140
IM = 11	1,75	152
IM = 13	1,34	161
IM = 15	0,95	169



Gambar 9. Perbandingan Hasil Optimasi GA

VI. KESIMPULAN

Algoritma genetik dapat digunakan untuk mencari nilai rata-rata *error* beserta waktu tempuh paling optimal dari data hasil percobaan robot lengan 6 DOF. Hasil optimasi GA mendapatkan nilai waktu tempuh yang optimal dengan nilai rata-rata *error* yang kecil.

Semakin banyak *Intermediate Point* dalam trajektori, akan menurunkan nilai error, sehingga bisa mendekati trajektori yang diinginkan. Akan tetapi, semakin banyak *Intermediate Point*, akan menambah waktu yang dibutuhkan untuk bergerak.

REFERENSI

- [1] M. Emerich, "Design of a six Degree-of-Freedom Articulated Robotic Arm for Manufacturing Electrochromic Nanofilms."
- [2] A. A. Shaik, D. N. S. Tlale, and P. G. Bright, "6 DOF, Low Inertia, Concept Design for an Industrial Robotic Arm", ROBMECH, 23-25 November 2011.
- [3] S. Alavandar, K. A. v. Sundaram, and M.J.Nigam, "Genetic Algorithm Based Robot Massage," JATIT, p. 8, 2007.
- [4] G. S. Sharma and A. kaur, "Optimization of Energy in Robotic arm using Genetic Algorithm."
- [5] B. I. Kazem, A. I. Mahdi, and A. T. Oudah, "Motion Planning for a Robot Arm by Using Genetic Algorithm," JJMIE, vol. 2, p. 6, September 2008.
- [6] John Craig, "Introduction to Robotics Mechanics and Control", edisi 3, Pearson Educational, 2005

- [7] <http://lecturer.eepis-its.edu/~entin/Kecerdasan%20Buatan/Buku/Bab%207%20Algoritma%20Genetika.pdf>, diakses pada 09 Maret 2014.

Pengaruh Jumlah Titik Sudut Elemen Poligon terhadap Peningkatan Akurasi Metode Elemen Hingga Poligonal dengan Fungsi Bentuk Wachspress

Eny Sukani Rahayu

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta, 55281
eny_sr@ugm.ac.id

Abstract— Polygonal finite element method is a development of finite element method in general which has high flexibility in choosing the type of elements for building a mesh. In a 2D calculation domain, the mesh will not consist of triangular or rectangular elements only. However, it may be composed of combination of triangular and rectangular elements, pentagons, or other polygons. The number of n-gons shows the number of vertices in the polygonal element. One of shape functions in polygonal finite element is Wachspress shape function. Accuracy is important in doing this numerical calculation. In this research, effect of increasing number of vertices in elements used for building the mesh to the accuracy of the results becomes the objective of this research. The problem here is calculating band gap characteristic of photonic crystal with square lattice. The research is conducted by building some meshes. Each of them is dominated by elements with certain number of vertices. The results show that increasing number of vertices of polygons used in mesh can increase the accuracy of the approximate solutions.

Keywords-finite element method; polygonal element; Wachspress shape function; polygonal vertices; accuracy

Intisari-Metode elemen hingga poligonal merupakan pengembangan dari metode elemen hingga pada umumnya yang memiliki tingkat fleksibilitas tinggi dalam pemilihan jenis elemen hingga. Dalam suatu daerah perhitungan dua dimensi, *mesh* tidak hanya terdiri dari elemen segitiga atau segiempat saja melainkan dapat merupakan gabungan dari elemen segitiga, segiempat, segilima, ataupun segi-banyak lainnya. Jumlah segi ini menunjukkan jumlah titik sudut pada elemen poligon tersebut. Salah satu fungsi bentuk yang digunakan pada metode elemen hingga poligonal adalah Wachspress *shape function* (fungsi bentuk). Sebagai salah satu jenis metode numeris, akurasi menjadi sesuatu yang penting. Dalam penelitian ini, pengaruh jumlah sudut elemen poligon yang digunakan dalam pembuatan *mesh* terhadap peningkatan akurasi hasil pendekatan metode elemen hingga poligonal dengan fungsi bentuk Wachspress menjadi target utama. Objek pengamatannya adalah karakteristik celah frekuensi kristal fotonik *lattice* bujursangkar. Pengamatan dilakukan dengan membuat *mesh* dengan dominasi elemen dengan jumlah sudut tertentu. Hasilnya menunjukkan bahwa makin banyak jumlah titik sudut dari elemen poligon yang mendominasi *mesh*, akurasi yang dihasilkan makin tinggi.

Kata kunci: metode elemen hingga; elemen poligon; Wachspress *shape function*; titik sudut poligon; akurasi

I. PENDAHULUAN

Metode elemen hingga poligonal dengan memanfaatkan fungsi bentuk Wachspress dapat memberikan fleksibilitas dalam pemilihan elemennya. Elemen-elemen yang digunakan dalam menyusun *mesh* dua dimensi (2D) tidak hanya berupa elemen segitiga atau segiempat saja namun beberapa jenis elemen dapat disandingkan bersama-sama antar elemen poligon konveks. Hal ini memberikan kemudahan dan fleksibilitas dalam pemodelan daerah kalkulasi dengan bentuk elemen yang bervariasi. Walaupun fungsi interpolasi fungsi bentuk Wachspress memiliki kekurangan dalam hal stabilitas akurasi yang dihasilkan dibanding dengan fungsi bentuk poligon yang lain, seperti mean value coordinate, namun fungsi bentuk Wachspress lebih mudah diimplementasikan pada kasus perhitungan karakteristik celah frekuensi kristal fotonik *lattice* bujursangkar [1-6]. Adapun pengaruh jumlah titik sudut elemen poligon terhadap tingkat akurasi metode elemen hingga poligonal dengan fungsi bentuk Wachspress pada kasus di atas belum terlihat. Hal tersebut akan disajikan dalam makalah ini.

II. FORMULASI MATEMATIS

Fungsi interpolasi fungsi bentuk Wachspress ini dipilih karena mampu mendukung pemodelan daerah kalkulasi pada metode elemen hingga poligonal dengan bentuk elemen poligon bervariasi sehingga memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi dan tidak terbatas pada elemen tertentu saja, misalnya elemen segitiga linear dapat bersandingan dengan elemen heksagon tanpa kehilangan *conformity* [2,6].

Pada kasus ini, fungsi interpolasi yang disimbolkan dengan N_i^e pada metode elemen hingga ditentukan guna membuat pendekatan terhadap nilai kuat medan elektrik (E) pada ragam *transverse magnetic* (TM) atau kuat medan magnetik (H) pada ragam *transverse electric* (TE) yang akan dicari dan disimbolkan dengan u untuk tiap *node* i dalam elemen e dengan menggunakan [1,4,6]

$$\bar{u}^e = \sum_{i=1}^n N_i^e u_i^e \quad (1)$$

Fungsi interpolasi N_i^e sendiri merupakan fungsi basis rasional dan dinyatakan bahwa

$$N_i^e = \frac{P_i^e}{\sum_{j=1}^n P_j^e}; \text{ untuk } i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

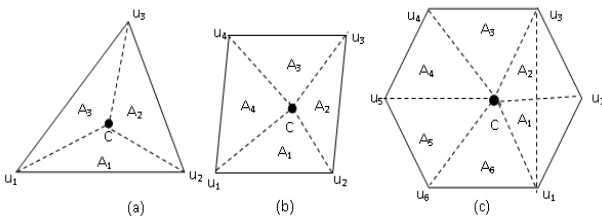
dengan p_j merupakan fungsi bobot untuk *node* j . Fungsi bobot ini membentuk persamaan polinomial dengan orde sebanding dengan jumlah titik sudut elemen poligon yang didekati dan dinyatakan sebagai berikut

$$P_j = \frac{A(u_{j-1}, u_j, u_{j+1})}{A(u_{j-1}, u_j, c)A(u_j, u_{j+1}, c)} \quad (3)$$

$A(u_1, u_2, u_3)$ merupakan koordinat area segitiga yang dibentuk oleh titik sudut u_1, u_2 , dan u_3 pada bidang $x-y$ yang dapat dihitung dengan [7],

$$A(u_1, u_2, u_3) = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_{u_1} & y_{u_1} & 1 \\ x_{u_2} & y_{u_2} & 1 \\ x_{u_3} & y_{u_3} & 1 \end{vmatrix} \quad (4)$$

Gbr. 1 menunjukkan contoh tiga elemen poligon konveks, yaitu segitiga, segiempat, dan segilima.



Gambar 1 Contoh elemen poligon (a) segitiga, (b) segiempat, dan (c) segilima

Sebagai contoh, bila fungsi bobot seperti pada persamaan (3) diterapkan untuk elemen poligon segitiga, segiempat, dan segilima, maka fungsi interpolasi fungsi bentuk Wachspress untuk elemen segitiga linear ($n=3$) di *node* 1 pada elemen e (setelah melalui penjabaran rumus) adalah

$$N_1^e(x, y) = \frac{[(x_1 y_2 - x_2 y_1) + (y_1 - y_2)x + (x_2 - x_1)y]^e}{2A^e} \quad (5)$$

untuk segiempat ($n=4$) adalah

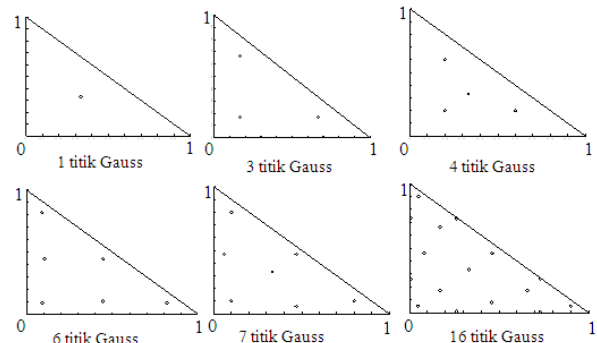
$$N_1^e(x, y) = \frac{a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 x^2 + a_5 xy + a_6 y^2}{b_1 + b_2 x + b_3 y + b_4 x^2 + b_5 xy + b_6 y^2} \quad (6)$$

dan untuk segilima ($n=5$) adalah

$$N_1^e(x, y) = \frac{a_1 + a_2 x + a_3 y + a_4 x^2 + a_5 xy + a_6 y^2 + a_7 x^3 + a_8 x^2 y + a_9 xy^2 + a_{10} y^3}{b_1 + b_2 x + b_3 y + b_4 x^2 + b_5 xy + b_6 y^2 + b_7 x^3 + b_8 x^2 y + b_9 xy^2 + b_{10} y^3} \quad (7)$$

Dari persamaan (5)-(7), orde fungsi interpolasi yang diperoleh meningkat seiring dengan kenaikan jumlah titik sudut poligon, n . Dari tiga persamaan tersebut, bila elemen dengan n jumlah titik sudut poligon, maka derajat tertinggi polinomial dari fungsi interpolasinya adalah $n-2$. Hal ini akan diuji pengaruhnya terhadap tingkat akurasi yang diperoleh ketika metode ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang telah disampaikan sebelumnya. Model matematis permasalahan tersebut dinyatakan dalam *governing equation* untuk ragam TE dan ragam TM [8].

Dalam penyelesaiannya, masalah dibawa ke bentuk system pribadi (*eigensystem*) dan dilakukan integrasi numeris dengan menggunakan Gauss Quadrature untuk *mesh* poligonal. Adapun teknik dalam penerapan integral numeris ini adalah elemen poligon dengan $n>3$ akan dibagi menjadi beberapa sub-elemen segitiga yang memiliki satu titik sudut yang sama, yaitu titik pusat elemen poligon seperti pada Gbr. 1. Titik-titik Gauss diletakkan pada tiap sub-elemen kemudian diintegrasikan dalam satu sub-elemen tersebut untuk selanjutnya dilakukan integrasi untuk satu elemen poligon utuh. Proses integrasi akhir dilakukan untuk seluruh elemen poligon pada *mesh* tersebut. Gbr. 2 menunjukkan posisi beberapa titik-titik Gauss pada sebuah elemen segitiga [9].



Gambar 2 Beberapa posisi titik Gauss

III. METODOLOGI

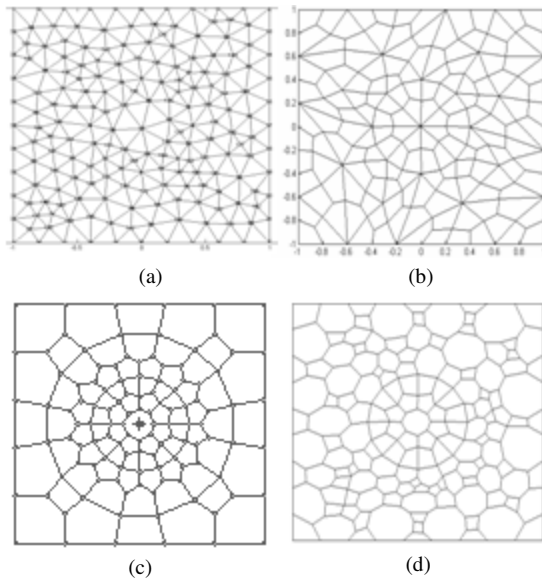
Dari empat buah *mesh* yang berbeda karakter elemen poligon yang menyusunnya, akan dilihat hasil pendekatannya kemudian dibandingkan tingkat akurasi. *Mesh* yang pertama (*Mesh* 1) semua penyusnnya adalah elemen segitiga linear. *Mesh* 2 terdiri dari elemen segiempat. *Mesh* 3 terdiri dari dominan elemen segilima. *Mesh* 4 terdiri dari dominan elemen dengan $n>5$ seperti elemen segienam, segitujuh, segidelapan, dan segisembilan.

Perhitungan akurasi dilakukan dengan perhitungan error hasil pendekatan metode elemen hingga poligonal dari *Mesh* 1-4 terhadap hasil referensi dari metode PWEM untuk perhitungan karakteristik celah frekuensi kristal fotonik *lattice* bujursangkar dengan struktur periodis dari batang dielektrik dengan $\epsilon_r = 8,9$ dan *filling ratio* 0,2 [3-6]. Pengaruh jumlah titik Gauss

terhadap nilai akurasi pun juga diuji dalam penelitian ini dan ditampilkan dalam grafik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mesh yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gbr. 3 yang beberapa diantaranya diambil dari [1,3,5,6]. Simbol n menunjukkan jumlah node pada sebuah elemen poligon.



Gambar 3 Mesh poligonal yang dibangkitkan dengan (a) $n=3$ [3,6], (b) $n=4$, (c) $n=5$ dominan [3,6], dan (d) $n>5$ dominan [1,5]

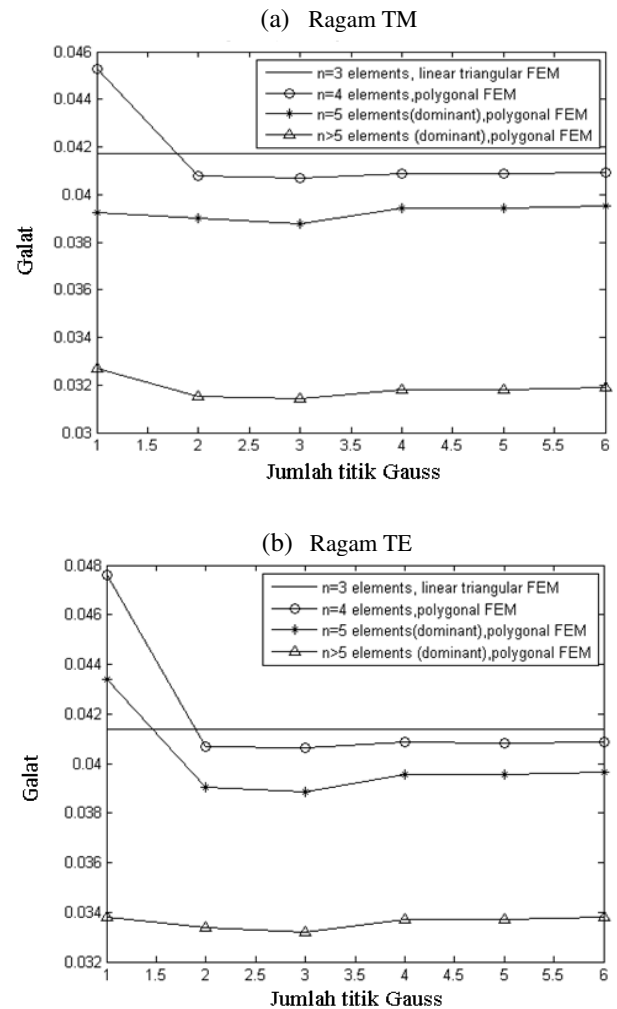
Mesh pada Gbr. 3 sesuai urutannya disebut Mesh 1, Mesh 2, Mesh 3, dan Mesh 4. Jumlah elemen dan node tiap mesh ditunjukkan oleh Tabel 1.

TABEL 1 SPESIFIKASI MESH 1, 2, 3, DAN 4

Tipe mesh	Mesh 1 ($n=3$)	Mesh 1 ($n=4$)	Mesh 1 ($n=5$ dominan)	Mesh 1 ($n>5$ dominan)
Jumlah node	186	177	116	263
Jumlah elemen	330	156	77	145

Bentuk mesh yang demikian menunjukkan adanya conformity dari elemen poligon sembarang untuk diinterpolasi dengan fungsi bentuk Wachspress karena fungsi interpolasi ini linear pada sisi batas elemen tapi tidak linear di dalam elemen sehingga akurasi yang lebih tinggi dapat diperoleh. Penerapan Fungsi bentuk Wachspress pada metode elemen hingga poligonal dapat memungkinkan penggunaan elemen orde tinggi dengan fleksibilitas yang tinggi dalam pemilihan elemen poligon yang digunakan.

Tujuan dari perbandingan hasil yang diperoleh dari keempat mesh adalah membandingkan akurasi dari hasil metode elemen hingga poligonal yang menggunakan fungsi bentuk Wachspress dengan hasil dari metode elemen hingga dengan elemen segitiga linear. Gbr. 4 menunjukkan bahwa akurasi terbaik diperoleh dari Mesh 4 yang terdiri dari elemen dengan dominan $n>5$.



Gambar 4 Perbandingan akurasi Mesh 1-4 untuk (a) Ragam TM dan (b) Ragam TE

Disusul kemudian akurasi dibawahnya diperoleh dari Mesh 3 dengan elemen dominan $n=5$ dan Mesh 2 dengan elemen $n=4$. Akurasi terendah adalah dari Mesh 1 dengan elemen dominan $n=3$.

Gbr. 4 membuktikan bahwa akurasi meningkat untuk penggunaan elemen dengan jumlah titik sudut yang makin banyak. Penerapan metode elemen hingga poligonal pada Mesh 2-4 menerapkan Gauss Quadrature pada tahap integrasi keseluruhan elemen poligon pada daerah kalkulasi. Untuk itu, jumlah titik Gauss yang optimal untuk memberikan akurasi yang terbaik juga dicari. Dari Gbr. 4, terlihat jumlah titik Gauss optimal adalah tiga yang memberikan nilai galat terkecil, yaitu 0,0314 untuk ragam TM dan 0,0332 untuk ragam TE.

V. KESIMPULAN

Pengaruh jumlah titik sudut elemen poligon pada metode elemen hingga poligonal dengan fungsi bentuk Wachspress sangat besar dalam hal peningkatan akurasi hasil pendekatannya. Pada metode ini, jumlah titik Gauss pun memiliki pengaruh terhadap tingkat akurasi yang dalam kasus ini jumlah titik Gauss optimum adalah tiga dengan nilai galat terkecil, yaitu 0,0314 untuk ragam TM dan 0,0332 untuk ragam TE.

REFERENSI

- [1] Rahayu, E.S, “*Sensitivity of Mean Value Coordinates and Wachspress Shape Function used in Polygonal Finite Element Method in Analysis of Band Gap Characteristic of a Square Lattice Photonic Crystal*”, Proceeding RCICT 2011.
- [2] Sukumar, N. dan Malsch, E.A., “*Recent advances in the construction of polygonal finite element interpolants*”, *Archives of Computational Methods in Engineering*, Vol. 13, No. 1, hal. 129-163, 2006
- [3] Rahayu, Eny S. dan Angkaew, T. “*Finite Element Analysis of 2-Dimensional Photonic Crystals*”, The AUN/SEED-Net Fieldwise Seminar on Multimedia Signal Processing and Communication System, Bangkok, Thailand, 2006
- [4] Rahayu, Eny S. dan Angkaew, T., “*A Finite Element Method with Polygonal Elements for Analyzing a Band Gap Characteristic of Square Lattice Photonic Crystals*”, Proceeding ECTICON, Chiang Rai, Thailand, 2007
- [5] Rahayu, Eny S. dan Sugiyantoro, B., “Pengaruh Besar Sudut Elemen Poligon pada Metode Elemen Hingga Poligonal dengan Fungsi Interpolasi *Mean Value Coordinates* untuk Menganalisis Karakteristik Celah Frekuensi Kristal Fotonik *Lattice Bujursangkar*”, Proceeding Annual Engineering Seminar, FT UGM, 2011
- [6] Rahayu, Eny S. dan Herdjunanto, S., “*Convergence Rate of Hybrid Polygonal Finite Element Method in Analysis of a 2D Photonic Crystal*”, Proceeding ICITEE 2011
- [7] Koshiba, M. and Inoue, K., “Simple and Efficient Finite-Element Analysis of Micro wave and Optical Waveguides” *IEEE Transaction On Microwave Theory and Techniques*, Vol. 40, No. 2, February, 1992
- [8] Hiatt, B.P., et.al., “*Application of finite element methods to photonic crystal modeling*”, *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.*, 149, 5, 2002.
- [9] D.S. Burnett, “*Finite Element Analysis, From Concept to Applications*”, Addison-Wesley Publishing Company, 1987.

Evaluasi Unjuk Kerja *Good Convolutional Codes* pada Skema Penyandian Bertingkat RS-CC

Daryus Chandra, Adhi Susanto, Sri Suning Kusumawardani
Department of Electrical Engineering and Information Technology, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika no.2, Yogyakarta, 55281, Indonesia
daryus_te09@mail.ugm.ac.id

Abstract—RS concatenated schemes is well-known for its powerful error-correcting capability, hence this scheme is used for many telecommunication standards. Choosing “good convolutional codes” is essential since there are infinite number of convolutional codes that can be created based on its parameter. This paper presents the performance of “good convolutional codes” in concatenated scheme with RS code. The performance is measured by its bit error rate (BER). The simulation results show that good convolutional codes are more superior than others convolutional codes that picked randomly based on the error correcting capability. Good convolutional codes also shows a better performance on RS-CC concatenated schemes than the other convolutional codes. It means “good convolutional codes” remain “good” in RS-CC concatenated schemes.

Intisari—Skema penyandian bertingkat RS-CC dikenal dengan kemampuan koreksi galatnya yang andal sehingga digunakan pada berbagai standar telekomunikasi. Pemilihan *good convolutional codes* sangat penting mengingat terdapat sejumlah tak hingga kemungkinan sandi konvolusi yang bisa dibentuk berdasarkan parameternya. Makalah ini memaparkan hasil unjuk kerja dari aplikasi *good convolutional codes* yang disandikan secara bertingkat bersama dengan sandi RS. Unjuk kerja diukur berdasarkan BER yang dihasilkan oleh simulasi. Hasilnya menunjukkan bahwa *good convolutional codes* jauh lebih unggul dibandingkan dengan sandi konvolusi lain yang dipilih secara acak ditinjau dari aspek koreksi galat. *Good convolutional codes* juga menunjukkan unjuk kerja yang lebih baik dalam skema penyandian bertingkat RS-CC jika dibandingkan sandi konvolusi lain. Artinya, *good convolutional codes* tetap menjadi sandi yang “baik” meskipun dalam skema penyandian bertingkat RS-CC.

Kata Kunci— Penyandian kanal, teknik koreksi galat, sandi konvolusi, sandi RS, concatenated codes

I. PENDAHULUAN

Skema pengkodean bertingkat (*concatenated coding schemes*) diperkenalkan karena skema pengkodean ini memberikan peroleh penyandian (*coding gain*) yang relatif besar jika dibandingkan dengan metode penyandian tunggal. Skema penyandian bertingkat biasanya berupa gabungan dari dua sandi yang bersifat berlawanan satu sama lain. Sandi dalam biasanya berupa sandi konvolusi dan sandi luar biasanya berupa sandi blok, misalnya Sandi RS, Sandi BCH, Sandi Hamming dan lain-lain. Skema penyandian bertingkat yang sering digunakan adalah skema RS-CC. Hal ini dikarenakan masing-masing sandi mengatasi kelemahan yang dimiliki satu sama lain. Sandi konvolusi dikenal sebagai sandi yang handal untuk mengatasi galat tipe acak, namun tidak cocok dalam mengatasi galat tipe deburan. Sebaliknya, sandi Reed-Solomon (RS) dikenal sebagai sandi yang memiliki keandalan dalam mengatasi galat tipe deburan dibandingkan

galat tipe acak. Dengan alasan tersebut, skema penyandian bertingkat RS-CC banyak digunakan sebagai teknik koreksi galat yang diterapkan berbagai standar komunikasi seperti WLAN 802.11n dan WiMAX 802.16j dari IEEE serta DVB-T dari ETSI. Perkembangan teknologi telekomunikasi juga menuntut adanya sistem komunikasi bergerak dengan rele, kebutuhan komunikasi nirkabel saat ini, tidak hanya menuntut akses dengan pesat data tinggi, namun juga realibilitas yang tinggi pula. Dari berbagai metode penyandian kanal yang diajukan untuk sistem rele komunikasi bergerak, salah satunya adalah sistem penyandian bertingkat RS-CC [1]. Evaluasi unjuk kerja sistem penyandian bertingkat RS-CC telah dilakukan juga baik dalam sistem OFDM pada WiMAX [2], maupun dalam sistem MIMO-OFDM [3].

Sandi konvolusi sendiri memiliki beberapa parameter seperti m , c , r , dan $G(D)$. Hal ini berarti ada sejumlah tak berhingga sandi konvolusi yang bisa dibentuk, sehingga pencarian sandi konvolusi yang “baik” perlu dilakukan. Pencarian yang dilakukan berhasil menemukan apa yang disebut sebagai *good convolutional codes* [4], [5]. Sandi konvolusi yang ditemukan ini dikatakan baik, jika digunakan sebagai sistem penyandian tunggal. Untuk sistem penyandian bertingkat dengan sandi konvolusi, juga perlu dilakukan pencarian sandi konvolusi yang “baik”, misalnya *good convolutional codes* pada sistem penyandian turbo [6]. Pencarian *good convolutional codes* untuk sistem penyandian bertingkat RS-CC perlu juga dilakukan, mengingat sistem penyandian tersebut, sangat banyak diaplikasikan dalam sistem telekomunikasi. Makalah ini menyajikan evaluasi unjuk kerja *good convolutional codes* [5], jika diaplikasikan pada sistem penyandian bertingkat RS-CC. Hasilnya akan dibandingkan dengan sistem penyandian bertingkat RS-CC yang menggunakan sandi konvolusi lain yang dianggap “tidak baik”. Unjuk kerja dinilai dengan membandingkan pesat galat bit (*bit error rate*, BER) yang dihasilkan oleh simulasi.

II. GOOD CONVOLUTIONAL CODES

Sandi konvolusi adalah satu contoh dari sandi non-sistematis. Sandi ini memiliki kemampuan handal dalam mengatasi galat tipe acak (*random error*). Sandi konvolusi menyandikan kata pesan dengan panjang m menjadi kata sandi dengan panjang c , sehingga pesat penyandian r dirumuskan dengan:

$$r = \frac{m}{c} \quad (1)$$

Sandi konvolusi biasanya dinyatakan dalam bentuk (c, m, k) , dengan k adalah derajat dari suku banyak pembangkit (*generator polynomial*) sandi konvolusi atau dalam implementasinya k banyaknya register geser yang digunakan dalam penyandian sandi konvolusi. Panjang kekangan

(*constraint length*) yang dinotasikan dengan L , dirumuskan sebagai berikut:

$$L = k + 1 \quad (2)$$

Sandi konvolusi dapat dinyatakan dalam sebagai *semi-infinite linear codes*. Kata pesan disimbolkan sebagai $\mathbf{u}(D) = [u^{(1)}D \ u^{(2)}D \ \dots \ u^{(k)}D]$ dan kata sandi disimbolkan sebagai $\mathbf{c}(D) = [c^{(1)}D \ c^{(2)}D \ \dots \ c^{(k)}D]$. Hubungan kata pesan $\mathbf{u}(D)$ dan kata sandi $\mathbf{c}(D)$ dinyatakan seperti yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$\mathbf{c}^{(j)}(D) = \sum_{i=1}^k u^{(i)}(D) g_i^{(j)}(D) \quad (3)$$

$\mathbf{G}^{(k)}$ adalah polinomial pembangkit dengan $\mathbf{G}^{(k)} = [g_0^{(k)}, g_1^{(k)}, \dots, g_M^{(k)}]$. Untuk masing panjang kekangan lebih dari dua, dapat dibentuk lebih dari satu *generator polynomial*, $G(D)$, yang unik. Akibatnya, akan ada sangat banyak *generator polynomial* sandi konvolusi yang bisa dibentuk. Pencarian *good convolutional codes* telah dilakukan dengan berdasarkan pada parameter *free distance* [4]. *Free distance* sangat erat kaitannya dengan batas kemampuan koreksi galat dalam sistem penyandian. Jika kata terima dirumuskan dengan $\mathbf{r} = \mathbf{c} + \mathbf{e}$, maka galat pengawasandian akan terjadi jika memenuhi pertidaksamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} dist(\mathbf{r}, \mathbf{c}) = wt(\mathbf{r} - \mathbf{c}) &\geq dist(\mathbf{r}, \mathbf{c}') = wt(\mathbf{r} - \mathbf{c}') \\ wt(\mathbf{e}) &\geq wt(\mathbf{c} - \mathbf{c}' + \mathbf{e}) \geq wt(\mathbf{c} - \mathbf{c}') - wt(\mathbf{e}) \end{aligned} \quad (4)$$

Sehingga galat ($\mathbf{c} - \mathbf{c}'$) dapat terjadi jika memenuhi syarat pada pertidaksamaan sebagai berikut:

$$wt(\mathbf{e}) \geq \frac{wt(\mathbf{c} - \mathbf{c}')}{2} \quad (5)$$

Dengan menganalogikan *Hamming distance* sandi konvolusi dengan sandi blok linier, maka, maka *free distance* sandi konvolusi dirumuskan dengan:

$$\begin{aligned} d_{free} &= \min_{c, c' \in C, c \neq c'} (c, c') \\ d_{free} &= \min_{c \in C, c \neq 0} wt(c) \end{aligned} \quad (6)$$

Galat dapat dipulihkan jika jumlah galat pada kata terima memenuhi persamaan sebagai berikut:

$$e = \left\lfloor \frac{d_{free} - 1}{2} \right\rfloor \quad (7)$$

Tabel 1. *Generator sequences* sandi konvolusi untuk beberapa *constraint length*

<i>Constraint Length</i>	<i>Generator Sequences</i>
2	(1 3) ₈
3	(5 7) ₈
4	(15 17) ₈
5	(23 35) ₈
6	(53 75) ₈
7	(131 177) ₈
8	(247 371) ₈
9	(561 753) ₈
10	(1131 1537) ₈
11	(2473 3217) ₈
12	(4325 6747) ₈
13	(10627 16765) ₈

Pencarian *good convolutional codes* dengan berdasarkan pada *free distance* dianggap belum cukup sehingga pencarian masih terus dilakukan dengan parameter sebagai berikut: *transfer function matrices*, *distance spectra*, dan *information-weight spectra* [5]. Hasil pencarian yang dilakukan menunjukkan beberapa perbaikan dibandingkan pencarian sebelumnya. Hasil pencarian *good convolutional codes* tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

III. REED-SOLOMON CODES

Sandi Reed-Solomon atau sering disingkat dengan sandi RS adalah salah satu contoh dari sandi blok atau sandi sistematis yang handal dalam menangani galat tipe deburan (*burst error*). Sandi RS banyak diaplikasikan pada sistem penyimpanan elektronis maupun sistem komunikasi. Sandi RS adalah sandi blok yang dapat direpresentasikan sebagai $RS(n, k)$. Peubah n adalah panjang kata sandi dan k adalah panjang kata pesan. kemampuan koreksi galat disimbolkan sebagai t yang dirumuskan dengan:

$$t = \frac{n - k}{2} \quad (8)$$

Sandi RS adalah sandi blok yang memetakan k simbol kata pesan menjadi n simbol kata sandi yang masing-masing simbolnya memiliki panjang m bit. Hubungan antara panjang bit masing-masing simbol dengan panjang kata sandi ditunjukkan sebagai berikut:

$$n = 2^m - 1 \quad (9)$$

Masing-masing simbol akan dipetakan dalam *finite fields* yang disebut juga sebagai *Galois Field* yang dinotasikan dalam $GF(q)$. Penyandian sandi RS sangat tergantung pada *generator polynomial* yang ditentukan oleh kemampuan koreksi galat sandi RS. Jika sandi RS memiliki kemampuan koreksi galat t simbol, maka polinomial generator sandi RS dirumuskan dengan:

$$\begin{aligned} g(X) &= (X + \alpha)(X + \alpha^2) \dots (X + \alpha^{2t-1})(X + \alpha^{2t}) \\ g(X) &= g_0 + g_1 X + g_2 X^2 + \dots + g_{2t} X^{2t} \end{aligned} \quad (10)$$

Pengawasandian $RS(n, k)$ diawali dengan menggeser polinomial kata pesan $m(X)$ sejauh $(n - k)$ lalu membagi hasilnya dengan polinomial generator $g(X)$ yang secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$X^{n-k} \cdot m(X) = q(X) \cdot g(X) + p(X) \quad (11)$$

$q(X)$ adalah hasil bagi antara kata pesan yang digeser sejauh $(n-k)$ dengan polinomial generator $g(X)$. $p(X)$ adalah hasil bagi yang dapat dinyatakan ulang sebagai berikut:

$$p(X) = X^{n-k} \cdot m(X) \text{ mod } g(X) \quad (12)$$

Sehingga diperoleh kata sandi kata sandi $c(X)$ yang dinyatakan sebagai berikut:

$$c(X) = p(X) + X^{n-k} \cdot m(X) \quad (13)$$

Kata sandi selanjutnya dipancarkan melalui kanal transmisi. Kanal transmisi yang bersifat tidak ideal, misalnya karena adanya pudaran, pelemahan, atau derau, menyebabkan kata sandi dapat saja mengalami galat. Oleh karena itu, kata sandi yang tiba di penerima, yang selanjutnya disebut dengan kata terima, perlu mengalami proses pengawasandian.

Pengawasandian RS dimulai dengan menghitung nilai dari *syndrome* kata terima. *Syndrome* dari kata terima dihitung dengan:

$$S_i(X) = r(X)|_{X=\alpha^i} = r(\alpha^i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-k \quad (14)$$

$r(X)$ adalah kata terima yang merupakan jumlahan modulo-2 dari kata pesan dan galat saluran transmisi sebagaimana yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$r(X) = c(X) + e(X) \quad (15)$$

Berdasarkan persamaan (15) maka persamaan (14) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S_i(X) = r(X)|_{X=\alpha^i} = [c(X) + e(X)]|_{X=\alpha^i} \quad (16)$$

$$S_i(X) = c(\alpha^i) + e(\alpha^i) = 0 + e(\alpha^i) = e(\alpha^i)$$

Nilai $c(\alpha^i)$ bernilai nol, karena α^i adalah akar-akar dari kata pesan $c(X)$. Jika *syndrome* kata terima sudah diperoleh, maka polinomial galat yang dinyatakan pada persamaan (17) harus ditentukan agar kata pesan dapat dipulihkan.

$$e(X) = e_{j_1} X^{j_1} + e_{j_2} X^{j_2} + \dots + e_{j_v} X^{j_v} \quad (17)$$

Langkah yang dilakukan untuk menentukan posisi dan besarnya galat pada polinomial galat adalah dengan menyusun *error-locator polynomial*. *Error-locator polynomial* disusun dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma(X) = (1 + \beta_1 X)(1 + \beta_2 X) \dots (1 + \beta_v X) \quad (18)$$

$$\sigma(X) = 1 + \sigma_1 X + \sigma_2 X^2 + \dots + \sigma_v X^v$$

Nilai β diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_i = r(\alpha^i) = e_{j_1} \beta_1^i + e_{j_2} \beta_2^i + \dots + e_{j_v} \beta_v^i \quad i = 1, 2, \dots, 2t \quad (19)$$

Hasil perhitungan *syndrome* dari persamaan (16) dapat disusun matriks yang akan digunakan untuk menentukan lokasi galat dari kata terima. Matriks tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} S_1 & S_2 & \dots & S_{t-1} & S_t \\ S_2 & S_3 & \dots & S_t & S_{t+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ S_{t-1} & S_t & \dots & S_{2t-3} & S_{2t-2} \\ S_t & S_{t+1} & \dots & S_{2t-2} & S_{2t-1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_t \\ \sigma_{t-1} \\ \vdots \\ \sigma_2 \\ \sigma_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{t+1} \\ S_{t+2} \\ \vdots \\ S_{2t-1} \\ S_{2t} \end{bmatrix} \quad (20)$$

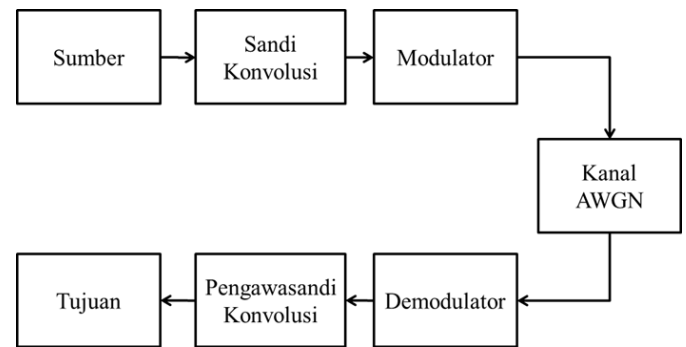
Dengan ditemukannya nilai σ_i maka posisi dan besarnya galat dapat dipulihkan dengan menggunakan persamaan (18) dan persamaan (19) [7].

IV. MODEL SISTEM

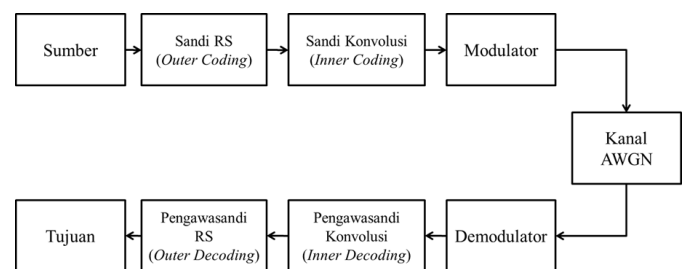
Model yang digunakan pada penelitian kali ini adalah model sistem komunikasi dengan penyandian kanal tunggal untuk mengevaluasi unjuk kerja *good convolutional codes* sedangkan model sistem komunikasi dengan penyandian kanal bertingkat digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja *good convolutional codes* pada skema penyandian bertingkat RS-CC. Model sistem komunikasi yang digunakan dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 1 dan Gambar 2. Untuk kedua model ditinjau hasil unjuk kerjanya yang berupa pesat galat bit (BER).

Modulasi yang digunakan adalah *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) dan kanal komunikasi yang digunakan adalah

kanal AWGN. Penyandi dalam (*inner coding*) yang digunakan adalah penyandi konvolusi. Sandi konvolusi yang digunakan adalah sandi konvolusi dengan panjang kekangan $L = 3, 4, 5, 6,$ dan 7 . Untuk masing-masing panjang kekangan tersebut, dapat dilihat pada Tabel 1, dan sebagai pembandingan dipilih sandi konvolusi yang dipilih secara acak untuk masing-masing panjang kekangan. Untuk penyandi luar (*outer coding*), sandi yang digunakan adalah sandi RS. Sandi RS yang dipilih adalah sandi RS (255,239) dengan $t = 8$. Unjuk kerja yang ditinjau pada penelitian kali ini adalah pesat galat bit yang dihasilkan oleh setiap skenario.



Gambar 1. Model sistem komunikasi dengan penyandian tunggal



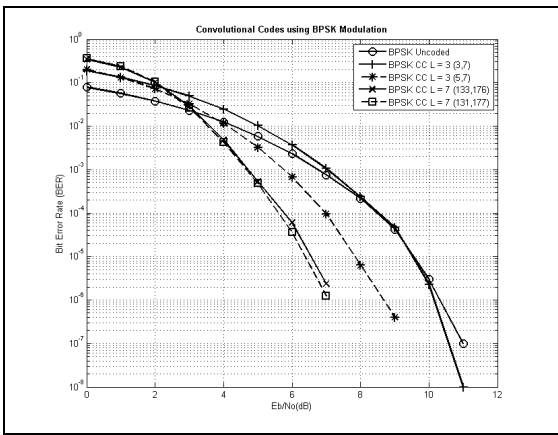
Gambar 2. Model sistem komunikasi dengan skema penyandian bertingkat

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi untuk sistem penyandian bertingkat RS-CC dengan menggunakan *good convolutional codes* beserta pembahasannya diuraikan pada sub bab sebagai berikut.

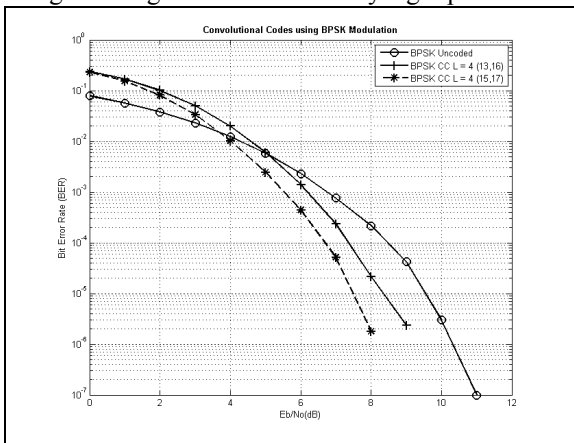
A. Unjuk kerja *good convolutional codes*

Good convolutional codes adalah sandi konvolusi yang dalam pencariannya memiliki *distance spectra* dan *information-weight spectra* yang paling baik di antara sandi konvolusi lainnya. Dengan demikian, *good convolutional codes* untuk panjang kekangan L tertentu, secara teoritis akan memberikan kemampuan koreksi galat yang paling baik jika dibandingkan dengan sandi konvolusi yang memiliki panjang kekangan L yang sama. Teori ini dibuktikan pada simulasi yang telah dilakukan. Untuk $L = 3$ dan $L = 7$, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3. Pada simulasi ini digunakan model sistem komunikasi dengan penyandian kanal tunggal, dengan penyandian tunggal yang digunakan adalah sandi konvolusi.

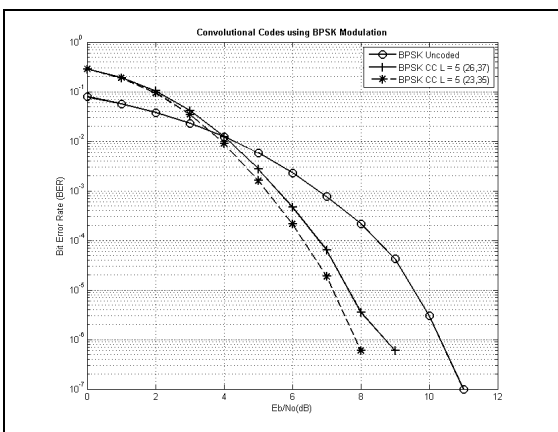


Gambar 3. Perbandingan unjuk kerja antara *convolutional codes* dengan *good convolutional codes* untuk $L = 3$ dan $L = 7$

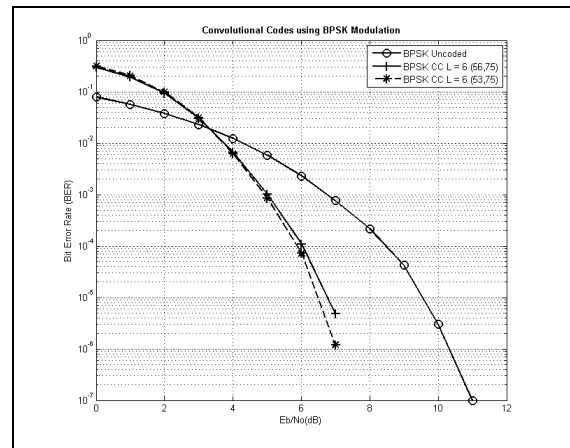
Hasil selengkapnya untuk $L = 4, 5$, dan 6 dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Semua hasil simulasi menunjukkan bahwa *good convolutional codes* memberikan kemampuan koreksi galat yang lebih baik dibandingkan dengan sandi konvolusi yang dipilih secara acak.



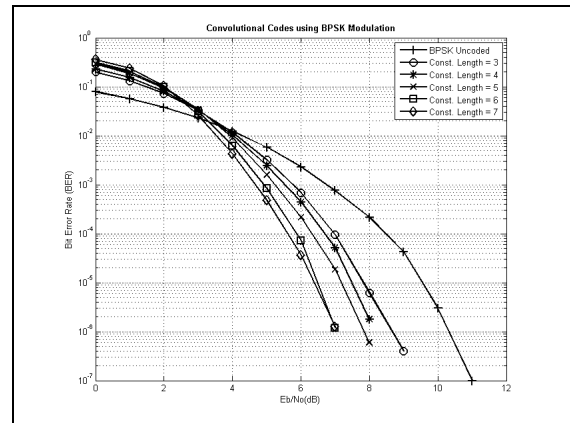
Gambar 4. Perbandingan unjuk kerja untuk $L = 4$ antara *convolutional codes* (13,16) dengan *good convolutional codes* (15,17)



Gambar 5. Perbandingan unjuk kerja untuk $L = 5$ antara *convolutional codes* (26,37) dengan *good convolutional codes* (23,35)



Gambar 6. Perbandingan unjuk kerja untuk $L = 6$ antara *convolutional codes* (56,75) dengan *good convolutional codes* (53,75)



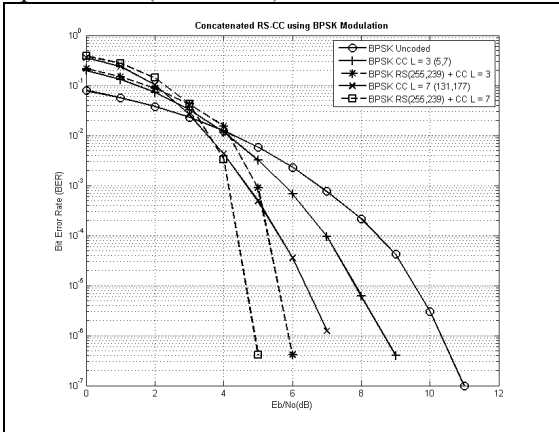
Gambar 7. Perbandingan unjuk kerja antara *convolutional codes* dengan *good convolutional codes* untuk $L = 3, 4, 5, 6$, dan 7

Untuk *good convolutional codes* masing-masing panjang kekangan, terlihat bahwa semakin besar nilai panjang kekangan, maka kemampuan koreksi galat *good convolutional codes* akan semakin baik. Hal ini dikarenakan, semakin besar nilai panjang kekangan, maka semakin banyak pula diagram keadaan yang dibentuk pada proses pengawasandian. Diagram keadaan yang semakin banyak akan mengurangi peluang terjadinya kesalahan pada proses pengawasandian. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 7.

B. Unjuk kerja penyandian bertingkat RS-CC dengan *good convolutional codes*

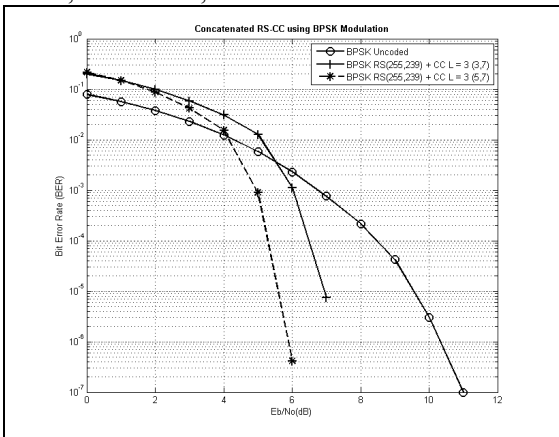
Pada skenario ini *good convolutional codes* digandeng dengan sandi RS(255,239) sehingga membentuk skema penyandian bertingkat RS-CC dengan sandi konvolusi sebagai penyandi dalam (*inner coding*) dan sandi RS sebagai penyandi luar (*outer coding*). Penambahan sandi RS pada skema penyandian menghasilkan kemampuan koreksi galat yang jauh lebih baik dibandingkan dengan skema penyandian tunggal menggunakan sandi konvolusi. Efek penambahan sandi RS pada *good convolutional codes* untuk $L = 3$ dan $L = 7$ dapat dilihat pada Gambar 8. Perbaikan kemampuan koreksi galat terjadi karena sandi RS menutupi kelemahan yang dimiliki

oleh sandi konvolusi, yaitu kelemahan dalam hal menangani galat tipe deburan (*burst error*).

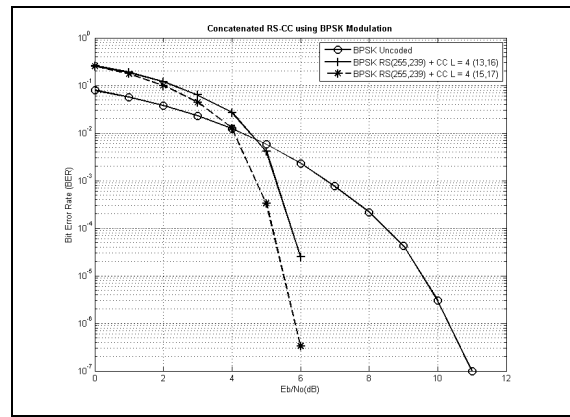


Gambar 8. Perbandingan skema penyandian tunggal sandi konvolusi dengan skema penyandian bertingkat RS-CC untuk $L = 3$ dan $L = 7$

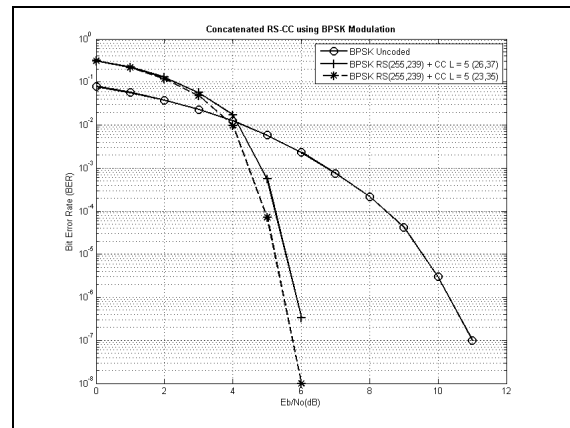
Selanjutnya ditinjau perbandingan kemampuan *good convolutional codes* yang digandeng dengan sandi RS terhadap sandi konvolusi terpilih acak yang digandeng dengan sandi RS. Hasilnya menunjukkan bahwa sandi RS yang disusun bertingkat dengan *good convolutional codes* memiliki kemampuan koreksi galat yang lebih baik jika dibandingkan dengan sandi RS yang dirangkai serial dengan sandi konvolusi yang dipilih secara acak. Hal ini disebabkan karena pada dasarnya *good convolutional codes* sudah memiliki kemampuan koeksi galat yang lebih unggul, sandi RS hanya menutupi kelemahan dalam hal menangani galat yang berupa galat tipe deburan (*burst error*). Untuk hasil simulasi skema penyandian bertingkat RS-CC dengan *good convolutional codes* untuk panjang kekangan $L = 3, 4, 5, 6,$ dan 7 secara berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12, dan Gambar 13.



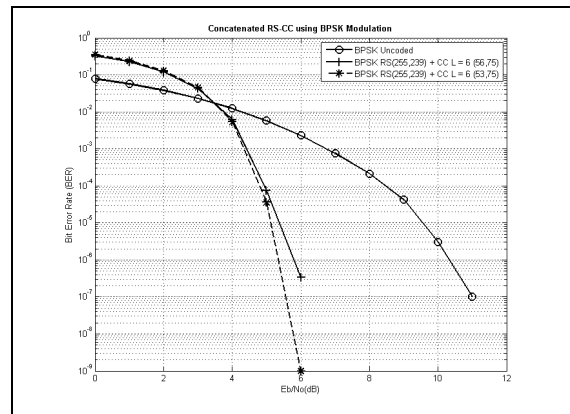
Gambar 9. Perbandingan antara skema RS-CC dengan *convolutional codes* terhadap skema RS-CC dengan *good convolutional codes* untuk $L = 3$



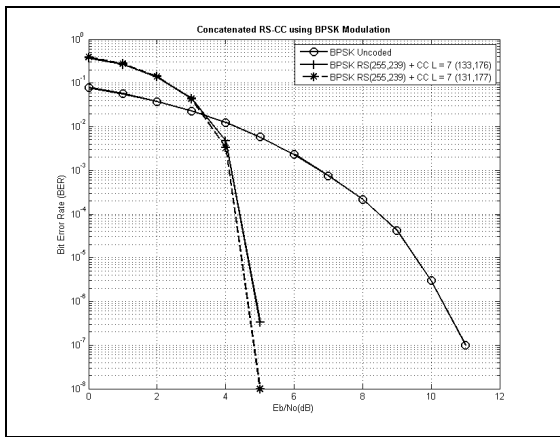
Gambar 10. Perbandingan antara skema RS-CC dengan *convolutional codes* terhadap skema RS-CC dengan *good convolutional codes* untuk $L = 4$



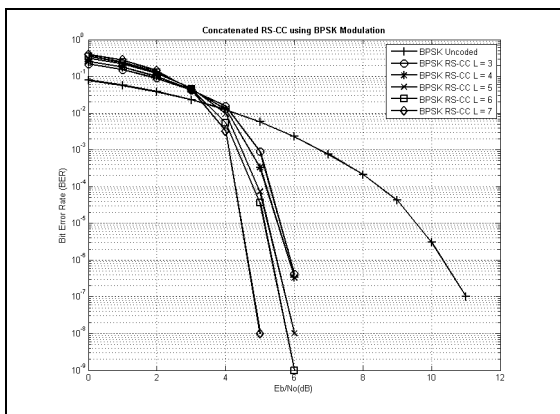
Gambar 11. Perbandingan antara skema RS-CC dengan *convolutional codes* terhadap skema RS-CC dengan *good convolutional codes* untuk $L = 5$



Gambar 12. Perbandingan antara skema RS-CC dengan *convolutional codes* terhadap skema RS-CC dengan *good convolutional codes* untuk $L = 6$



Gambar 13. Perbandingan antara skema RS-CC dengan *convolutional codes* terhadap skema RS-CC dengan *good convolutional codes* untuk $L = 7$



Gambar 14. . Perbandingan antara skema RS-CC dengan *good convolutional codes* untuk $L = 3, 4, 5, 6,$ dan 7

Untuk skema penyandian bertingkat RS-CC dengan *good convolutional codes*, untuk masing-masing panjang kekangan, terlihat bahwa semakin besar nilai panjang kekangan, maka kemampuan koreksi galat dari skema penyandian bertingkat RS-CC. Hal ini seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya. Hasil simulasi selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 14.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian kali ini diperoleh hasil bahwa *good convolutional codes* memiliki kemampuan koreksi galat yang lebih handal jika dibandingkan dengan sandi konvolusi yang dipilih secara acak untuk kanal komunikasi AWGN. Keandalan *good convolutional codes* juga tampak dalam skema penyandian bertingkat RS-CC. Penelitian ini adalah penelitian empiris, artinya asumsi yang digunakan adalah *good convolutional codes* pada sistem penyandian tunggal akan menjadi *good convolutional codes* juga pada sistem penyandian bertingkat RS-CC. Perlu dilakukan kajian teoritis dan matematis untuk menyimpulkan apakah *good convolutional codes* yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sandi konvolusi yang paling “baik” untuk skema penyandian bertingkat RS-CC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri, Sekretariat Jenderal Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sebagai pengelola Program Beasiswa Unggulan *Fast-Track*.

REFERENSI

- [1] X. Liu, X. Sun, M. Jiang, and C. Zhao, “The Performance of RS-CC Concatenated Codes for the Relay Channel in WiMAX System,” in *International Conference on Wireless Communications & Signal Processing*, 2009, pp. 1–5.
- [2] M. D. Hassib, J. Mandeep, M. Abdullah, M. Ismail, R. Nordin, and M. Islam, “Improved Concatenated (RS-CC) for OFDM Systems,” *IEICE Electron. Express*, vol. 9, no. 6, pp. 538–543, 2012.
- [3] G. A. Hussain, M. B. Mokhtar, and R. S. A. B. Raja, “Concatenated RS-Convolutional Codes for MIMO-OFDM System,” *Asian J. Appl. Sci.*, vol. 4, no. 7, pp. 720–727, 2011.
- [4] W. G. Chambers, “On Good Convolutional Codes of Rate 1/2, 1/3, and 1/4,” 1992.
- [5] J. Chang, D. Hwang, and M. Lin, “Some Extended Results on the Search for Good Convolutional Codes,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 43, no. 5, pp. 1682–1697, 1997.
- [6] S. Benedetto, R. Garelo, and G. Montorsi, “A Search for Good Convolutional Codes to be Used in the Construction of Turbo Codes,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, no. 9, pp. 1101–1105, 1998.
- [7] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2001.

Analisis Unjuk Kerja *Repeat-Accumulate Codes* (RAC) untuk Kanal AWGN dengan *BER Chart* dan *EXIT Chart*

Daryus Chandra, Adhi Susanto, Sri Suning Kusumawardani
Department of Electrical Engineering and Information Technology, Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika no.2, Yogyakarta, 55281, Indonesia
daryus_te09@mail.ugm.ac.id

Abstract – *Repeat-Accumulate Codes* (RAC) is one the alternative choice beside turbo code and LDPC code. The main advantage of RAC from the other codes are RAC have a simple structure and simple encoding scheme. This research is designed in order to investigate the performance of RAC with various frame-length of codeword and different number of decoding iterations. This paper presents two way to evaluate the performance of RAC, *BER Chart* and *EXIT Chart*. *BER Chart* is the most common and simple way to represent performance of coded communication systems. Meanwhile, *EXIT Chart* is a representative tool to represent the behaviour of iteratively decoded RAC. Therefore, *BER Chart* and *EXIT Chart* will provide a better insight about performance of RAC.

Intisari – *Repeat-Accumulate Codes* (RAC) merupakan salah satu pilihan alternatif selain sandi turbo dan sandi LDPC. Keuntungan utama RAC yang membuat RAC lebih dipertimbangkan dibandingkan sandi lain untuk makalah ini adalah RAC memiliki struktur dan skema penyandian yang sederhana. Penelitian kali ini dirancang dalam rangka mengevaluasi unjuk kerja RAC, terutama pengaruh jumlah iterasi pengawasandian dan panjang bingkai kata pesan. Makalah ini menyajikan dua cara berbeda untuk mengevaluasi kinerja RAC, yaitu *BER Chart* dan *EXIT Chart*. *BER Chart* adalah cara yang paling umum dan sederhana untuk mengilustrasikan unjuk kerja sistem komunikasi dengan penyandian. Sementara itu, *EXIT Chart* adalah cara yang representatif untuk menunjukkan perilaku dari pengawasandian iteratif RAC. Oleh karena itu, *BER Chart* dan *EXIT Chart* akan memberikan wawasan yang lebih baik tentang unjuk kerja RAC.

Kata Kunci - *Repeat-Accumulate Codes* (RAC), *BER Chart*, *EXIT Chart*, iterative decoding, error-floor

I. PENDAHULUAN

Repeat-Accumulate Codes (RAC) adalah salah satu jenis dari sandi yang menyerupai sandi turbo (*turbo-like coding*) [1]. Sandi RAC merupakan salah satu alternatif pilihan metode penyandian kanal yang memberikan hasil unjuk kerja yang unggul selain sandi turbo dan sandi *low-density parity-check* (LDPC). Keunggulan utama RAC atas skema penyandian yang lain, utamanya sandi LDPC, adalah kompleksitas penyandiannya meningkat secara linear seiring dengan bertambahnya panjang kata pesan [2]. Keuntungan lainnya adalah kesederhanaan struktur penyandi yang dimiliki oleh RAC menyebabkan RAC dapat dengan mudah dikombinasikan dengan detektor maupun modulator [2]. Keunggulan utama RAC atas skema sandi turbo adalah sandi RAC hanya menggunakan satu komponen pengawasandian iteratif BCJR, sedangkan seperti yang kita ketahui bersama bahwa sandi turbo membutuhkan dua atau lebih komponen pengawasandian iteratif BCJR tergantung jumlah komponen sandi konvolusi yang digunakan pada penyandi. Secara umum dapat disimpulkan bahwa keuntungan RAC atas sandi turbo

dan sandi LDPC adalah RAC menawarkan arsitektur operasional yang lebih sederhana baik di sisi penyandi maupun pengawasandi. Perlu dicatat bahwa meskipun RAC menawarkan struktur yang sederhana, RAC mampu menawarkan hasil unjuk kerja koreksi yang bersaing dengan sandi turbo maupun sandi LDPC [3]. Keunggulan-keunggulan inilah yang membuat RAC menjadi salah satu skema penyandian yang dilirik dalam perkembangan teori penyandian. Beberapa perkembangan yang muncul setelah penemuan RAC antara lain, penambahan blok akumulator sebelum blok sandi repetisi, yang kemudian dikenal sebagai *accumulate-repeat-accumulate codes* (ARAC) [4] atau penambahan blok matriks pengkombinasi (*combiner*) di antara blok *interleaver* dan blok akumulator, yang kemudian dikenal sebagai *irregular repeat-accumulate codes* (IRAC) [5],[6],[7].

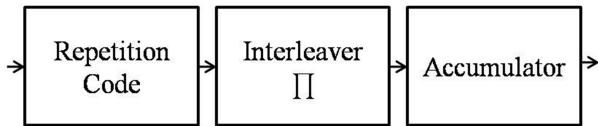
Penelitian kali ini dirancang dalam rangka mengevaluasi unjuk kerja RAC, terutama pengaruh jumlah iterasi pengawasandian dan panjang bingkai kata pesan. Evaluasi unjuk kerja dapat dinyatakan dalam bentuk pesat galat bit (*bit error rate*, BER) dan ditampilkan dalam bentuk *BER Chart*. *BER Chart* adalah cara paling umum dan paling sederhana untuk mengilustrasikan unjuk kerja suatu sistem komunikasi tersandian (*coded communication system*) [8]. Namun cara ini tidak dapat digunakan secara mendalam untuk menganalisis fenomena yang tampak pada *BER chart* terkait perilaku pengawasandian iteratif [8]. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan alat lain yang dapat digunakan untuk analisis lebih dalam terkait perilaku pengawasandi iteratif, yang secara luas dikenal dengan *EXIT Chart*.

II. REPEAT-ACCUMULATED CODES

Repeat-Accumulate Codes (RAC) tersusun atas penyandi luar yang berupa sandi pengulangan (*repetition code*) dan penyandi dalam yang berupa blok akumulator (*accumulator*) atau disebut juga sebagai penyandi diferensial (*differential encoder*). Blok akumulator berwujud penyandi konvolusi dengan pesat penyandian tunggal (*unity rate*) dengan satu unit tunda. Suku banyak pembangkit penyandi konvolusi yang berfungsi sebagai blok akumulator dapat dinyatakan sebagai

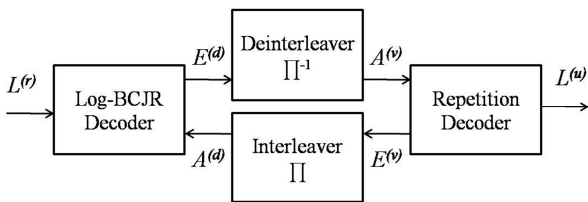
$$G(D) = \frac{1}{1+D}$$

tergandeng serial dengan dipisahkan oleh *interleaver* di antaranya. Pesat penyandian RAC ditentukan oleh pesat penyandian sandi repetisi. Pada percobaan ini digunakan pesat penyandian $\frac{1}{2}$. Struktur penyandi RAC dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr. 1 Struktur penyandi RAC

Mengawasandikan RAC relatif lebih sederhana dibandingkan mengawasandikan sandi turbo, karena RAC hanya memiliki satu komponen pengawasandi log-BCJR. Pengawasandi repetisi dan pengawasandi log-BCJR, terganggu secara serial dan terpisahkan oleh *interleaver* dan *deinterleaver* untuk melakukan proses pengawasandian iteratif sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gbr. 2 Struktur pengawasandi RAC

Konsep pengawasandian iteratif diawali dengan konsep penghitungan *log-likelihood ratio* (LLR). LLR menunjukkan nilai reliabilitas dalam proses pengawasandian yang dirumuskan dalam persamaan (1) sebagai berikut:

$$L(d|x) = \log \left[\frac{P(d=+1|x)}{P(d=-1|x)} \right] = \log \left[\frac{P(x|d=+1).P(d=+1)}{P(x|d=-1).P(d=-1)} \right]$$

$$L(d|x) = \log \left[\frac{P(x|d=+1)}{P(x|d=-1)} \right] + \log \left[\frac{P(d=+1)}{P(d=-1)} \right]$$

$$L(d|x) = L(x|d) + L(d) \tag{1}$$

Notasi $L(d|x)$ melambangkan reliabilitas yang ditentukan dengan LLR yang merupakan nilai keyakinan keputusan kata pesan atas sebuah kata sandi yang diterima, $L(x|d)$ adalah LLR dari uji statistik yang dilakukan oleh penerima dengan kemungkinan bahwa pengirim mengirimkan $d=+1$ atau $d=-1$, dan $L(d)$ adalah LLR dari bit d . Untuk menyederhanakan notasi pada persamaan (1), persamaan tersebut dapat ditulis ulang pada persamaan (2) sebagai berikut:

$$L'(\hat{d}) = L_c(x) + L(d) \tag{2}$$

Untuk pengawasandi RAC, terdapat informasi tambahan yang diperoleh dari proses pengawasandian yang bersifat iteratif, yaitu LLR ekstrinsik, sehingga persamaan (2) dapat dinyatakan dalam ulang dalam persamaan (3) sebagai berikut:

$$L'(\hat{d}) = L_c(x) + L(d) + L_e(\hat{d}) \tag{3}$$

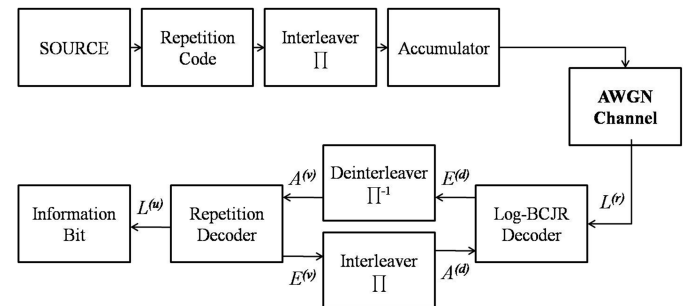
Pengawasandian RAC dimulai dengan mengawasandikan blok akumulator $\frac{1}{1+D}$ menggunakan pengawasandian iteratif dengan metode BCJR. Untuk mengurangi kompleksitas

pengawasandian BCJR digunakan bentuk logaritma dari metode BCJR yang disebut sebagai log-BCJR.

Masukan pengawasandi log-BCJR adalah bit-bit kata terima $L^{(r)}$ dan LLR apriori $A^{(d)}$ untuk mengkalkulasi nilai LLR ekstrinsik $E^{(d)}$. Untuk menghitung nilai LLR ekstrinsik $E^{(v)}$ dan bit-bit prediksi $L^{(u)}$, pengawasandi repetisi menggunakan masukan nilai apriori $A^{(v)}$ yang mana merupakan nilai LLR ekstrinsik $E^{(d)}$ yang sudah mengalami proses *deinterleaving*. Sebelum nilai nilai LLR ekstrinsik $E^{(v)}$ digunakan sebagai masukan untuk pengawasandi log-BCJR, $E^{(v)}$ mengalami proses interleaving untuk menghasilkan nilai ariori $A^{(d)}$, dan dengan demikian, satu iterasi dapat dikatakan selesai.

III. MODEL SISTEM

Model yang digunakan adalah pada penelitian kali ini adalah model sistem komunikasi dengan penyandian kanal RAC dengan parameter yang diamati dari simulasi adalah pesat galat bit (*Bit Error Rate*, BER). Model sistem komunikasi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. Modulasi yang digunakan adalah *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) dan kanal komunikasi yang digunakan adalah kanal AWGN. Pada skema penyandian RAC, penyandi dalam (*inner coding*) yang digunakan adalah penyandi akumulator yang merupakan sandi konvolusi dengan pesat penyandian tunggal dan memiliki suku banyak pembangkit $G(D) = \frac{1}{1+D}$. Untuk penyandi luar (*outer coding*), sandi yang digunakan adalah sandi pengulangan (*repetition code*). Sandi pengulangan yang dipakai adalah sandi pengulangan dengan pesat penyandian $\frac{1}{2}$.



Gbr. 3 Model sistem yang digunakan pada penelitian kali ini

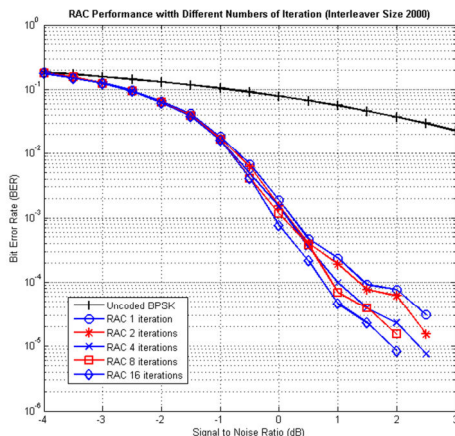
Pada tiap simulasi, panjang bingkai kata pesan diubah, masing-masing 10^3 bit, 10^4 bit, dan 10^5 bit, dan untuk masing-masing panjang bingkai kata pesan, jumlah iterasi pengawasandian juga diubah-ubah, yaitu 1 iterasi, 2 iterasi, 4 iterasi, 8 iterasi, dan 16 iterasi. Unjuk kerja yang ditinjau pada penelitian kali ini adalah pesat galat bit yang dihasilkan oleh setiap skenario yang akan direpresentasikan dalam BER Chart. Selain menggunakan BER Chart, analisis juga dilakukan dengan menggunakan EXIT Chart. Konstruksi EXIT Chart didasarkan pada *mutual information* untuk menunjukkan proses pertukaran *extrinsic information* di antara kedua pengawasandi, yakni pengawasandi Log-BCJR dan pengawasandi repetisi [2],[9].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini analisis menggunakan dua metode representasi yaitu dengan BER *chart* dan juga dengan EXIT *chart*. Masing-masing akan dipaparkan pada sub-bab yang terpisah

A. Analisis dengan BER Chart

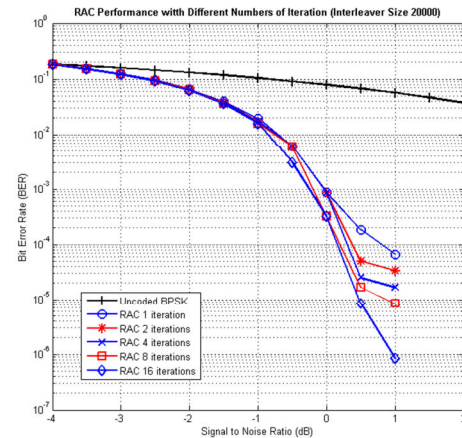
Pada percobaan pertama digunakan kata pesan dengan panjang bingkai 10^3 bit, sehingga ukuran *interleaver* yang digunakan adalah 2×10^3 bit. Perbandingan dilakukan dengan mengubah jumlah iterasi pengawasandian pada setiap langkah simulasi. Jumlah iterasi pengawasandian yang digunakan berturut-turut adalah satu, dua, empat, delapan, dan enam belas iterasi. Hasil unjuk kerja untuk masing-masing jumlah iterasi pengawasandian yang berupa pesat galat bit dibandingkan. Gambar 4 menunjukkan unjuk kerja RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^3 . Terlihat bahwa, untuk nilai SNR yang rendah ($\text{SNR} < 0$ dB), makin banyak jumlah iterasi pengawasandian tidak memberikan perbaikan hasil unjuk kerja koreksi galat. Untuk nilai SNR yang relatif tinggi ($\text{SNR} \geq 0$ dB), penambahan jumlah iterasi pengawasandian memberikan perbaikan unjuk kerja yang lebih baik, meskipun perbaikan tersebut tidak terlalu signifikan. Jika diamati lebih jauh, penurunan pesat galat bit pada nilai SNR yang relatif tinggi justru semakin melandai dibandingkan penurunan pesat galat bit pada nilai SNR yang sedang. Fenomena melandainya penurunan pesat galat bit ini disebut sebagai fenomena *error-floor*.



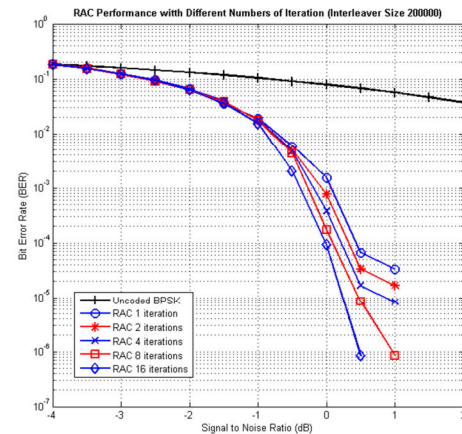
Gbr. 4 Unjuk kerja RAC dengan panjang bingkai 10^3 bit untuk berbagai jumlah iterasi pengawasandian

Pada percobaan kedua digunakan kata pesan dengan panjang bingkai 10^4 bit, sehingga ukuran *interleaver* yang digunakan adalah 2×10^4 bit. Perbandingan dilakukan dengan mengubah jumlah iterasi pengawasandian pada setiap langkah simulasi. Jumlah iterasi pengawasandian yang digunakan berturut-turut adalah satu, dua, empat, delapan, dan enam belas iterasi. Hasil unjuk kerja untuk masing-masing jumlah iterasi pengawasandian yang berupa pesat galat bit dibandingkan. Gambar 5 menunjukkan unjuk kerja RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^4 bit. Terlihat bahwa, untuk nilai SNR yang rendah ($\text{SNR} < 0$ dB), makin banyak

jumlah iterasi pengawasandian tidak memberikan perbaikan hasil unjuk kerja koreksi galat. Untuk nilai SNR yang relatif tinggi ($\text{SNR} \geq 0$ dB), penambahan jumlah iterasi pengawasandian memberikan perbaikan unjuk kerja yang cukup signifikan.

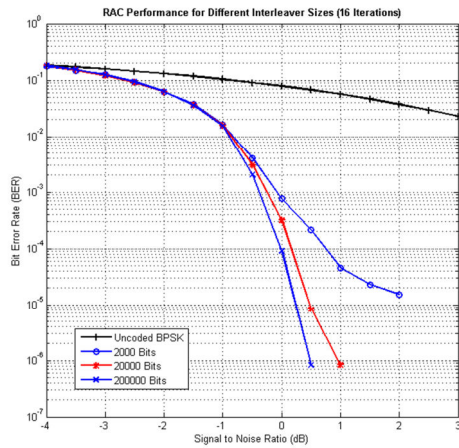


Gbr. 5 Unjuk kerja RAC dengan panjang bingkai 10^4 bit untuk berbagai jumlah iterasi pengawasandian



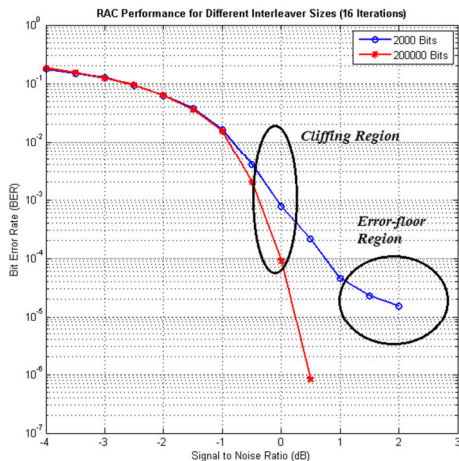
Gbr. 6 Unjuk kerja RAC dengan panjang bingkai 10^5 bit untuk berbagai jumlah iterasi pengawasandian

Pada percobaan ketiga digunakan kata pesan dengan panjang bingkai 10^5 bit, sehingga ukuran *interleaver* yang digunakan adalah 2×10^5 bit. Perbandingan dilakukan dengan mengubah jumlah iterasi pengawasandian pada setiap langkah simulasi. Jumlah iterasi pengawasandian yang digunakan berturut-turut adalah satu, dua, empat, delapan, dan enam belas iterasi. Hasil unjuk kerja untuk masing-masing jumlah iterasi pengawasandian yang berupa pesat galat bit dibandingkan. Gambar 6 menunjukkan unjuk kerja RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^5 bit. Terlihat bahwa, untuk nilai SNR yang rendah ($\text{SNR} < 0$ dB), makin banyak jumlah iterasi pengawasandian tidak memberikan perbaikan hasil unjuk kerja koreksi galat. Untuk nilai SNR yang relatif tinggi ($\text{SNR} \geq 0$ dB), penambahan jumlah iterasi pengawasandian memberikan perbaikan unjuk kerja yang signifikan.



Gbr. 7 Unjuk kerja RAC untuk berbagai panjang bingkai dengan enam belas iterasi pengawasandian

Pada percobaan selanjutnya, jumlah iterasi pengawasandian dibuat tetap, sementara panjang bingkai kata pesan diubah-ubah. Panjang bingkai kata pesan yang digunakan adalah 10^3 , 10^4 , dan 10^5 bit per bingkai. Jumlah iterasi pengawasandian yang dilakukan adalah sebanyak 16 kali iterasi. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 7. Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa semakin panjang bingkai kata pesan, maka unjuk kerja koreksi galat RAC semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan teori informasi yang menyatakan bahwa peluang galat bit akan semakin kecil jika panjang kata sandi mendekati tak hingga. Namun jika ditinjau lebih jauh, ternyata untuk panjang bingkai 10^3 bit dijumpai fenomena *error-floor*. *Error-floor* adalah fenomena melandainya penurunan pesat galat bit ketika nilai nisbah daya isyarat terhadap daya derau semakin tinggi. Fenomena *error-floor* pada RAC untuk panjang bingkai kata pesan 10^3 bit dapat dilihat pada Gambar 8.



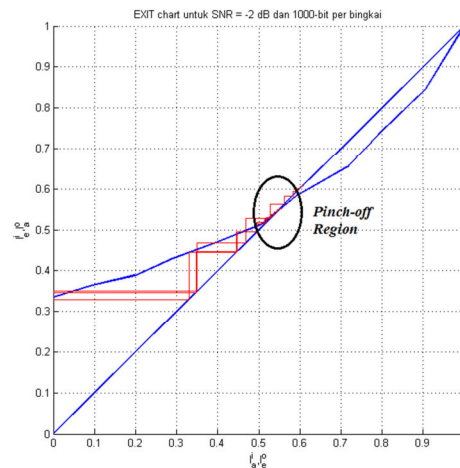
Gbr. 8 Ilustrasi fenomena *error floor* pada RAC

Fenomena *error-floor* sering dijumpai pada berbagai metode penyandian yang pengawasandiannya menggunakan pengawasandi iteratif, seperti sandi turbo maupun sandi LDPC [10],[11],[12]. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa untuk nilai

SNR yang sedang ($-1 \leq \text{SNR} \leq 1$ dB), unjuk kerja koreksi galat tampak lebih curam dibandingkan untuk nilai SNR yang relatif tinggi ($\text{SNR} > 1$ dB). Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi efek dari *error-floor* ini adalah dengan memperpanjang bingkai kata pesan. Dengan memperpanjang bingkai kata pesan, maka dapat diperoleh daerah *error-floor* yang lebih rendah atau bahkan tidak ditemukan lagi fenomena *error-floor*. Hasilnya juga dapat dilihat pada Gambar 8. Fenomena *error-floor* muncul pada RAC dengan panjang bingkai 10^3 bit, sedangkan untuk RAC dengan panjang bingkai 10^5 bit belum dijumpai fenomena *error-floor*. Dikatakan “belum dijumpai” karena secara teoritis RAC dengan panjang bingkai 10^5 bit tetap akan mengalami fenomena *error-floor* namun dengan posisi yang lebih rendah dibandingkan dengan RAC dengan panjang bingkai 10^3 bit.

B. Analisis dengan EXIT Chart

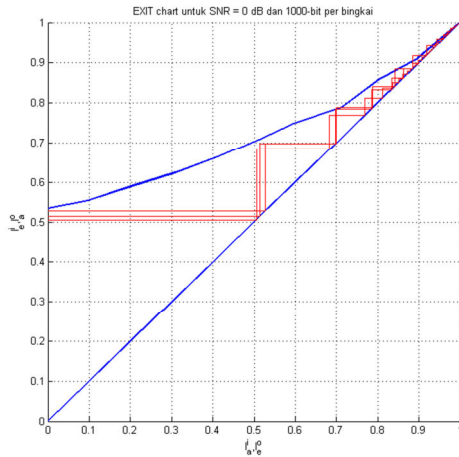
EXIT Chart adalah metode yang digunakan untuk menganalisis konvergensi dari satu pengawasandian iteratif. EXIT Chart menggunakan nilai *mutual information* yang saling dipertukarkan dalam proses pengawasandian iteratif. Pada proses pengawasandian iteratif keluaran pengawasandi pertama digunakan sebagai masukan untuk pengawasandi kedua dan sebaliknya. EXIT Chart dapat digunakan untuk memprediksi tingkah laku dari suatu metode pengawasandian iteratif. Pada bagian ini akan digunakan EXIT Chart untuk menganalisis tingkah laku dari pengawasandian RAC.



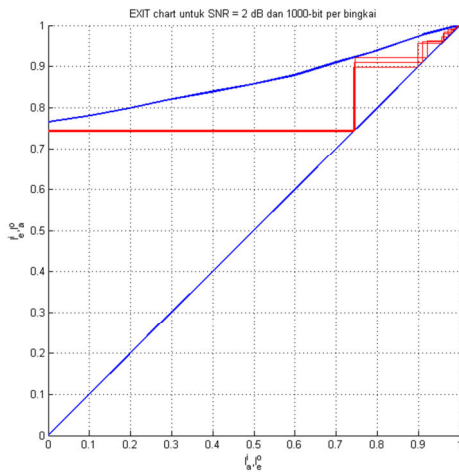
Gbr. 9 EXIT Chart untuk RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^3 bit (SNR = -2 dB)

Gambar 9 menunjukkan EXIT Chart pengawasandian RAC untuk panjang bingkai 10^3 bit dengan kondisi SNR = -2 dB. Terlihat pada Gambar 9 terjadi kondisi lintasan buntu pada proses pengawasandian. Kondisi ini disebut juga sebagai *pinch-off region* [9]. Kondisi *pinch-off* pada EXIT Chart ini dapat diartikan dengan unjuk kerja pengawasandian RAC akan buruk pada nilai SNR rendah, meskipun dilakukan iterasi yang berulang-ulang, karena penambahan jumlah iterasi tidak akan membuat lintasan (trajectory) EXIT Chart keluar dari *pinch-off region*. Unjuk kerja RAC pada kondisi SNR = -2

dB dapat dilihat pada BER Chart yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gbr. 10 EXIT Chart untuk RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^3 bit (SNR = 0 dB)

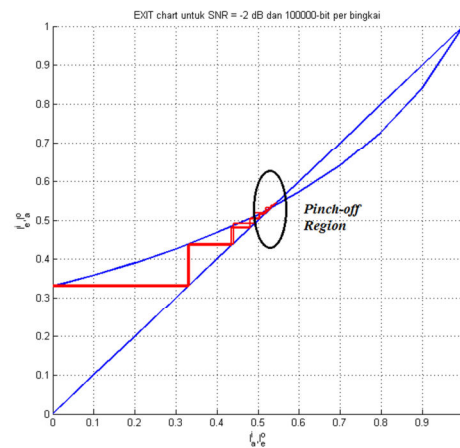


Gbr. 11 EXIT Chart untuk RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^3 bit (SNR = 2 dB)

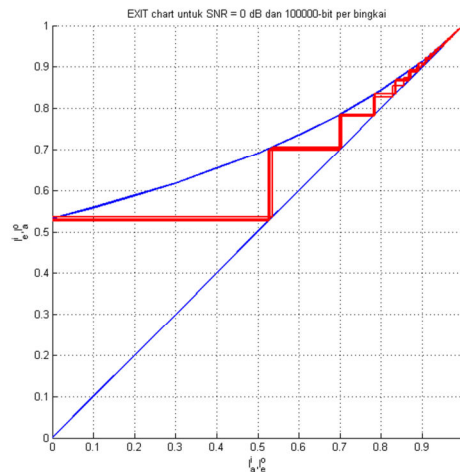
Gambar 10 menunjukkan EXIT Chart pengawasandian RAC untuk panjang bingkai 10^3 bit dengan kondisi SNR = 0 dB. Terlihat pada Gambar 10 terjadi kondisi lintasan yang sedikit terbuka pada proses pengawasandian. Kondisi ini disebut juga sebagai *bottleneck region* [9]. Kondisi *bottleneck* pada EXIT Chart ini dapat diartikan dengan unjuk kerja pengawasandian RAC memiliki konvergensi lambat, artinya dibutuhkan penambahan jumlah iterasi untuk memperbaiki unjuk kerja pengawasandian RAC, karena penambahan jumlah iterasi dapat mengantarkan lintasan (*trajectory*) untuk melalui *bottleneck region*. Unjuk kerja RAC pada kondisi SNR = 0 dB dapat dilihat pada BER Chart yang ditunjukkan oleh Gambar 4.

Gambar 11 menunjukkan EXIT Chart pengawasandian RAC untuk panjang bingkai 10^3 bit dengan kondisi SNR = 2 dB. Terlihat pada Gambar 11 terjadi kondisi lintasan yang terbuka lebar pada proses pengawasandian. Kondisi ini disebut juga sebagai *wide-open region* [9]. Kondisi *wide-open*

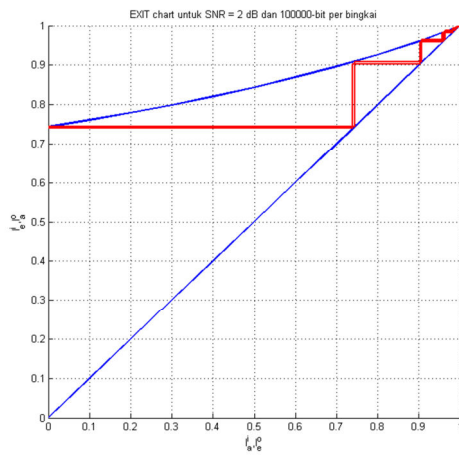
pada EXIT Chart ini dapat diartikan dengan unjuk kerja pengawasandian RAC memiliki konvergensi cepat, artinya dengan jumlah iterasi yang tidak terlalu banyak akan menghasilkan unjuk kerja pengawasandian RAC yang baik karena satu atau dua iterasi saja dapat mengantarkan lintasan (*trajectory*) untuk melalui *wide-open region*. Unjuk kerja RAC pada kondisi SNR = 2 dB dapat dilihat pada BER Chart yang ditunjukkan oleh Gambar 4. Pada Gambar 4, representasi BER Chart juga menunjukkan adanya fenomena *error-floor*. Hal ini dapat dijelaskan melalui representasi EXIT Chart pada Gambar 11. Pada Gambar 11 terlihat bahwa EXIT Chart menyempit pada daerah di sekitar $(I_A, I_E) = (1, 1)$. Hal ini menyebabkan pada daerah sekitar $(I_A, I_E) = (1, 1)$ justru mengalami konvergensi lambat [2]. Inilah yang menyebabkan unjuk kerja RAC dengan 16 iterasi pengawasandian tidak meningkat secara signifikan meskipun nilai SNR terus dinaikkan.



Gbr. 12 EXIT Chart untuk RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^5 bit (SNR = -2 dB)



Gbr. 13 EXIT Chart untuk RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^5 bit (SNR = 0 dB)



Gbr. 14 EXIT Chart untuk RAC dengan panjang bingkai kata pesan 10^5 bit (SNR = 2 dB)

EXIT Chart untuk panjang bingkai kata pesan 10^5 bit dengan kondisi SNR berturut-turut -2 dB, 0 dB, dan 2 dB dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14. Hasil dan analisis menunjukkan hasil yang serupa pada EXIT Chart untuk panjang bingkai kata pesan 10^3 bit. Berdasarkan hasil yang diperoleh, EXIT Chart mampu menjelaskan fenomena yang tidak dapat dijelaskan atau direpresentasikan oleh BER Chart.

V. KESIMPULAN

Secara umum, penambahan jumlah iterasi pengawasandian memperbaiki kemampuan koreksi galat dari skema penyandian RAC. Namun, perlu ditinjau lebih jauh apakah pengorbanan yang dilakukan dengan menambah jumlah iterasi pengawasandian setimpal dengan peningkatan perolehan penyandian (*coding gain*) yang dihasilkan. Meskipun, berhasil memperbaiki unjuk kerja koreksi galat, penambahan jumlah iterasi tidak berhasil menghilangkan fenomena yang disebut sebagai *error-floor*. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak *error-floor* adalah menambah panjang bingkai kata pesan. Untuk memperoleh wawasan lebih luas tentang RAC, analisis menggunakan EXIT Chart juga dilakukan. EXIT Chart berhasil menjelaskan perilaku pengawasandi iteratif yang tidak dapat diamati melalui BER Chart. Pada akhirnya, penulis berharap RAC dapat diaplikasikan sebagai skema penyandian kanal untuk standar teknologi telekomunikasi yang akan datang mengingat RAC memiliki arsitektur dan cara operasi yang relatif sederhana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri, Sekretariat Jenderal Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sebagai pengelola Program Beasiswa Unggulan *Fast-Track*.

REFERENSI

- [1] D. Divsalar, H. Jin, and R. J. McEliece, "Coding Theorems for 'Turbo-Like' Codes," in *Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, 1998, pp. 201–210.
- [2] S. Brink and G. Kramer, "Design of Repeat-Accumulate Codes for Iterative Detection and Decoding," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 51, no. 11, pp. 2764–2772, 2003.
- [3] X. Chen and Y. Shen, "Research of RA Coding Algorithm Based on AWGN Channel," *Journal of Networks*, vol. 7, no. 4, pp. 605–612, 2012.
- [4] A. Abbasfar, D. Divsalar, and K. Yao, "Accumulate-Repeat-Accumulate Codes," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 55, no. 4, pp. 692–702, 2007.
- [5] H. Jin, A. Khandekar, and R. McEliece, "Irregular Repeat-Accumulate Codes," in *2nd International Conference on Turbo Codes and Related Topics*, 2000.
- [6] A. Roumy, S. Guemghar, G. Caire, and S. Verdú, "Design Methods for Irregular Repeat-Accumulate Codes," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 50, no. 8, pp. 1711–1727, 2004.
- [7] S. J. Johnson and S. R. Weller, "Constructions for Irregular Repeat-Accumulate Codes," in *International Symposium on Information Theory*, 2005, pp. 179–183.
- [8] S. Shamsy, "EXIT Chart Analysis of Repeat Accumulate Codes for Log-BCJR Algorithm in Iterative Decoding," in *1st International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSPA)*, 2013, pp. 1–5.
- [9] S. Brink, "Convergence Behavior of Iteratively Decoded Parallel Concatenated Codes," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, no. 10, pp. 1727–1737, 2001.
- [10] S. Dolinar, D. Divsalar, and F. Pollara, "Turbo Codes and Space Communications." Communications Systems and Research Section, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, pp. 1–8, 1998.
- [11] T. Richardson, "Error Floors of LDPC Codes," in *Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing*, 2003, pp. 1426–1435.
- [12] Y. He, J. Yang, and J. Song, "A Survey of Error Floor of LDPC Codes," *International ICST Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM)*, pp. 61–64, Aug. 2011.

Kerangka Teori Permainan dengan Perbaikan Utilitas untuk Pengorganisasian Diri di dalam Jaringan Heterogen LTE

Agus Nurcahyo, I Wayan Mustika, Sigit Basuki Wibowo

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika no. 2, Yogyakarta 55281, Indonesia

agus_s2te_11@mail.ugm.ac.id, wmustika@ugm.ac.id, sigitbw@ugm.ac.id

Abstract— LTE Heterogeneous network with open access is constructed by embedding pico base station in macro cell in order to increase system capacity. However, densely deployed picocells in an existing macrocell network without resource management could introduce excessive cross and co-tier uplink interference. It requires a self-organization scheme for joint base station and resource block selection in an orthogonal frequency-division multiple access (OFDMA) cellular network in order to manage interference and improve throughput performance. Such a self-organization scheme can be modeled as a potential game, which is guaranteed to converge to a Nash equilibrium. The simulation results show the throughput system before applying a self-organization scheme is 160 Mbps, and after using a self-organization scheme with interference threshold -80 dBm is 253 Mbps. Then the proposed self-organization scheme facilitates the improvement of the system capacity in LTE heterogeneous networks by offloading the macrocell traffic and mitigate the cross and co-tier interference.

Keywords—LTE heterogeneous networks; cognitive radio; self-organization schemes; game theory; game potential; interference management; Nash equilibrium.

Intisari— Jaringan heterogen LTE dengan akses terbuka dibangun dengan memasang *base station pico* di dalam sel makro dalam rangka meningkatkan kapasitas sistem. Akan tetapi ketika semakin banyak pemasangan sel *pico* tanpa pengelolaan sumber daya dapat menyebabkan interferensi *uplink cross-tier* dan *co-tier* yang berlebihan. Maka diperlukan skema pengorganisasian diri untuk pemilihan *base station* dan seleksi *resource block* di dalam jaringan selular *orthogonal frequency division multiple access* (OFDMA) dalam rangka mengelola interferensi dan meningkatkan performa *throughput*. Skema pengorganisasian diri dapat dimodelkan sebagai permainan potensial agar hasil permainan konvergen ke dalam kesetimbangan Nash. Hasil simulasi menunjukkan *throughput* sistem pada kondisi awal sebesar 160 Mbps dengan interferensi *threshold* sebesar -80 dBm dapat meningkat mencapai 253 Mbps pada saat kondisi konvergen. Maka skema pengorganisasian diri yang diajukan dapat memperbaiki kapasitas sistem di dalam jaringan heterogen LTE dengan mengurangi beban sel makro dan interferensi *cross-tier* dan *co-tier*.

Kata kunci—jaringan heterogen LTE, radio kognitif, skema pengorganisasian diri, teori permainan, permainan potensial, manajemen interferensi, kesetimbangan Nash.

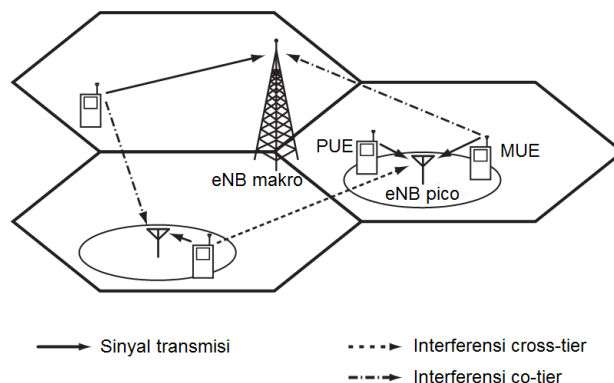
I. PENDAHULUAN

Permintaan komunikasi data di dalam jaringan selular saat ini meningkat secara eksponensial. Setelah efisiensi

link mendekati batas teoritis, maka perbaikan selanjutnya dalam sistem seluler adalah efisiensi spektral. Efisiensi ini dapat ditingkatkan dengan cara mengurangi ukuran sel dan jarak *base station* dengan *node mobile*. Jarak *base station* dengan *node mobile* yang semakin dekat akan meningkatkan kapasitas jaringan. Namun peningkatan tersebut dibatasi oleh interferensi antar sel yang semakin tinggi [1].

Solusi efisiensi spektral setelah mengurangi ukuran dari sel makro adalah dengan memasang *base station* daya rendah di dalam sel makro dan mengoperasikan *co-channel* dengan akses terbuka sehingga terbentuk jaringan heterogen yang bermanfaat untuk *offload traffic* sel makro dan meningkatkan kapasitas sistem [2][3]. *Base station* pico yang disebut sebagai *pico eNB* (PeNB) di dalam terminologi 3GPP *long term evolution* (LTE) adalah *base station* dengan konsumsi daya yang rendah dan efisien untuk jangkauan pendek. Di desain untuk melayani luas wilayah kecil, dan dapat menggunakan kembali spektrum berlisensi di dalam maupun luar ruangan [4]. Sel pico merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan luas wilayah komunikasi dan kapasitas sistem selular di dalam jaringan heterogen yang akan memberikan keuntungan kepada pengguna maupun operator jaringan.

Pemasangan sel *pico* yang semakin banyak di dalam sel makro tanpa adanya pengelolaan sumber daya akan menyebabkan interferensi *uplink* berlebihan dari *node mobile* ke *base station*. Interferensi tersebut berupa interferensi *cross-tier* dan *co-tier* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Oleh karena itu mengurangi interferensi *cross-tier* dan *co-tier* menjadi bagian yang penting di dalam pengembangan jaringan heterogen [5].



Gambar 1. Interferensi *cross-tier* dan *co-tier* [5]

Dengan menggunakan koordinasi interferensi pada pengoperasian *co-channel* di dalam jaringan heterogen akan meningkatkan efisiensi spektral dan sedikit berpengaruh buruk terhadap penurunan *throughput* sel makro [6]. Interferensi pada pengoperasian *co-channel* juga dapat dikurangi melalui koordinasi interferensi spasial dalam rangka meningkatkan *throughput* [7], sehingga pengoperasian *co-channel* di dalam sel makro layak digunakan. Skema untuk pengaturan sumber daya menggunakan radio kognitif di dalam jaringan heterogen OFDMA dapat mengurangi interferensi yang muncul dan dapat mempertahankan *quality of service* (QoS) [8].

Teknik yang akan dipakai untuk mengurangi interferensi dan meningkatkan kapasitas sistem dengan menggunakan operasi *co-channel* di dalam jaringan heterogen di dalam penelitian ini adalah dengan mekanisme pengorganisasian diri dan kontrol akses. Pengorganisasian diri merupakan kemampuan suatu entitas otonom berupa *node mobile* untuk bergabung ke jaringan, mempelajari lingkungan sekitarnya, dan mengalokasikan sumber daya, tanpa bantuan dari operator jaringan. Sedangkan kontrol akses merupakan pada hak konektivitas pengguna untuk menggunakan *base station* daya rendah [9][10][11]. Kapasitas *uplink* di jaringan heterogen dengan akses terbuka dapat ditingkatkan dengan menggunakan skema pengorganisasian diri dengan kehilangan sedikit kinerja sel *pico* [12].

Kontribusi di dalam penelitian ini berupa usulan kerangka teori permainan dengan perbaikan utilitas untuk konfigurasi diri di dalam pemilihan *base station* dan seleksi *resource blocks* di jaringan heterogen LTE. Masing-masing *user equipment* (UE) menggunakan teknologi kognitif radio yang dapat bertindak sebagai entitas otonom untuk memilih kombinasi strategi yang paling tepat dari eNB dan RB dalam rangka memaksimalkan utilitas masing-masing. Kinerja skema konfigurasi diri yang diusulkan akan dianalisa menggunakan pendekatan teori permainan dengan mendefinisikan fungsi utilitas yang digunakan UE, dimana dengan fungsi utilitas tersebut UE akan mempertimbangkan interferensi *cross-tier* dan *co-tier* serta insentif untuk memilih eNB didasarkan pada kualitas *link*. Pemilihan *base station* dan seleksi RB akan dirumuskan sebagai permainan potensial agar dinamika respon terbaik dari pemain dijamin konvergen menuju ke kesetimbangan Nash dengan sejumlah langkah-langkah yang terbatas [13]. Kesetimbangan Nash merupakan konsep yang paling banyak digunakan dalam permainan nonkooperatif.

II. PEMODELAN SISTEM

Transmisi *uplink* OFDMA di dalam jaringan heterogen akan mempertimbangkan interferensi *cross-tier* dan *co-tier*. Interferensi *cross-tier* berupa interferensi antara jaringan jaringan sel *pico* dan sel *macro* atau sebaliknya. Sedangkan interferensi *co-tier* berupa interferensi antara sel *pico* dengan sel *pico* yang lain. Sistem bandwidth W di dalam LTE OFDMA dibagi kedalam K RB. Dimana RB didefinisikan sebagai unit sumber frekuensi-waktu terkecil yang dapat dialokasikan ke UE. eNB *pico* dipasang secara acak di masing-masing

sektor eNB makro. Secara acak U_M UE Makro (MUE) dan U_P UE *pico* (PUE) didistribusikan dimasing-masing sektor eNB makro dan sel *pico*. Sehingga jumlah total UE di dalam sel makro dapat dihitung sebagai berikut $N = 3(U_M + PU_P)$.

Pengoperasian *co-channel* di dalam sel makro dan *pico* akan mempertimbangkan interferensi yang terjadi ketika UE di sel yang berbeda mengirimkan transmisi menggunakan RB yang sama. Masing-masing sektor eNB makro dapat menggunakan kembali semua sumber spektrum dalam rangka memperbaiki efisiensi pemanfaatan spektrum sehingga akan mengakibatkan masing-masing MUE mengalami interferensi signifikan dari MUE lainnya dan PUE didekat sektor tersebut.

III. PENDEKATAN PERMAINAN POTENSIAL UNTUK PEMILIHAN *BASE STATION* DAN SELEKSI RB

A. Kerangka Teori Permainan

Skema pengorganisasian diri dimodelkan sebagai permainan strategi nonkooperatif yang memiliki tiga komponen utama yaitu : pemain, strategi dan utilitas. Pemain adalah UE (MUE dan PUE), dimana UE tersebut memiliki kemampuan radio kognitif. Strategi dari UE i adalah kombinasi dari eNB dan subset RB, $s_i = (b_i, R_i) \in S_i$, dimana $b_i \in B$ adalah eNB yang dipilih oleh UE i dari himpunan eNB B . Himpunan eNB terdiri dari sektor eNB makro dan eNB *pico*. $k_i^{(l)} \in R_i$, $1 \leq l \leq L$, adalah element subset dari RB R_i yang dipilih oleh UE i dan $|R_i|=L$, $\forall i \in N$ adalah jumlah dari elemen di dalam subset RB R_i . Keseluruhan elemen R_i (L) akan di alokasikan pada penugasan awal. UE menggunakan 5 RB untuk transmisi data. Utilitas UE i merupakan fungsi dari interferensi *cross-tier* dan *co-tier* serta insentif untuk memilih eNB berdasarkan kualitas link.

Secara matematis permainan dapat didefinisikan $\Gamma = \{N, \{S_i\}_{i \in N}, \{u_i\}_{i \in N}\}$. Himpunan terbatas dari pemain dan himpunan di asosiasi dengan pemain i di notasikan sebagai N dan S_i . Fungsi utilitas, $u_i : S \rightarrow \mathbb{R}$, akan memetakan masing-masing kemungkinan kombinasi strategi dari semua pemain $S = \prod_{i \in N} S_i$ ke nilai riil \mathbb{R} . Fungsi utilitas akan digunakan oleh pemain untuk mengukur utilitas masing-masing, mewakili derajat kepuasan pemain i sebagai fungsi strategi yang dipilih pemain i , s_i , dan strategi dari pemain lain $s_{-i} = (s_1, \dots, s_{i-1}, s_{i+1}, \dots, s_N)$.

B. Pendekatan Permainan Potensial untuk Pemilihan *Base Station* dan Seleksi RB

Solusi paling banyak digunakan di dalam permainan nonkooperatif adalah konsep kesetimbangan Nash, dimana konsep ini akan menghasilkan kondisi tetap (*steady state*) ketika tidak ada lagi pemain yang mengubah strateginya dikarenakan ketika mereka mengubah strateginya maka utilitas masing-masing tidak akan naik [14]. Himpunan profil strategi semua pemain $s^* = (s_i^*, s_{-i}^*) \in S$, adalah kesetimbangan Nash jika dan hanya jika memenuhi kondisi :

$$u_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq u_i(s_i', s_{-i}^*), \forall s_i' \neq s_i^*, \forall s_i' \in S_i, \forall i \in N \quad (1)$$

Permainan potensial adalah tipe permainan non kooperatif yang dijamin konvergen ke strategi kesetimbangan Nash selama pemain bermain secara sekuensial dan berdasarkan dinamika respon terbaik [15]. Respon terbaik pemain i ke profile strategi s_{-i} pada saat $t+1$, $s_i^{(t+1)}(s_{-i})$, adalah strategi yang memenuhi kondisi [13]

$$s_i^{(t+1)}(s_{-i}) \in \arg \max_{s_i \in S_i} u_i(s_i', s_{-i}^{(t)}) \quad (2)$$

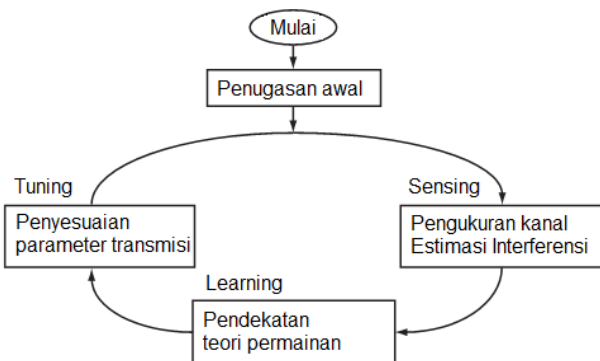
dimana $(s_i^{(t)}, s_{-i}^{(t)}) \in S$ mewakili profile strategi pada waktu t .

Permainan strategik disebut sebagai permainan potensial jika terdapat fungsi potensial $P : S \rightarrow \mathbb{R}$ sesuai dengan persamaan

$$P(s_i', s_{-i}) - P(s_i, s_{-i}) = u_i(s_i', s_{-i}) - u_i(s_i, s_{-i}) \quad (3)$$

dimana $s_i' \in S_i, \forall i \in N$. Dari persamaan 3, dapat disimpulkan bahwa informasi yang berkaitan dengan perbaikan di dalam alur permainan dapat dimodelkan menggunakan fungsi potensial jika perbaikan utilitas pemain sebagai hasil penyimpangan strategi pemain sama dengan perbaikan fungsi potensial. Pada umumnya respon strategi terbaik tidak selalu konvergen ke kesetimbangan Nash. Tetapi ketika permainan dapat dimodelkan ke dalam permainan potensial dengan himpunan strategi terbatas, respon strategi terbaik dari semua pemain akan berhenti pada kondisi tertentu dari langkah ke kesetimbangan Nash, tanpa memperhatikan kondisi awal permainan dan urutan dari langkah sekuensial permainan [13].

Di dalam penelitian ini, UE diasumsikan memiliki kemampuan kognitif radio yang dapat mengindera spektrum, mengukur interferensi yang diterima dari UE di sekitarnya dan mengestimasi interferensi yang dihasilkan yang akan berdampak ke UE di sekitarnya, serta menyesuaikan parameter transmisi dengan memilih kombinasi dari eNB dan subset RB paling tepat dalam rangka memperbaiki *throughput*. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2, skema yang diajukan terdapat tiga fase utama yang membentuk lingkaran kognitif [16] yaitu: fase *sensing*, fase *learning*, dan fase *tuning*.



Gambar 2. Skema pengorganisasian diri [5]

Di dalam fase *sensing*, UE_{*i*} mengamati lingkungan sekitar dan mengambil informasi yang dibutuhkan untuk tujuan dipelajari. Pesan kontrol dikirim melalui *common*

control channel dimana informasi *channel gain* antara UE dipertukarkan. Dalam rangka mengurangi *overhead* pensinyalan selama fase ini, radius pertukaran informasi di batasi berdasarkan *interference power threshold*. UE_{*i*} akan bertukar informasi kontrol ke eNB sekitarnya yang berada di dalam radius pertukaran informasi, dimana radius informasi tersebut di tentukan oleh nilai *interference power threshold* I_{th} .

Banyaknya nilai dari pertukaran informasi selama fase ini tergantung pada *interference power threshold* I_{th} . Mengurangi nilai I_{th} akan menyebabkan radius pertukaran informasi meningkat sehingga UE akan belajar lebih banyak potensi interferensi. Oleh karena itu meningkatkan radius pertukaran informasi akan meningkatkan kompleksitas sistem yang diajukan karena adanya peningkatan pertukaran informasi selama fase ini.

Di fase *learning*, pendekatan teori permainan digunakan untuk memodelkan dan menganalisis interaksi antara UE, dimana hasil dari interaksi ini dapat di prediksi dan himpunan strategi yang memenuhi utilitas semua UE dapat di identifikasi. Dengan menggunakan pendekatan ini, masing-masing UE akan mencoba mengevaluasi utilitas untuk setiap kombinasi strategi dari eNB dan subset RB. Fungsi utilitas yang diajukan untuk masing-masing UE di dalam jaringan heterogen LTE sebagai berikut:

$$u_i(s_i, s_{-i}) = -n_r \sum_{x=1}^L \sum_{y=1}^L \left(- \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{b_{i,j}} p_j h_{b_{i,j}} \delta_{k_i^{(x)}, k_j^{(y)}} \right) - n_c \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{b_{j,i}} p_i h_{b_{j,i}} \delta_{k_j^{(y)}, k_i^{(x)}} \alpha G_{b_{i,i}} p_i h_{b_{i,i}} \quad (4)$$

Dimana n_r dan n_c merupakan nilai pembobotan untuk interferensi yang diterima dan yang dihasilkan. Kedua nilai pembobotan tersebut berfungsi untuk perbaikan utilitas. $G_{b_{i,j}}$ merupakan *link gain* antara UE_{*j*} dan eNB yang dipilih oleh UE_{*i*}, P_j adalah daya transmisi UE_{*j*} di masing-masing RB yang dipilih, x dan y adalah index elemen subset RB yang dipilih UE_{*i*} dan UE_{*j*}, dan $\delta_{k_i^{(x)}, k_j^{(y)}}$ adalah fungsi interferensi yang mengindikasikan apakah ada atau tidak elemen RB yang sama di dalam himpunan RB yang dipilih oleh UE_{*i*} dan UE_{*j*}. Jika $k_i^{(x)} = k_j^{(y)}$, $\delta_{k_i^{(x)}, k_j^{(y)}} = 1$; $k_i^{(x)} \neq k_j^{(y)}$, $\delta_{k_i^{(x)}, k_j^{(y)}} = 0$. Total daya transmisi UE_{*i*} dibagi rata ke RB yang dipilih, fungsi radius dari UE_{*i*} ke eNB yang dipilih oleh UE_{*j*} dinotasikan dengan $h_{b_{j,i}}$, mengindikasikan apakah UE_{*i*} dan eNB yang dipilih oleh UE_{*j*} berada pada radius pertukaran informasi atau tidak.

$$h_{b_{j,i}} = \begin{cases} 1, & G_{b_{j,i}} p_i \geq I_{th} \\ 0, & G_{b_{j,i}} p_i < I_{th} \end{cases} \quad (5)$$

Dimana p_i merupakan notasi untuk daya transmisi UE_{*i*} di masing-masing RB, dan $G_{b_{j,i}}$ merupakan notasi

untuk *link gain* antara UE_i dan eNB yang dipilih oleh UE_j .

Bagian pertama dan kedua dari fungsi utilitas yang diusulkan akan menghitung total interferensi yang diterima oleh eNB yang dipilih UE_i dan potensi interferensi yang dihasilkan oleh UE_i ke eNB lainnya. Bagian terakhir dari fungsi utilitas tersebut adalah menghitung insentif untuk memilih ke eNB didasarkan pada kualitas link dengan faktor insentif α .

Berdasarkan fungsi utilitas u_i yang diusulkan, maka fungsi potensial adalah sebagai berikut :

$$P_i(s_i, s_{-i}) = \sum_{i=1}^N \left[\sum_{x=1}^L \sum_{y=1}^L \left(-\frac{1}{2} \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{b_{i,j}} p_j h_{b_{i,j}} \delta_{k_i^{(x)} k_j^{(y)}} \right) - \frac{1}{2} \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{b_{j,i}} p_i h_{b_{j,i}} \delta_{k_j^{(y)} k_i^{(x)}} \right) \alpha G_{b_{i,i}} p_i h_{b_{i,i}} \right] \quad (6)$$

Bagian terakhir dari fase *learning* adalah strategi respon terbaik seperti yang dijelaskan dalam persamaan (2). Dalam strategi respon terbaik, UE memilih kombinasi strategi yang paling tepat dari eNB dan RB dalam menanggapi strategi dari UE lainnya. Pada tahap *tuning*, UE menyesuaikan parameter transmisi seperti eNB dan subset dari RB menurut hasil fase *learning*. Hal ini dapat dilakukan dengan memperbarui kombinasi strategi dari eNB dan subset RB, dan memberitahu semua UE disekitarnya berupa strategi yang dipilih dengan mengirimkan pesan kontrol pada *common control channel*. Strategi yang dipilih merupakan strategi yang memaksimalkan utilitas UE.

IV. EVALUASI KINERJA

A. Model Simulasi

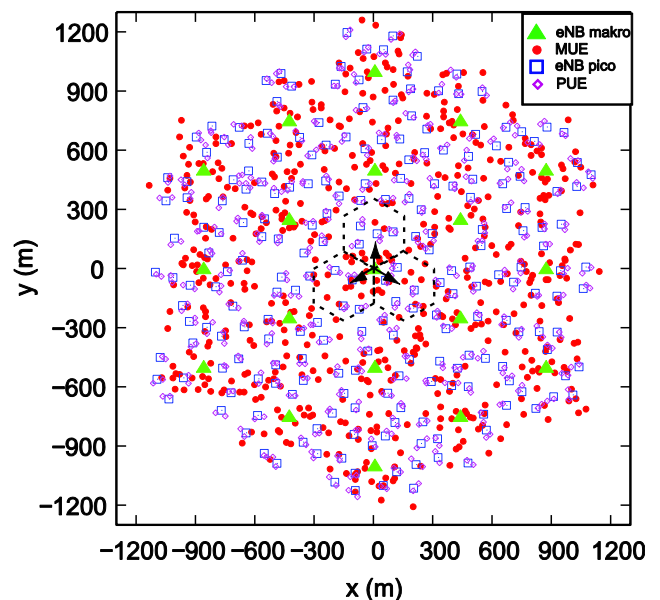
Simulasi di dalam penelitian ini menggunakan pemrograman c++. Jaringan yang digunakan dalam simulasi berjumlah 19 sel, masing-masing sel memiliki tiga sektor heksagonal seperti ditunjukkan pada gambar 3. Jarak antar sel atau *inter site distance* (ISD) adalah 500 m sesuai dengan aturan 3GPP untuk simulasi [3]. Tiga sektor antenna dengan *beamwidth* 120° ada di setiap sektor eNBs makro [16]. Dalam setiap sektor eNBs makro terdapat 10 MUE yang ditempatkan secara acak dan merata. Dengan demikian terdapat 30 MUE ada di sel makro pada saat penyiapan awal jaringan. eNB pico dengan antenna *omnidirectional* ditempatkan secara acak di masing-masing sektor eNBs makro. 2 PUE didistribusikan secara acak di dalam daerah cakupan sel pico. Simulasi dilakukan pada kasus terburuk yaitu ketika semua UE melakukan transmisi *uplink* ke eNB secara terus menerus (*full buffer*) selama simulasi dijalankan. Statistik dari kinerja tiga sektor utama yang akan diamati, sedangkan sektor lainnya di sel yang berbeda dianggap hanya sebagai kontributor interferensi.

Operasi *co-channel* digunakan untuk meningkatkan pemanfaatan spektrum, dengan demikian semua sumber daya spektrum dapat digunakan kembali di setiap sektor

sel makro dan sel *pico*. *Bandwidth* sistem yang digunakan 10 MHz, yang merupakan total dari 50 RB. Masing-masing UE memanfaatkan 5 RB ($L=5$) untuk transmisi *uplink*. Pada awal penugasan UE, RB dipilih secara acak (*random RB selection*) dengan mengabaikan adanya interferensi antara MUE di sektor makro ENB yang sama. Untuk kesederhanaan simulasi, nilai dari *fast fading* akan diabaikan. Selain itu, total daya pancar dibagi rata dengan jumlah RB yang dipilih. Parameter yang digunakan dalam simulasi dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Tata letak selular sel makro	Jaringan heksagonal, 19 sel, 3 sektor per sel [3]
Tata letak selular sel pico	Sel lingkaran, 1 sektor per sel [3]
Radius sel makro / sel pico	288,68 m (ISD = 500m), 40 m [3]
Path loss makro	$128.1 + 37.6 \log_{10}(d_m \text{ [km]})$ dB [3]
Path loss pico	$140.7 + 36.7 \log_{10}(d_p \text{ [km]})$ dB [3]
Shadowing standard deviation	8dB (macro), 10dB (pico) [3]
Pola antenna eNB makro	$A_H(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$ [3] $\theta_{3dB} = 70^\circ$ dan $A_m = 20$ dB
Antena eNB pico	Omnidirectional [17]
Gain antenna eNB	14 dBi (makro), 5 dBi (pico) [3]
Gain antenna UE	0 dBi [17]
Daya UE	23 dBm [3]
Thermal noise density	-174 dBm/Hz [17]
Jumlah eNB pico	4 eNB pico/sektor
Jumlah UE	10 MUE/sektor, 2 PUE/eNB pico
Jarak minimal antara eNB makro dan MUE	35 m
Bandwidth sistem dan RB	10 MHz (sistem) dan 180 kHz (RB) [17]
Jumlah RB yang tersedia	50 [17]
Frekuensi carrier	2 GHz [17]
Faktor insentif α	1.0
Model traffic	Full buffer [17]
Jumlah topologi	100



Gambar 3. Model simulasi dengan 19 sel makro

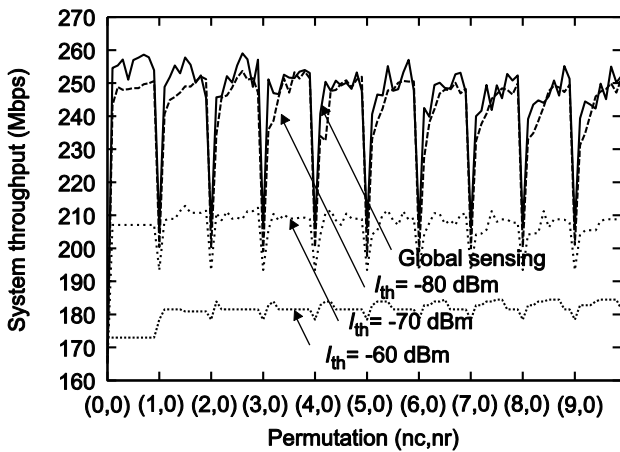
Throughput sistem merupakan jumlah total throughput UE (MUE dan PUE) di makro pusat. Throughput dari UE i yang memanfaatkan L RB dapat dihitung sebagai:

$$T_i = W_{RB} \sum_{l=1}^L \log_2(1 + \gamma_{ki}^{(l)}) \quad (7)$$

dimana W_{RB} adalah bandwidth RB dan $\gamma_{ki}^{(l)}$ adalah SINR diterima oleh RB l . Perhitungan throughput sistem dimulai dengan tugas awal ($t = 0$) di mana setiap UE terhubung dengan eNB awal (baik eNB makro atau eNB pico) dan secara acak memilih subset RB untuk transmisi uplink, masing-masing UE akan melewati fase siklus pengorganisasian diri secara berurutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada tahap akhir, UE akan melakukan memperbaharui strategi sehingga dapat memaksimalkan utilitas sendiri, dan akhirnya meningkatkan throughput sistem.

B. Hasil Simulasi

Hasil percobaan skema pengorganisasian diri dengan berbagai nilai permutasi dari n_c dan n_r ditunjukkan seperti gambar 4.



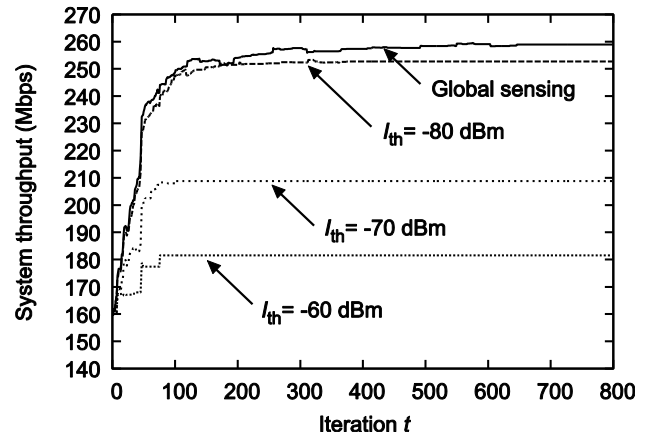
Gambar 4. Throughput sistem saat konvergen di berbagai permutasi n_c dan n_r

Percobaan tersebut dilakukan dengan mensimulasikan skema pengorganisasian diri dengan berbagai nilai permutasi n_c dan n_r dari fungsi utilitas seperti pada persamaan (4) sampai pada kondisi konvergen ke dalam kesetimbangan Nash. Dari gambar 12 menunjukkan perbaikan utilitas dengan nilai tertinggi ada pada kombinasi $n_c = 2$ dan $n_r = 6$.

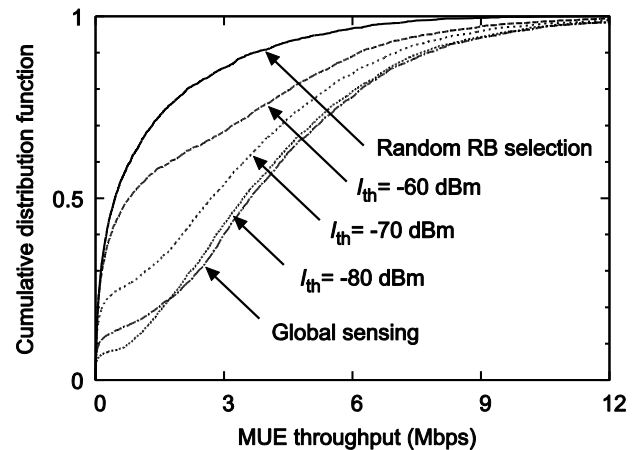
Hasil simulasi dari skema pengorganisasian diri yang diformulasikan kedalam permainan potensial dengan utilitas yang memiliki nilai $n_c = 2$ dan $n_r = 6$ menunjukkan adanya perbaikan kapasitas sistem dan konvergen kedalam kesetimbangan Nash seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Throughput sistem dalam keadaan konvergen akan semakin naik ketika nilai I_{th} dikurangi, sehingga terdapat trade-off antara throughput sistem dan radius pertukaran informasi.

Gambar 6 dan 7 menunjukkan cumulative distribution function (CDF) throughput uplink MUE dan PUE dari

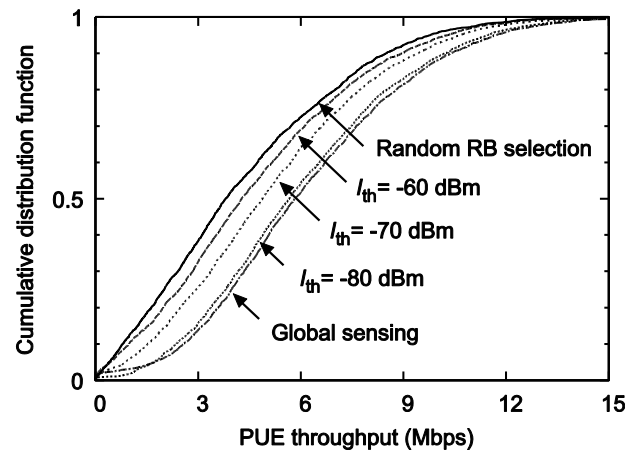
100 topologi jaringan yang berbeda dengan perbaikan utilitas. Throughput uplink MUE dan PUE dihitung berdasarkan rumus kapasitas Shannon seperti pada persamaan (7). Pada gambar tersebut menunjukkan kinerja throughput pada skema pemilihan RB secara acak (random RB selection) dengan akses tertutup lebih buruk dari pada skema lain, karena tidak terkoordinasi dalam mengurangi interferensi cross-tier dan co-tier. Skema yang diusulkan yang didasarkan pada sistem akses terbuka mencapai kinerja throughput yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemilihan RB secara acak.



Gambar 5. Throughput sistem dengan perbaikan utilitas



Gambar 6. CDF throughput uplink MUE



Gambar 7. CDF throughput uplink PUE

V. KESIMPULAN

Kerangka teori permainan dengan perbaikan utilitas untuk skema organisasi diri dalam pemilihan *base station* dan seleksi sumber daya untuk transmisi *uplink* OFDMA sel makro dan sel pico digunakan dalam penelitian ini. Setiap UE dengan teknologi kognitif radio di dalam jaringan heterogen LTE dapat bertindak sebagai entitas otonom yang dapat memilih *base station* serta menseleksi *resource block* yang paling tepat dengan cara terdesentralisasi untuk mengurangi interferensi *cross-tier* dan *co-tier* dan meningkatkan *throughput* sistem. Skema pengorganisasian diri yang diusulkan dimodelkan sebagai permainan potensial agar hasil permainan konvergen ke dalam kesetimbangan Nash selama permainan didistribusikan dengan cara bermain sekuensial berdasarkan strategi respon terbaik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema yang diusulkan dapat meningkatkan kapasitas sistem jaringan heterogen LTE dengan mengurangi beban sel makro dan interferensi *cross-tier* dan *co-tier*.

REFERENSI

- [1] Damnjanovic, A, Montojo, J, Yongbin Wei, dan Tingfang Ji, "A Survey on 3GPP Heterogeneous Networks" *Wireless Communications IEEE*, DOI: 10.1109/MWC.2011.5876496, 2011.
- [2] S. Brueck, "Heterogeneous networks in LTE-Advanced," *Proc. 8th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS '2011)*, pp.171-175, Aachen, Germany, November. 2011.
- [3] 3GPP TR 36.814 v9.0.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancement of E-UTRA physical layer aspects (Release 9)," Maret. 2010.
- [4] V. Chandrasekhar, J. Andrews, dan A. Gatherer, "Femtocell networks: A survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, pp. 59-67, September. 2008. 3GPP TR 36.814 v9.0.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancement of E-UTRA physical layer aspects (Release 9)," Mar. 2010.
- [5] I. W. Mustika, Agus Nurcahyo, Widyawan, dan Koji Yamamoto, "A Game-Theoretic Framework for Joint Base Station and Resource Selection in LTE Heterogeneous Networks," *Proc. APCC '14*, Bali, Indonesia, Agustus 2014.
- [6] Claussen, "Performance of macro- and co-channel femtocells in a hierarchical cell structure," *Proc. 18th IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC '07)*, vol. 1, pp. 1-5, Athens, Greece, September. 2007.
- [7] Y. Li, M. Peng, dan W. Hu, "Adaptive heterogeneous interference coordination algorithm in uplink LTE-Advanced systems," *Proc. 23rd IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC '12)*, pp. 536-540, Sydney, Australia, September. 2012
- [8] S.-Y. Lien, C.-C. Tseng, K.-C. Chen, dan C.-W. Su, "Cognitive radio resource management for QoS guarantees in autonomous femtocell networks," *Proc. IF:FE ICC '10*, Cape Town, South Africa, Mei 2010.
- [9] D. Lepez-Perez, A. Ladanyi, A. Kuttner, dan J. Zhang, "OFDMA femtocells: A self-organizing approach for frequency assignment," *Proc. IF:FE PIMRC '09*, pp. 2202-2207, Tokyo, Japan, September. 2009.
- [10] D. Choi, P. Monajeni, S. Kang, dan J. Villaseñor, "Dealing with loud neighbors: The benefit and tradeoff of adaptive femtocell access," *Proc. IFFE GLOBECOM '08*, New Orleans, LA, USA, Desember. 2008.
- [11] D. Das dan V. Ramaswamy, "Co-channel femtocell-macrocell deployments - Access control," *Proc. IEEE VTC '09-Fall*, Anchorage, Alaska, USA, September. 2009.
- [12] I. W. Mustika, K. Yamamoto, H. Murata, dan S. Yoshida, "Potential game approach for self-organization scheme in open access heterogeneous networks," *Proc. Crowncom '11*, Osaka, Japan, Juni 2011.
- [13] M. Voorneveld, "Best-response potential games," *Economic Letters*, vol. 66, pp. 289-295, Maret. 2000.
- [14] D. Fudenberg dan J. Tirole, *Game Theory*. MIT Press, 1991.
- [15] D. Monderer dan L. S. Shapley, "Potential games," *Journal of Games and Economic Behavior*, vol. 14, pp. 124-143, Mei 1996.
- [16] J. Mitola, "Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio," *Doctor of Technology Dissertation*, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2000.
- [17] 3GPP TR 36.942 v10.1.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio frequency (RF) system scenarios (Release 10)," September. 2010.

Pakai-Ulang Frekuensi Fraksional dengan Penjenjangan Berbeda untuk Layanan Upaya Terbaik pada Teknologi Selular LTE

Mulyana dan Budi Setiyanto

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika 2 Yogyakarta, 55281, Indonesia

mulyana@te.ugm.ac.id, budi@te.ugm.ac.id

Abstract—LTE (*Long Term Evolution*) technology is mainly designed for data traffic, and therefore its physical channel is based on BE (*Best Effort*) service. Physical channels which are granted to each UE (*User Equipment*) for carrying the traffic are organized as units called as RB (*Resource Block*). One unit of RB consists of a number of frequency and time slots. Each cell (sector) employs a number of RBs, depends on the frequency-reuse pattern and available bandwidth. FFR (*Fractional Frequency Reuse*) pattern is expected to improve the capacity. In FFR scheme, the available RBs in each cell are hierarchically split into several groups. The first group covers the whole cell area, but the remainder ones cover only narrower concentric areas.

This paper presents a comparison of capacity between two and three hierarchy-level FFRs applied for BE service in LTE network consisting six cells. Capacities are obtained by simulation using LTE-sim.

The results inform that FFR increases the capacity, with the three-level hierarchy gives better improvement than the two-level one.

Keywords—LTE, fractional frequency reuse, best effort, capacity.

Intisari—Teknologi LTE (*Long Term Evolution*) terutama dirancang untuk trafik data, dan oleh karena itu lapisan fisisnya berbasis layanan upaya terbaik. Kanal fisik yang dihibahkan ke masing-masing perangkat pengguna untuk mengangkut trafik diorganisasikan menjadi satuan-satuan yang disebut RB (*Resource Block*). Sebuah RB tersusun atas sejumlah alur frekuensi dan waktu. Masing-masing sel mengaryakan beberapa RB, tergantung pola pakai-ulang frekuensi yang dipakai dan lebar-pita yang tersedia. Pola pakai-ulang frekuensi fraksional diharapkan memperbaiki kapasitas. Pada pola ini, RB yang tersedia di setiap sel dipilah menjadi beberapa kelompok. Kelompok pertama meliputi seluruh wilayah cakupan sel, dan kelompok sisanya meliputi hanya sebagian wilayah-wilayah konsentris.

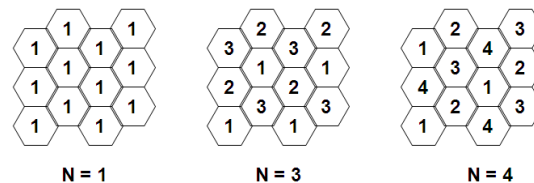
Makalah ini menyajikan perbandingan kapasitas FFR antara dua-jenjang dan tiga-jenjang untuk layanan upaya terbaik pada jaringan LTE yang memuat enam sel. Data kapasitas diperoleh melalui simulasi menggunakan LTE-Sim.

Hasil simulasi menginformasikan bahwa FFR mampu meningkatkan kapasitas, dengan hirarki tiga-jenjang memberikan peningkatan lebih baik daripada dua-jenjang.

Kata-kunci—LTE, pakai-ulang frekuensi fraksional, upaya terbaik, kapasitas.

I. PENGANTAR

Beberapa negara, termasuk Indonesia, sedang bersiap menggelar teknologi selular generasi keempat (4G), antara lain teknologi LTE. LTE dirancang terutama untuk menangani trafik data, dan oleh karena itu lapisan fisisnya beroperasi dengan ragam upaya terbaik (*Best Effort*, BE). Layanan suara dimungkinkan menggunakan VoIP (*Voice over Internet Protocol*) [1].



Gbr. 1. Pola pakai-ulang frekuensi tak-fraksional.

Simulasi [2 – 4] memperlihatkan bahwa pola pakai-ulang frekuensi berpengaruh terhadap kapasitas jaringan, dan pakai-ulang frekuensi secara fraksional (*Fractional Frequency Reuse*, FFR) mampu meningkatkan kapasitas VoIP maupun BE. Khusus yang berkaitan dengan FFR untuk layanan BE, simulasi tersebut menggunakan jaringan yang tersusun atas tiga sel, dengan di setiap sel diterapkan FFR dua-jenjang.

Makalah ini menyajikan hasil simulasi lebih lanjut, yakni berkaitan dengan pola penjenjangan pada FFR dalam layanan BE. Simulasi dilakukan dengan perangkat LTE-Sim. Sistem dua-jenjang [2][4] dan tiga-jenjang [5] dikembangkan dan dikaji lebih lanjut.

II. KILASAN BASIS TEORI

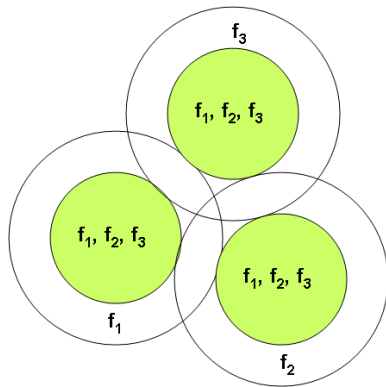
A. Pakai-Ulang Frekuensi

1) Pakai-Ulang Frekuensi Tak-Fraksional

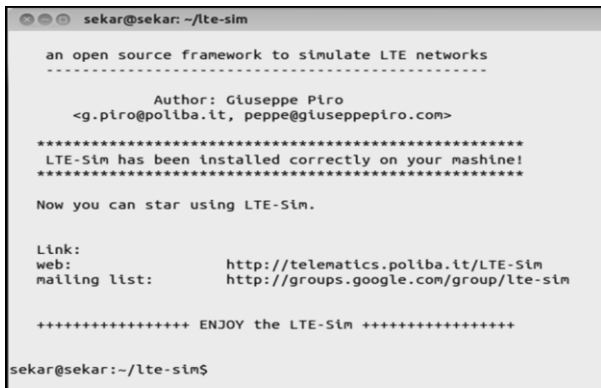
Lebar-pita (*bandwidth*) frekuensi yang tersedia dibagi menjadi N sub-pita, dengan N merupakan bilangan bulat yang nilainya mengikuti aturan tertentu, misalnya bernilai 1, 3, 4, atau 7 [6]. Maka, singkatnya, terbentuklah N kelompok (sub-pita) frekuensi, yakni f_1, f_2, \dots, f_N . Setiap sel beroperasi dengan salah satu diantara N frekuensi tersebut. Frekuensi yang telah dipakai oleh suatu sel dipakai lagi di sel-sel lain sepanjang aras interferensinya masih terjaga. Pola tak-fraksional ini diilustrasikan pada Gbr. 1.

2) Pakai-Ulang Frekuensi Fraksional

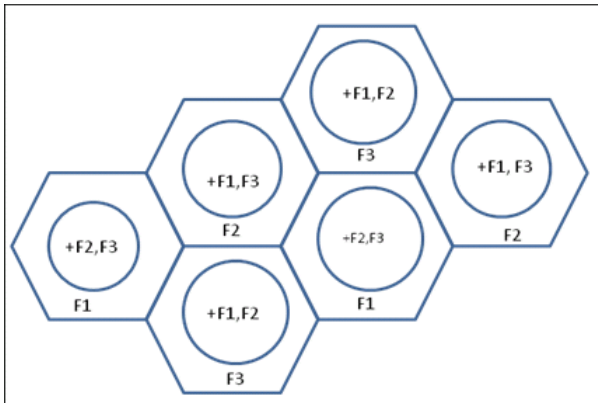
Dimisalkan $N = 3$ sehingga terdapat tiga frekuensi ($f_1, f_2, \text{ dan } f_3$), yang pada pola tak-fraksional menjadi seperti bagian tengah Gbr. 1. Diandaikan pula diterapkan FFR dua-jenjang. Dalam sistem dua-jenjang ini, setiap sel seolah-olah dipilah menjadi dua wilayah, yakni wilayah sekitar pusat dan wilayah pinggiran. Mula-mula, pola dengan faktor pakai-ulang frekuensi (*Frequency-Reuse Factor*, FRF) sebesar $1/3$ dioperasikan hingga mengikuti bagian tengah Gbr. 1. Kemudian, di semua sel, untuk wilayah sekitar pusat ditambahkan kedua frekuensi sel tetangga untuk dioperasikan pula. Andaikan tiga sel bertetangga disebut sebagai sel A, B, dan C, maka wilayah pinggir ketiga sel itu dilayani berturut-turut dengan satu sub-pita frekuensi $f_1, f_2, \text{ dan } f_3$, sedangkan wilayah sekitar tengah ketiga sel itu dilayani oleh seluruh ketiga frekuensi yang tersedia itu.



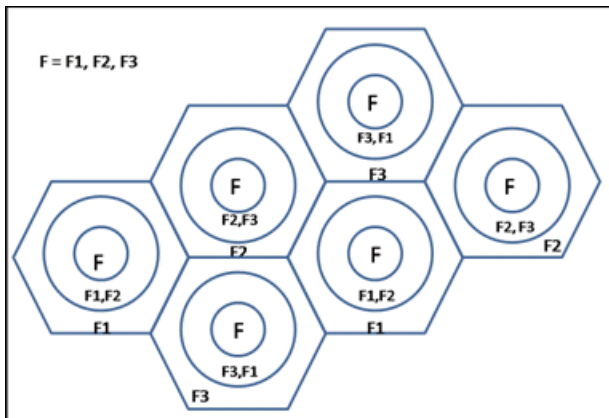
Gbr. 2. Pola FFR dua-jenjang [2].



Gbr. 3. Contoh tampilan menu LTE-Sim [5].



Gbr. 4. Enam sel dengan FFR dua-jenjang.



Gbr. 5. Enam sel dengan FFR tiga-jenjang.

Wilayah liputan frekuensi pada kasus FFR dua-jenjang seperti itu diilustrasikan pada Gbr. 2.

```

Simulation with SEED = -1
Scheduler PF
Created Cell, id 0, position: 0 0
Created Cell, id 1, position: 0 -866
Created Cell, id 2, position: 0 -1734
Created Cell, id 3, position: -750 -1299
Created Cell, id 4, position: -750 433
Created Cell, id 5, position: -750 -433
    
```

Gbr. 6. Koordinat pusat keenam sel [5].

TABEL I. BERBAGAI SKIM FFR UNTUK DUA-JENJANG

Skim	Daya Pancar BS (watt)			Goodput (Mbps) Hasil Simulasi
	P_A	P_B	P_C	
FRF = 1/3	6	0	0	16,1535
FFR #1	5,95	0,025	0,025	22,5105
FFR #2	5,5	0,25	0,25	27,2305
FFR #3	5	0,5	0,5	27,4410
FFR #4	4,5	0,75	0,75	27,9080
FFR #5	4	1	1	28,4453
FFR #6	3,5	1,25	1,25	28,8002
FFR #7	3	1,5	1,5	30,8552
FFR #8	2,5	1,75	1,75	31,3478
FFR #9	2,1	1,95	1,95	29,0385
FRF = 1	2	2	2	28,8010

TABEL II. BERBAGAI SKIM FFR UNTUK TIGA-JENJANG

Skim	Daya Pancar BS (watt)			Goodput (Mbps) Hasil Simulasi
	P_A	P_B	P_C	
FRF = 1/3	6	6	6	16,05870
FFR #1	5,971	0,015	0,014	20,42472
FFR #2	5	0,6	0,4	29,48434
FFR #3	3,5	2	0,5	34,64798
FFR #4	3	2	1	35,10830
FFR #5	2,5	2	1,5	34,75544
FRF = 1	2	2	2	30,80628

B. Sumber-Daya Kanal Fisis pada LTE

Pada arah turun (*down-link*, DL), yakni pancaran dari eNode-B ke UE, LTE menggunakan asup-jamak pembagian frekuensi ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*, OFDMA). Satuan terkecil sumber-daya fisis yang dihibahkan ke setiap UE disebut RB (*Resource-Block*). Satu RB tersusun atas sub-pita frekuensi selebar 180 kHz (yakni sebanyak 12 sub-kanal yang masing-masing selebar 15 kHz) selama alur waktu 0,5 ms (yakni selama tujuh simbol).

C. LTE-Sim

LTE-Sim [7] merupakan program *open-source* menggunakan bahasa C++. Contoh tampilan menu diperlihatkan pada Gbr. 3.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sistem yang Disimulasikan

1) Model Sistem

Disimulasikan konfigurasi enam sel untuk FFR dua-jenjang dan tiga-jenjang, berturut-turut seperti Gbr. 4 dan Gbr. 5. Tersedia tiga frekuensi, yakni f_1 , f_2 , dan f_3 , yang masing-masing memuat lima RB.

Dicontohkan sebuah sel pada FFR dua-jenjang. Jika lima RB pada frekuensi f_1 diharapkan meliputi satu sel penuh, maka lima RB pada f_2 ditambah lima RB pada f_3 diharapkan meliputi wilayah lebih sempit, yakni hanya wilayah tengah. Untuk melakukan hal ini, f_1 , f_2 , dan f_3 dipancarkan berturut-turut dengan daya P_A , P_B , dan P_C .

dengan $P_B = P_C < P_A$ sedemikian sehingga untuk setiap sel berlaku $P_A + P_B + P_C = P$, yang dalam simulasi ini ditetapkan $P = 6$ watt (37,76 dBm). Untuk FFR tiga-jenjang dibuatlah $P_C < P_B$.

Berbagai skim FFR dua-jenjang dan tiga-jenjang dirinci berturut-turut pada Tabel I dan II. Jarak antar pusat sel adalah 866 m (radius sel = 500 m). Keenam sel tersebut berturut-turut berada pada titik koordinat (0, 0); (0, -866); (0, -1732); (-750, -1299); (-750, 433; dan (-750, -433), sesuai hasil eksekusi program seperti diperlihatkan pada Gbr. 6. Model kanal radio mengikuti ITU Pedestrian A. Komposisi P_A , P_B , dan P_C dipilih secara intuitif, sejauh data yang diperoleh telah dapat memperlihatkan kecenderungan sifatnya. Pada tiga-jenjang (Tabel II), dengan lima skim ternyata telah diperoleh data yang memperlihatkan kejelasan kecenderungan. Pada dua-jenjang (Tabel I), untuk memperoleh pola kecenderungan hasil, ternyata diperlukan lebih banyak skim.

2) Realisasi Model dengan LTE-Sim

LTE-Sim telah mampu mensimulasikan pakai-ulang frekuensi tak-fraksional, namun belum mampu mensimulasikan FFR. Oleh karena itu, realisasi FFR memakai LTE-Sim ditangani dengan cara sebagai berikut.

Karena terdapat tiga frekuensi, yakni f_1 , f_2 , dan f_3 , maka sebuah konfigurasi dipandang sebagai gabungan *overlay* tiga konfigurasi. Konfigurasi pertama adalah enam sel dengan FRF = 1/3, masing-masing berdaya pancar terbesar (P_A). Konfigurasi kedua adalah enam sel dengan FRF = 1 pada salah satu frekuensi, masing-masing berdaya pancar lebih kecil (P_B). Konfigurasi ketiga adalah enam sel, juga dengan FRF = 1 pada salah satu frekuensi lainnya lagi dan masing-masing berdaya pancar lebih kecil pula (P_C). Jika $P_C = P_B$ diperoleh hirarki dua-jenjang.

Diambil contoh suatu skim FFR pada tiga-jenjang sesuai Gbr. 5 dengan menetapkan $P_A = 3,5$ W, $P_B = 2,0$ W, dan $P_C = 0,5$ W, dan tiap sel memuat 30 UE. Diperoleh hasil bahwa dengan 30 UE pada $P_A = 3,5$ W, total *goodput* enam sel adalah 15,9210 Mbps. Untuk $P_B = 2,0$ W dan $P_C = 0,5$ W total *goodput* berturut-turut adalah 13,1799 dan 5,7548 Mbps. Kapasitas total enam sel untuk skim ini dianggap sebesar $15,9210 + 13,1799 + 5,7548 = 34,8557$ Mbps. Nilai-nilai *goodput* ini sebenarnya merupakan rata-rata atas beberapa kali simulasi. Untuk berbagai cacah UE diperoleh hasil seperti Tabel III. Data dasar hasil simulasi sebenarnya tersedia dalam format seperti Tabel III ini.

B. Pengaruh Cacah Pengguna

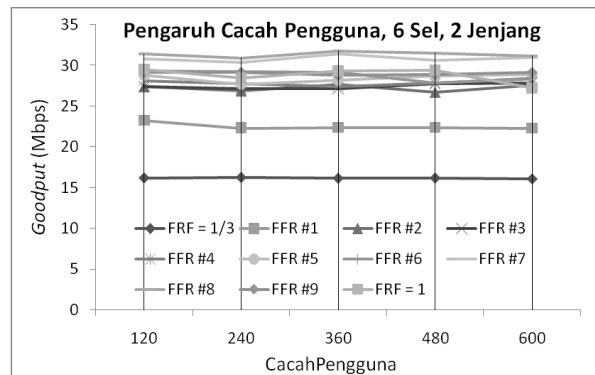
Tabel III secara sepiintas telah memperlihatkan bahwa *goodput* tidak bergantung cacah pengguna (UE). Gbr. 7 dan Gbr. 8 memperlihatkan keterkaitan antar keduanya untuk berbagai skim pakai-ulang frekuensi pada dua-jenjang dan tiga-jenjang. Tampak bahwa cacah pengguna memang hampir tak berpengaruh terhadap total *goodput*.

C. Pengaruh Daya Pancar BS

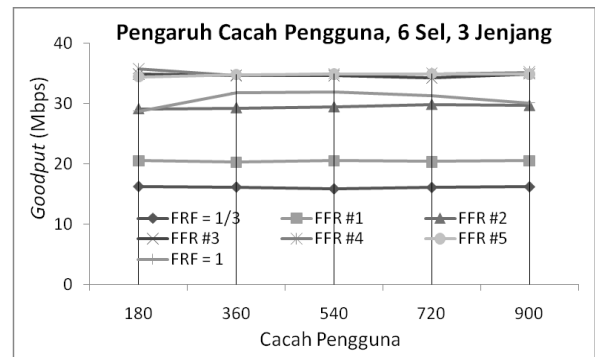
Nilai *goodput* pada Tabel IV dipungut dari baris terakhir table-tabel dasar (seperti Tabel III) pada daya yang bersesuaian. Misalnya, dari Tabel III, diperoleh *goodput*

TABEL III. CONTOH DATA DASAR HASIL SIMULASI

Cacah UE tiap Sel	Jaringan enam sel				
	Total Cacah UE	Goodput (Mbps)			Total
		Daya Tiap 5 RB (watt)			
		$P_A = 3,5$	$P_B = 2,0$	$P_C = 0,5$	
30	180	15,9210	13,1799	5,7548	34,8557
60	360	16,2728	12,6158	5,7173	34,6060
90	540	16,0231	12,7882	5,8344	34,6456
120	720	15,2265	13,0069	5,9823	34,2157
150	900	15,7848	13,2812	5,8508	34,9169
Rata-rata		15,8205	12,9744	5,8279	34,6480



Gbr. 7. Pengaruh cacah pengguna pada FFR dua-jenjang.



Gbr. 8. Pengaruh cacah pengguna pada FFR tiga-jenjang.

TABEL IV. GOODPUT PADA BERBAGAI ARAS DAYA PANCAR BS

Daya Pancar BS (watt)	Goodput (Mbps) tiap 5 RB	
	FFR 2-jenjang	FFR 3-jenjang
0,5	5,9226	5,8279
1,0	6,3338	6,3133
1,5	7,5753	6,2547
2,0	9,6003	12,9744
2,5	15,1285	15,5263
3,0	15,7047	15,8205
3,5	15,7673	15,8456
4,0	15,7776	Tak dicoba
4,5	15,9528	Tak dicoba
5,0	15,5959	16,1335
5,5	15,8566	Tak dicoba
6,0	16,1538	16,0587

untuk daya pancar BS sebesar 0,5 W (5,8279 Mbps), 2 W (12,9744 Mbps), dan 3,5 W (15,8205 Mbps). Dengan demikian, nilai daya yang tersedia adalah seperti yang terinci pada Tabel I dan II, yang memperlihatkan bahwa pada tiga-jenjang, ada beberapa nilai daya yang tidak dicoba.

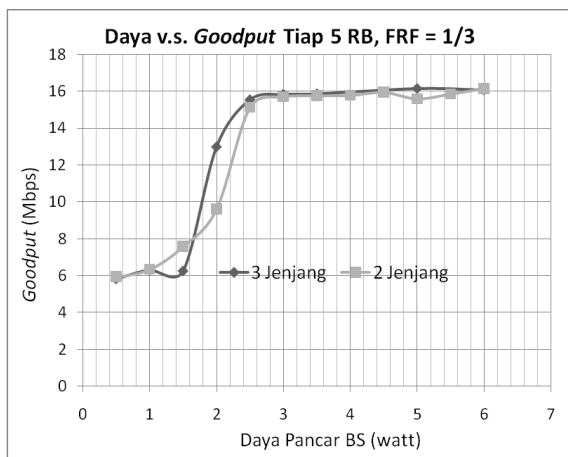
Kaitan antara daya pancar BS terhadap *goodput* disajikan pada Gbr. 9. Tampak bahwa pada rentang daya

antara sekitar 1 hingga 2,5 W, *goodput* meningkat signifikan, sebelum akhirnya memperlihatkan kejenuhan. Hal ini sejalan dengan teorem Shannon, yakni bahwa peningkatan kapasitas bersifat logaritmis terhadap daya (dengan asumsi derau tetap).

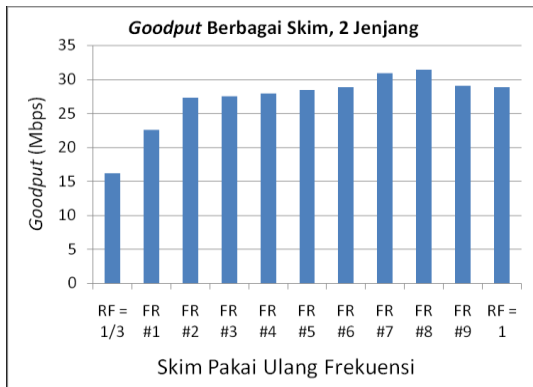
D. Kapasitas

Kolom paling kanan Tabel I dan II di depan merinci-kan *goodput* yang dihasilkan oleh skim pakai-ulang frekuensi yang bersangkutan. Secara grafis, rincian tersebut di-sajikan lebih lanjut pada Gbr. 10 dan 11.

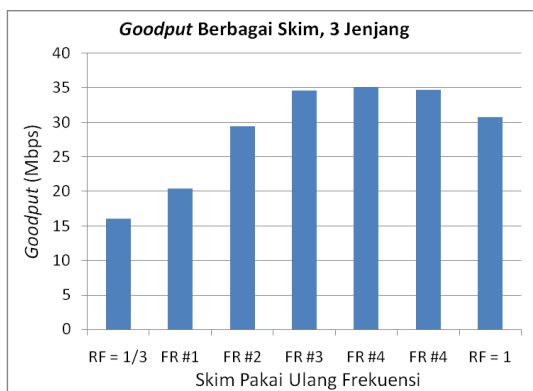
Sejalan dengan teorem Shannon, kapasitas meningkat dengan membesarnya lebar-pita, dan menurun dengan meningkatnya interferens/derau.



Gbr. 9. Pengaruh daya pancar BS.



Gbr. 10. Kapasitas pada FFR dua-jenjang.



Gbr. 11. Kapasitas pada FFR tiga-jenjang.

Pada $FRF = 1/3$, lebar-pita di sebuah sel hanyalah sepertiga atas keseluruhan yang tersedia, namun interfe-rens sekanal antar sel sangat kecil. Kondisi sebaliknya terjadi untuk $FRF = 1$, yakni bahwa lebar-pita menjadi penuh, namun interferens juga sangat besar. Kapasitas $FRF = 1$ lebih tinggi daripada $FRF = 1/3$ mengindikasikan bahwa peningkatan kapasitas akibat penambahan lebar-pita ternyata lebih signifikan daripada penurunannya sebagai akibat meningkatnya interferens.

Dengan menyetel komposisi P_A , P_B , dan P_C , terjadilah penyetelan lebar-pita dan interferens di area cakupan. Gambar 10 dan 11 memperlihatkan pola yang konsisten, yakni bahwa kapasitas FFR selalu lebih tinggi daripada $FRF = 1/3$. Ketika terjadi kompromi yang baik antara penambahan lebar-pita dengan pemburukan interferens, kapasitas tersebut bahkan mampu melebihi $FRF = 1$. Sebaliknya, pada beberapa skim, kapasitasnya lebih rendah daripada $FRF = 1$, meskipun tetap di atas $FRF = 1/3$.

Untuk FFR dua-jenjang, kapasitas tertinggi diperoleh pada skim FFR #8, yakni sebesar 31,3478 Mbps, yang berarti naik 8,8426 % terhadap $FRF = 1$ (28,8010 Mbps) dan 94,0623 % terhadap $FRF = 1/3$ (16,0587 Mbps).

Untuk FFR tiga-jenjang, kapasitas tertinggi diperoleh pada skim FFR #4, yakni sebesar 35,10830 Mbps, yang berarti naik 13,9647 % terhadap $FRF = 1$ (30,8063 Mbps) dan 118,625 % terhadap $FRF = 1/3$ (16,1535 Mbps).

Nyatalah bahwa peningkatan yang diperoleh pada FFR tiga-jenjang lebih tinggi daripada FFR dua-jenjang.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan pertama dan utama hasil simulasi adalah bahwa peningkatan kapasitas yang diperoleh pada FFR tiga-jenjang lebih tinggi daripada FFR dua-jenjang, yakni berturut-turut sebesar 13,9647 % dan 8,8426 % (terhadap skim $FRF = 1$).

Kesimpulan kedua adalah bahwa untuk memperoleh kapasitas terbaik pada FFR, diperlukan pemilihan komposisi daya pancar tiap-tiap RB hingga ditemukan kompromi optimal antara lebar-pita dengan aras interferens. Hal ini menimbulkan dugaan bahwa penjenjangan yang makin halus (bukan sekadar dua atau tiga, namun hingga sebanyak cacah RB) berpeluang semakin meningkatkan kapa-sitas.

Kesimpulan ketiga adalah bahwa kapasitas total tidak tergantung cacah pengguna.

ACUAN

- [1] Dewanto, W. and I.B. Santosa, 2012, *Voice Service Quality of Broadband Cellular System*, International Conference on Information Technology and Electrical Engineering, 12 July 2012, Yogyakarta.
- [2] Mulyana dan B. Setiyanto, 2013, *Kapasitas Jaringan LTE dengan Pola Pakai-Ulang Frekuensi Tak-Fraksional dan Fraksional*, Conference on Information Technology and Electrical Engineering (CITEE), Oktober 2013, Yogyakarta.
- [3] Ambara, K.E., 2013, *Kapasitas dan Kualitas Jaringan LTE pada Berbagai Pola Pakai Ulang Frekuensi*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4] Asyifa, H., 2013, *Unjuk-Kerja Pakai Ulang Frekuensi secara Fraksional pada LTE*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro dan Tekno-

- logi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [5] Sekarsari, A., 2014, *Unjuk-Kerja Layanan Best Effort pada LTE dengan Pakai-Ulang Frekuensi Fraksional Tiga-Jenjang*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- [6] Rappaport, T.S., 1996, *Wireless Communication Principles and Practices*, Prentice-Hall, New Jersey.
- [7] G. Piro, L. A. grieco, G. Boggia, F. Capozzi, dan P. Camarda, 2010, "Simulatig LTE Cellular Systems: an Open Source Framework," *IEEE Transportation and Vehicular Technology*.

Unjuk Kerja Protokol AODV+ Pada Komunikasi V2V Dalam VANET

I Wayan Mustika, Jan Wantoro, dan Bimo Sunarfri Hantono

Program Studi S2 Teknik Elektro

Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

jan_s2te_12mail.ugm.ac.id, wmustika@ugm.ac.id, bhe@ugm.ac.id

Abstract — AODV+ is a routing protocol in MANET (Mobile Ad-hoc Network) that has ability to communicate with infrastructure network. Since the protocol is developed for MANET, it is important to know whether the protocol can be applied for VANET (Vehicular Ad-hoc Network). This research aims to explore the AODV+ protocol performance when it is in VANET environment. The simulation results reveal that the performance of AODV+ decrease compared to its predecessors when it is used vehicle to vehicle (V2V) communication.

Intisari—AODV+ merupakan protokol routing pada MANET yang memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dengan jaringan infrastruktur. Karena protokol dikembangkan dalam lingkungan MANET, perlu diketahui juga apakah protokol dapat diterapkan di lingkungan VANET. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja protokol AODV+ apabila digunakan pada lingkungan VANET. Dari hasil pengujian diketahui bahwa secara umum performa AODV+ mengalami penurunan dibandingkan dengan pendahulunya apabila digunakan pada skenario komunikasi V2V.

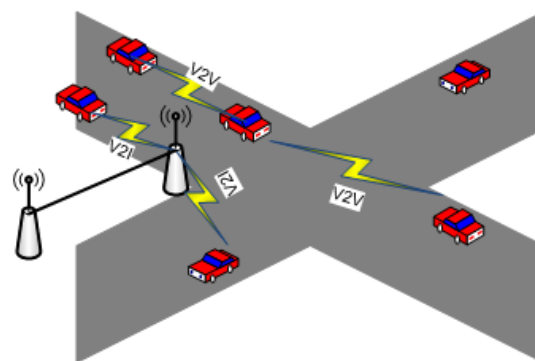
Kata kunci: VANET, V2V, AODV+

I. PENDAHULUAN

Komunikasi *vehicular ad-hoc network* (VANET) telah meningkat menjadi topik penelitian yang populer dalam bidang jaringan dan industri otomotif. Penelitian-penelitian VANET bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem komunikasi kendaraan agar mendapatkan kecepatan dan efisiensi biaya distribusi data bagi keamanan dan kenyamanan penumpang[1]. Untuk meningkatkan keamanan di dalam kendaraan, pengembangan teknologi *active safety* seperti *Vehicular Security Communication* (VSC) sangatlah penting, termasuk di dalamnya komunikasi *Vehicle-to-Vehicle* (V2V) sebagai pendukung komunikasi antar kendaraan yang bergerak dinamis serta komunikasi *Vehicle-to-Infrastructure* (V2I) yang memungkinkan kendaraan berkomunikasi dengan infrastruktur di sisi jalan[2], seperti ditunjukkan di Gambar 1. Sehubungan dengan itu, untuk mendukung berbagai aplikasi VSC seperti menghindari tabrakan, membantu perubahan jalur, dan peringatan terhadap kecelakaan, VSC haruslah memiliki kinerja yang baik.

Dalam *mobile ad-hoc network* (MANET) telah ditawarkan beberapa protokol *routing* yang dapat digunakan, salah satu protokol yang paling banyak dikembangkan dan diimplementasikan adalah protokol *routing* AODV[3]. Kemudian salah satu hasil pengembangan protokol tersebut sehingga memungkinkan *node* bergerak dapat terhubung dengan jaringan

infrastruktur adalah protokol *routing* AODV+[4]. Protokol ini memiliki kemampuan untuk menjadi *gateway* sehingga jaringan *ad-hoc* dapat berkomunikasi dengan jaringan infrastruktur. Namun, protokol AODV+ adalah protokol yang dikembangkan pada lingkungan MANET, sehingga belum diketahui unjuk kerjanya pada lingkungan VANET.



Gambar 1. Komunikasi V2V dan V2I

Walaupun MANET dan VANET sama-sama tidak membutuhkan keberadaan infrastruktur jaringan tetap, beberapa faktor yang membedakan secara jelas antara kedua model jaringan tersebut adalah bahwa VANET memiliki mobilitas *node* (kendaraan) yang lebih cepat dan pola pergerakan yang terkontrol sesuai infrastruktur jalan yang dilalui, sedangkan MANET cenderung untuk bergerak bebas dan tidak dapat diprediksi arahnya. Di sisi lain, VANET memiliki sumber daya (terutama energi) yang lebih banyak, dibanding *mobile device* di MANET dengan sumber daya yang lebih terbatas penggunaan baterainya.

Untuk mendapatkan analisis yang tepat dari protokol dan aplikasi VANET yang dikembangkan, studi komunikasi kendaraan dalam konteks VANET biasanya didasarkan pada model simulasi[5]. Simulasi dilakukan karena adanya keterbatasan bila melakukan pengujian di lapangan sesungguhnya, bahkan tidak mungkin untuk dilakukan pada beberapa skenario, misalnya pada skenario yang membutuhkan banyak kendaraan dan pengemudi yang bergerak melalui jalan-jalan perkotaan, hal ini akan membutuhkan sangat banyak orang, peralatan dan biaya[6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja protokol AODV+ apabila digunakan pada lingkungan VANET, khususnya pengaruh keberadaan *gateway node* terhadap komunikasi V2V. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa V2V merupakan salah satu model komunikasi yang harus memiliki kinerja yang baik dalam rangka

meningkatkan keamanan dan kenyamanan di dalam kendaraan.

II. SIMULASI REALISTIS

Simulasi VANET terdiri dari dua elemen dasar yaitu *vehicular mobility* dan *network communications*, keduanya bergantung satu dengan yang lain karena pergerakan kendaraan mengakibatkan perubahan topologi jaringan secara dinamis[7]. Simulator jaringan harus memiliki spesifikasi rinci lapisan protokol jaringan, termasuk penerapan standar komunikasi baru untuk lapisan PHY/MAC, seperti DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) dengan IEEE 802.11p dan IEEE WAVE (*Wireless Access in Vehicle Environments*)[8]. Selain itu, VANET *transport layer* harus mendukung *multi hop multicast/broadcast communications* dan mempertimbangkan protokol *routing* seperti AODV atau DSR[9].

Untuk membuat simulasi mobilitas yang realistis, beberapa parameter penting dalam simulasi jaringan *ad-hoc* yang harus ada adalah pada pergerakan *node*-nya, adanya model mobilitas berdasar topologi peta realistis yang mencerminkan perbedaan lebar dan jenis jalan dengan variasi batas kecepatannya. Selain itu, penghalang jalan dan keputusan berbelok di persimpangan juga akan berakibat pada tingkat kepadatan dan kumpulan kendaraan di jalan, termasuk juga perlambatan dan akselerasi yang harus di perhitungkan. Untuk membuat model mobilitas realistis dapat menggunakan aplikasi MOVE, dimana *output* dari MOVE adalah model mobilitas realistis dan dapat digunakan oleh simulator jaringan populer seperti NS2 dan Qualnet[1].

III. PROTOKOL AODV+

Protokol AODV+ merupakan protokol yang di dalamnya dikembangkan sebuah modul *gateway* yang didasarkan pada algoritma AODV standar[10]. *Gateway* membantu *node* dalam jaringan *ad hoc* sehingga bisa terhubung dengan jaringan infrastruktur. Dalam skenario ini, beberapa *node* memiliki kemampuan untuk menjadi *gateway* sebagai perantara jaringan *ad hoc* dengan jaringan infrastruktur. Selain *mobile node* dapat saling terhubung secara langsung, *mobile node* juga dapat terhubung dengan *node* yang berada dalam jaringan infrastruktur melalui *gateway* ini.

Ketika *gateway* menerima sebuah RREQ, *gateway* akan membandingkan tabel *routing* untuk alamat IP tujuan yang telah ditentukan dalam RREQ *message*. Jika alamat tidak ditemukan, *gateway* akan mengirimkan RREP dengan sebuah *flag T* (RREP_I) kembali ke pengirim RREQ tersebut. Di sisi lain, jika *gateway* menemukan tujuan dalam tabel *routing*, akan menyiarkan RREP seperti biasa, tetapi juga bisa dipilih untuk mengirim RREP_I kembali ke pengirim RREQ tersebut. Hal ini akan memberikan *mobile node* menggunakan *default route* meskipun tidak memintanya. Jika *node* bergerak perlu berkomunikasi dengan infrastruktur nantinya, *default route* sudah ditetapkan dan konsumsi proses karena pencarian oleh *gateway* dilain waktu dapat dihindari. Jika *mobile node* tidak menemukan rute yang valid ke tujuan dan jika

tujuan adalah *node* tetap atau infrastruktur, maka akan membuat atau memperbarui *route entry* untuk *node* tetap dalam tabel *routing* dan meneruskan paket data ke *gateway*.

Ada tiga mode agar *mobile node* mendapatkan jalur menuju *gateway*, yaitu proaktif, reaktif, dan hibrid.

A. Mode Proaktif

Gateway mengirimkan paket *advertisement* kepada *mobile node* di sekitarnya dengan interval waktu tertentu. *Mobile node* yang menerima *advertisement* segera memperbaharui tabel *routing*-nya yang menuju *default route* atau *gateway*, sehingga nantinya dapat digunakan ketika dibutuhkan untuk mengirimkan paket data menuju *node* infrastruktur.

B. Mode Reaktif

Tabel *routing* dengan tujuan *default route* bisa didapatkan suatu *mobile node* dengan melakukan *broadcast RREQ_I*. *Gateway node* yang menerima RREQ_I akan membalas dengan mengirim RREP_I kepada pemilik RREQ_I sehingga *mobile node* mengetahui rute menuju *gateway*. *Mobile node* mengirimkan RREQ_I ini jika akan mengirim paket menuju *node* infrastruktur tetapi belum memiliki *default route* atau *default route* yang dimiliki sebelumnya sudah terputus jalurnya.

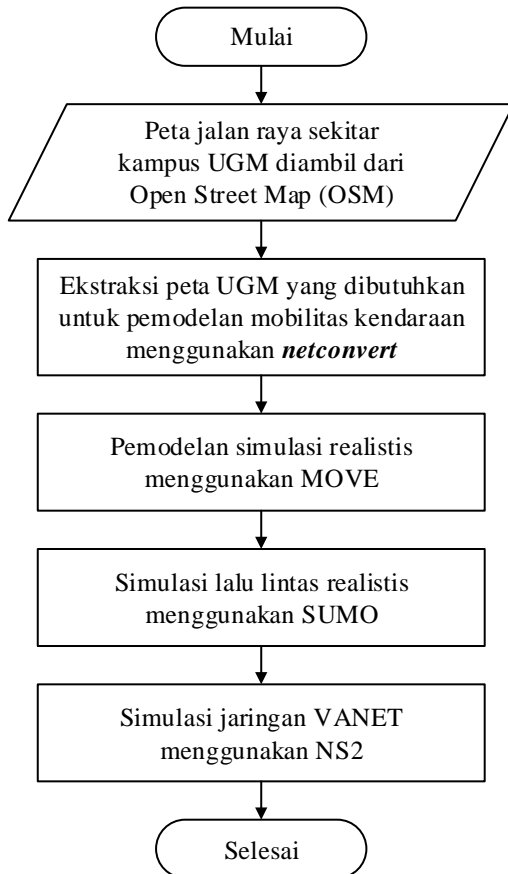
C. Mode Hibrid

Merupakan kombinasi antara kedua *mode* sebelumnya, sehingga *mobile node* yang ingin mendapatkan *default route* dapat menggunakan RREQ_I. Di sisi lain *mobile node* yang telah menerima *advertisement* dari *gateway*, tidak membutuhkan waktu lagi untuk melakukan pencarian jalur menuju *gateway* ini, sehingga dapat menghemat waktu pencarian rute dalam melakukan pengiriman paket menuju *node* infrastruktur.

IV. LANGKAH PENGUJIAN

Penelitian menggunakan topologi peta jalan raya di wilayah Universitas Gadjah Mada yang diambil dari *Open Street Map* (OSM). Peta ini digunakan untuk membuat topologi jalan dalam membuat simulasi mobilitas yang realistis. Setelah peta sebagai jalur mobilitas kendaraan ditentukan, pemodelan simulasi pergerakan kendaraan dan peta jalan dibuat dengan menggunakan aplikasi MOVE versi 2.92, kemudian model pergerakan kendaraan dijalankan menggunakan aplikasi SUMO versi 0.12.3. Selanjutnya hasil dari simulasi model pergerakan kendaraan digunakan dalam NS2 versi 2.33 sebagai model pergerakan *node*.

Urutan langkah dalam mengimplementasikan model simulasi dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 2. Setidaknya ada lima langkah yang harus dilakukan, dimulai dengan pengambilan peta jalan raya dari OSM sebagai infrastruktur jalan raya yang akan menjadi jalur lalu lintas kendaraan. Dikarenakan data peta dari OSM tidak semua diperlukan dalam simulasi, data peta harus dilakukan pemisahan antara data yang diperlukan dan yang tidak.



Gambar 2. Langkah Pembuatan Simulasi

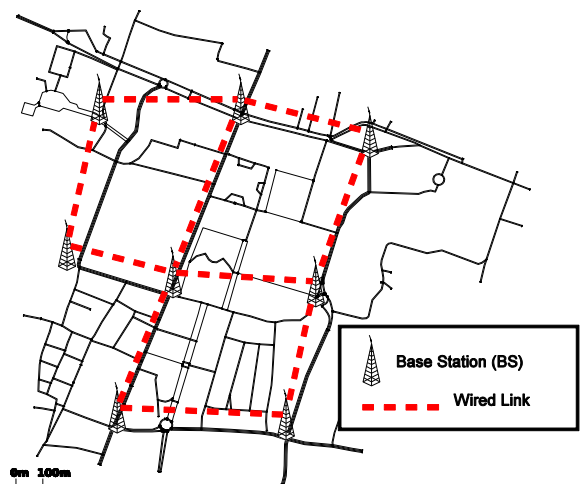
Peta realistis yang dibuat berdasar jalan raya di sekitar kampus UGM yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3. Peta ini dihasilkan dari data OSM dan telah dikonversi menggunakan aplikasi *netconvert* pada SUMO sehingga dapat menjadi jalur pergerakan kendaraan pada simulator. Dalam peta ini ditentukan juga titik-titik penempatan *node infrastruktur*, penempatan ini didasarkan pada keberadaan *traffic light* yang sudah ada pada jalan raya, dengan tujuan menempatkan *node infrastruktur* yang dekat dengan sumber daya yang sudah dimiliki infrastruktur jalan raya.

Dengan memperhitungkan jangkauan sinyal radio yang hanya 250 meter maka *node infrastruktur* ditempatkan dengan jarak kira-kira 500 meter, sehingga bila ada *traffic light* yang berdekatan, hanya ditempatkan satu *node infrastruktur* saja. Sebaliknya jika jarak antar *traffic light* terlalu jauh maka ditambahkan diantara kedua *traffic light* tersebut. Karena *node infrastruktur* merupakan sebuah jaringan tetap, maka selain terhubung dengan *mobile node* melalui *wireless*, *node infrastruktur* juga terhubung atau membentuk jaringan kabel dengan *node infrastruktur* lainnya.

Selanjutnya model pergerakan kendaraan dibuat menggunakan *randomTrips.py*, dengan jumlah kendaraan bervariasi dari 0 sampai 200 kendaraan pasif untuk menggambarkan kepadatan lalu lintas. Kendaraan yang pasif merupakan *node* yang tidak menjadi sumber atau penerima data tetapi dapat menjadi perantara dalam proses transmisi data secara *multi hop*. Selain menggunakan pergerakan kendaraan yang dibuat otomatis secara acak, ada dua kendaraan yang dibuat dengan jalur yang tetap

untuk semua skenario kepadatan kendaraan yang digunakan, kendaraan ini merupakan *node aktif* yang masing-masing menjadi pengirim paket (*node sumber*) dan penerima paket (*node tujuan*).

Skenario komunikasi V2V dibuat dengan menempatkan satu *node aktif* yang bergerak dari jalan yang berada di sisi kiri bawah menuju ujung jalan di sisi kanan atas melalui infrastruktur jalan yang sama untuk semua tingkat kepadatan kendaraan yang berbeda. *Node* ini bertugas untuk mengirimkan paket terus menerus menggunakan *constant bit rate (CBR)* menuju salah satu *node* bergerak lainnya. *Node* penerimanya bergerak dari jalan di kanan atas menuju kiri bawah pada peta jalan yang telah dibuat, yang artinya berlawanan arah dengan *node* pengirim data.



Gambar 3. Peta Jalan Raya Lingkungan Kampus UGM dan Jaringan *Node Infrastruktur*.

Pada pengujian protokol AODV+, digunakan ketiga mode *advertisement gateway* yang dimiliki untuk mengetahui pengaruhnya terhadap komunikasi V2V yang dilakukan. Di samping itu, AODV+ juga dibandingkan dengan protokol pendahulunya yaitu AODV asli yang belum dilakukan perubahan pada algoritme *routing*-nya, hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah performa AODV+ mengalami peningkatan atau penurunan dibandingkan dengan pendahulunya apa bila digunakan pada lingkungan VANET khususnya untuk komunikasi V2V. Kemudian parameter-parameter yang diberikan pada jaringan dan model simulasi yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 1.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Packet Delivery Fraction (PDF)

PDF merupakan rasio antara jumlah paket data yang berhasil diterima di tujuan dengan jumlah paket data yang dihasilkan pada sumber data [10]. Persamaan (1) digunakan untuk menghitung PDF.

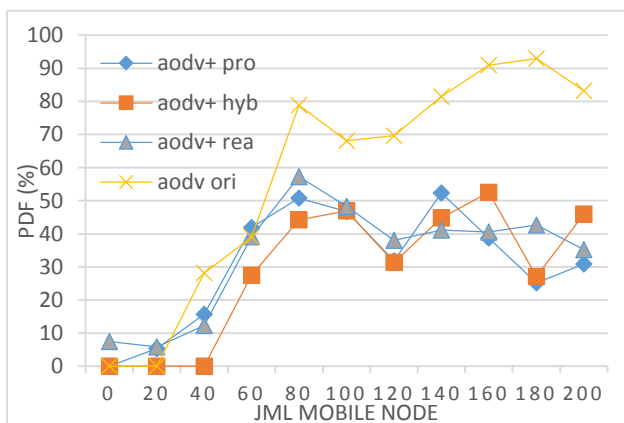
$$PDF = (\sum Data_R / \sum Data_S) * 100 \quad (1)$$

Dengan $\sum Data_R$ = data paket yang diterima oleh CBR agent pada node tujuan; $\sum Data_S$ = data paket dikirim oleh CBR agent di node sumber.

TABEL 1. PARAMETER JARINGAN DAN SIMULASI

Parameter	Nilai
Protokol routing	AODV+ dan AODV
Addressing Type	flat
Range transmission	250 meter
Waktu simulasi	200 detik
Area simulasi	1865x1720 meter
Jumlah mobile node	Bervariasi
Jumlah gateways	8
Jumlah node yang berkomunikasi	2
Wired link speed	100Mb
Traffic type	CBR
Packet rate	5 packet/s
Packet size	512 bytes
Advertisement zone	3

Dari hasil yang terlihat pada Gambar 4. dapat diketahui bahwa PDF pada skenario kendaraan yang sangat jarang memiliki persentase yang sangat kecil bahkan nol, hal ini dikarenakan *mobile node* tidak memiliki perantara komunikasi ketika mereka berjauhan, artinya tidak ada *mobile node* lain yang dapat meneruskan paket yang akan dikirimkan. Bahkan ketika kendaraan sedang bersimpangan, protokol *routing* masih kurang cepat dalam membuat jalur komunikasi, sehingga tidak ada satu pun paket yang ditransmisikan. Pada kepadatan kendaraan yang semakin meningkat, protokol AODV asli jauh lebih baik dari AODV+ pada semua mode *advertisement*. Ini artinya keberadaan *node* infrastruktur dan kemampuan AODV+ untuk berkomunikasi dengan jaringan infrastruktur justru mengurangi kemampuan komunikasinya dalam skenario V2V.



Gambar 4. Packet Delivery Fraction

B. Normalized Routing Load (NRL)

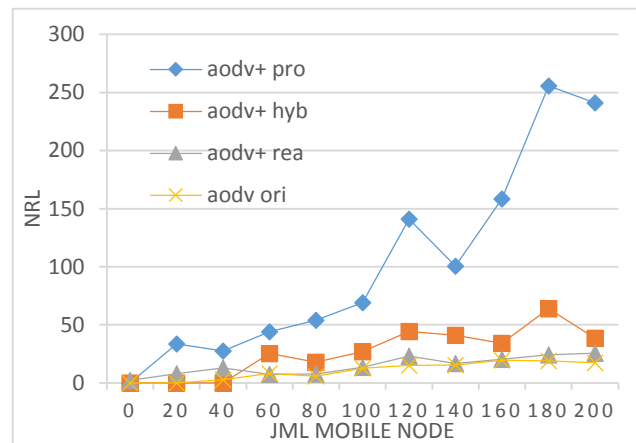
Untuk mengirim sebuah paket data ke tujuan, kemungkinan dibutuhkan pengiriman suatu paket kontrol terlebih dahulu untuk mendapatkan jalur komunikasi. *Normalized routing load* merupakan rasio antara total paket *routing* dengan total paket data yang diterima [10]. *Routing load* yang kecil menunjukkan performa aplikasi

yang baik. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung NRL.

$$NRL = \sum RTR_{pkt} / \sum CBR_{rcv} \quad (2)$$

Dengan RTR_{pkt} = total paket *routing*; $\sum CBR_{rcv}$ = total data yang diterima.

Dengan adanya paket *routing* diharapkan paket data akan segera mendapatkan jalur yang ingin dituju sehingga dapat dilakukan transmisi data, namun pada Gambar 5 terlihat jelas bahwa protokol AODV+ dengan mode proaktif memiliki NRL paling buruk dibandingkan dengan mode yang lain. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan dalam skenario simulasi, NRL pada protokol AODV+ dengan mode proaktif juga semakin tinggi meninggalkan tingkat NRL pada mode yang lainnya.



Gambar 5. Normalize Routing Load

VI. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa secara umum performa AODV+ mengalami degradasi dibandingkan dengan pendahulunya apabila digunakan pada skenario komunikasi antar *mobile node* (V2V) dalam VANET. Bahkan peningkatan performa yang terjadi pada AODV ketika dilakukan penambahan jumlah *mobile node* pasif, justru kebalikannya terjadi pada AODV+ khususnya mode proaktif yang mengalami peningkatan *routing load* tanpa diimbangi dengan peningkatan keberhasilan pengiriman paket yang dilakukan.

Dari skenario yang dibuat, keberadaan *node* infrastruktur yang memiliki kemampuan komunikasi secara *wireless* dan kabel sekaligus, terlihat justru mengurangi kinerja komunikasi V2V dalam VANET. Padahal jaringan infrastruktur yang terhubung dengan jalur kabel dan *wireless* hampir mencakup seluruh wilayah peta yang digunakan.

Demikian juga pada *routing load* yang cukup tinggi pada salah satu mode *advertisement gateway* pada AODV+ tidak memberikan efek yang lebih baik pada tingkat keberhasilan pengiriman paket data yang dilakukan. Idealnya dengan meningkatnya agen *routing* yang bekerja pada suatu protokol dalam jaringan *ad hoc* semakin meningkat pula kemampuan protokol untuk menemukan rute bagi paket-paket data yang harus dikirimkan.

Kombinasi V2V dan V2V pada AODV+ yang berarti menggabungkan jaringan kabel yang menyediakan

transmisi cepat dan konektivitas yang kuat (kemampuan routing yang kuat) dengan fleksibilitas komunikasi *ad-hoc* yang dapat berpindah dengan mudah, ternyata tidak menunjukkan hasil yang lebih baik pada kinerjanya. Dalam penelitian berikutnya akan dilakukan perbaikan protokol AODV+ agar mampu memanfaatkan jaringan infrastruktur untuk mendukung komunikasi V2V yang tidak dapat dilakukan oleh dua buah kendaraan yang saling berjauhan.

VII. REFERENSI

- [1] K. Lan and C.-M. Chou, "Realistic mobility models for Vehicular Ad hoc Network (VANET) simulations," presented at the 8th International Conference on ITS Telecommunications, 2008. ITST 2008, 2008, pp. 362–366.
- [2] J. Chennikara-Varghese, W. Chen, T. Hikita, and R. Onishi, "Local Peer Groups and Vehicle-to-Infrastructure Communications," presented at the 2007 IEEE Globecom Workshops, 2007, pp. 1–6.
- [3] H. El-Moshriy, M. A. Mangoud, and M. Rizk, "Gateway Discovery in Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing for Internet Connectivity," presented at the Radio Science Conference, 2007. NRSC 2007. National, 2007, pp. 1–8.
- [4] Ali and Hamidian, "A Study of Internet Connectivity for Mobile Ad Hoc Networks in NS 2," Lund University.
- [5] C. Sommer and F. Dressler, "Progressing toward realistic mobility models in VANET simulations," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 11, pp. 132–137, Nov. 2008.
- [6] L. Chen, S. Wei, and L. Shi, "Simulation of Vehicular Ad Hoc Networks with real city scenes," in *2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, 2011, pp. 163–166.
- [7] A. Grzybek, M. Seredynski, G. Danoy, and P. Bouvry, "Aspects and trends in realistic VANET simulations," presented at the World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2012 IEEE International Symposium on a, 2012, pp. 1–6.
- [8] Y. L. Morgan, "Managing DSRC and WAVE Standards Operations in a V2V Scenario," *Int. J. Veh. Technol.*, 2010.
- [9] E. S. C. M. A. E. Coronado Mondragon, C. E. Coronado Mondragon, F., and Mung'au, "Estimating the performance of intelligent transport systems wireless services for multimodal logistics applications," *Expert Syst Appl*, vol. 39, pp. 3939–3949, 2012.
- [10] S. I. Chowdhury, W.-I. Lee, Y.-S. Choi, G.-Y. Kee, and J.-Y. Pyun, "Performance evaluation of reactive routing protocols in VANET," presented at the 2011 17th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), 2011, pp. 559–564.