



**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI KECEPATAN
MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* PADA
KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN METODE
*FUZZY INFERENCE SYSTEM***

SKRIPSI

Oleh

**Abdul Kharis Ismail
NIM 151910201095**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI KECEPATAN
MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* PADA
KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN METODE
*FUZZY INFERENCE SYSTEM***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

**Abdul Kharis Ismail
NIM 151910201095**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang saya raih sebelum menuju kesuksesan selanjutnya dalam hidup saya. Dengan penuh rasa syukur dengan ketulusan hati saya persembahkan karya ini kepada :

1. Kedua orang tua saya ayahanda Alm. Abdul Manaf dan ibunda Umi Hanik yang tercinta terimakasih yang sangat berlimpah karena telah mendidik, membesarkan, memberi cinta dan kasih sayang serta doa yang tiada putus hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini, dan saya persembahkan gelar yang saya dapatkan untuk mereka.
2. Dosen Pembimbing Utama Bapak Bambang Sri Kaloko serta Dosen Pembimbing Anggota Bapak Widyono Hadi atas kesabaran dan keikhlasannya dalam membimbing saya menyelesaikan skripsi ini.
3. Saudara kandungku Novi Hanafianingrum dan Dicky Abdillah Sismi yang selalu menjadi penyemangat buat saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Tim Riset Mobil Listrik Titen Universitas Jember yang telah memberi banyak ilmu pengetahuan, pengalaman, kekompakan, kesabaran serta gelar kejuaraan mobil listrik.
5. Teman-teman Teknik Elektro Universitas Jember angkatan 2015
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTO

“Jika anda bangun di pagi hari dan berpikir masa depan akan lebih baik, ini adalah hari yang cerah. Jika sebaliknya, ini bukan hari yang cerah”

(Elon Musk)

“Tuhan tidak menuntut kita untuk sukses. Tuhan hanya menyuruh kita berjuang tanpa henti”

(Cak Nun)

“Berhentilah mengeluh! Jika pilihan sudah dijatuhkan tinggalah kita fokus pada pilihan itu, sepenuh hati tidak ada pikiran lain kecuali bekerja”

(Dahlan Iskan)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Abdul Kharis Ismail

NIM : 151910201095

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* Pada Kendaraan Listrik Menggunakan Metode *Fuzzy Inference System*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 06 Mei 2019

Yang menyatakan,

Abdul Kharis Ismail
NIM. 151910201095

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI KECEPATAN
MOTOR *BRUSHLESS DIRECT CURRENT* PADA
KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN METODE
*FUZZY INFERENCE SYSTEM***

Oleh

Abdul Kharis Ismail
NIM 151910201095

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Widyono Hadi, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* Pada Kendaraan Listrik Menggunakan Metode *Fuzzy Inference System*” karya Abdul Kharis Ismail telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Senin
Tanggal : 06 Mei 2019
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Ketua,

Anggota I,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP 197104022003121001

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 196104141989021001

Anggota II,

Anggota III,

H.R.B. Moch Gozali, S.T., M.T.
NIP 196906081999031002

H. Samsul Bachri M, S.T., M.MT.
NIP 196403171998021001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor *Brushless Direct Current*
Pada Kendaraan Listrik Menggunakan Metode *Fuzzy Inference System*

Abdul Kharis Ismail

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, inovasi baru terus berkembang, salah satunya di bidang transportasi. Alat transportasi di dunia berlomba-lomba dalam pengembangan teknologi alat transportasi, baik kendaraan beroda empat atau beroda dua, yang berbasis teknologi elektrik. salah satunya penggunaan motor *Brushless Direct Current* dalam kendaraan listrik karena memiliki beberapa keunggulan dari pada motor *Direct Current* biasa, keunggulan tersebut antara lain adalah memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan tidak menggunakan sikat sehingga bisa tahan lama. Pada penelitian menggunakan metode *Fuzzy Inference System* dan tanpa menggunakan metode *Fuzzy Inference System*. Hasil efisiensi sistem pengendali menggunakan metode *Fuzzy Inference System* lebih efisien dari pengujian dengan lintasan sejauh 2400 m diperoleh energy dalam satuan Wh yang dikeluarkan sebesar 6,3 Wh dengan waktu tempuh 8 menit sehingga efisiensi jarak tempuh per energi sistem pengendali ini sebesar 380,95 km/kWh.

Kata kunci : Teknologi Elektrik, *Brushless Direct Current*, *Fuzzy Inference System*, Efisiensi.

Design of Speed Control System of Brushless Direct Current Motor in Electric Vehicle Using Fuzzy Inference System Method

Abdul Kharis Ismail

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember

ABSTRACT

Along with the development of increasingly advanced technology, new innovations continue to develop, one of which is in the field of transportation. Transportation equipment in the world is competing in the development of transportation equipment technology, both four-wheeled or two-wheeled vehicles, which are based on electrical technology. one of them is the use of Brushless Direct Current in electric vehicles because it has several advantages over ordinary Direct Current motors, these advantages include having a higher efficiency and not using a brush so that it can last longer. In the study using the Fuzzy Inference System method and without using the Fuzzy Inference System method. The results of controlling system efficiency using the Fuzzy Inference System method are more efficient than testing with a path as far as 2400 m obtained energy in Wh units issued by 6.3 Wh with a travel time of 8 minutes so that the efficiency of the controlling system energy distance is 380.95 km / kWh.

Keywords : *Electrical Technology, Brushless Direct Current, Fuzzy Inference System, Efficiency.*

RINGKASAN

Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* Pada Kendaraan Listrik Menggunakan Metode *Fuzzy Inference System*; Abdul Kharis Ismail; 151910201095; 2019; 78 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Motor *Direct Current* adalah jenis motor yang paling banyak digunakan hal ini dikarenakan kemudahan dalam pengendalian kecepatan. Namun pada motor *Direct Current* menggunakan komutator mekanik yaitu sikat sehingga memiliki rugi-rugi gesekan pada komutator serta pemeliharaan yang rutin atau penggantian sikat secara berkala. Untuk mengatasi masalah tersebut, dipilih motor *Brushless Direct Current* karena memiliki beberapa keunggulan dari pada motor *Direct Current* biasa, keunggulan tersebut antara lain adalah memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan tidak menggunakan sikat sehingga bisa tahan lama.

Sistem pengendali digunakan untuk optimalisasi kerja mesin listrik kendaraan. Sistem pengendali *Brushless Direct Current* jenis *Permanent Magnet* ini menggunakan motor dengan daya nominal sebesar 350 Watt, sedangkan tegangan sumber pada motor *Brushless Direct Current* yang digunakan sebesar 36 Volt DC dari sumber energi baterai. Dalam perancangan sistem pengendali motor *Brushless Direct Current* tanpa menggunakan metode FIS dan menggunakan metode FIS. Dalam pengujian dilakukan uji akselerasi, uji deselerasi dan uji efisiensi sistem pada sistem pengendali motor *Brushless Direct Current*.

Pada saat pengujian dinamis tanpa menggunakan metode FIS hasil efisiensi sistem dalam satuan jarak tempuh per energi yaitu dengan jarak total lintasan sepanjang 2400 m diperoleh energi yang dikeluarkan sebesar 6,7 Wh dengan efisiensi sistem dalam satuan jarak per energi sebesar 358,2 km/kWh. Sedangkan menggunakan metode FIS diperoleh energi yang dikeluarkan sebesar 6,3 Wh dengan efisiensi sistem dalam satuan jarak per energi sebesar 380,95 km/kWh.

SUMMARY

Design of Speed Control System of Brushless Direct Current Motor in Electric Vehicle Using Fuzzy Inference System Method; Abdul Kharis Ismail; 151910201095; 2019; 78 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Direct Current Motor is the type of motor that is most widely used this because of the ease of speed control. However, the Direct Current motor uses a mechanical commutator, the brush so that it has friction losses on the commutator and routine maintenance or regular brush replacement. To overcome this problem, the Brushless Direct Current motor is chosen because it has several advantages over ordinary Direct Current motors, these advantages include having a higher efficiency and not using a brush so that it can last longer.

The control system is used to optimize the work of the vehicle's electric engine. This Brushless Direct Current controller type Permanent Magnet uses a motor with a nominal power of 350 Watts, while the source voltage in the Brushless Direct Current motor is used as 36 Volts DC from the battery energy source. In designing the Brushless Direct Current motor controller system without using the FIS method and using the FIS method. In the test carried out acceleration test, deceleration test and system efficiency test on Brushless Direct Current motor controller system.

During dynamic testing without using the FIS method the results of system efficiency in units of mileage per energy, with a total distance of 2400 m along the track, the energy released is 6.7 Wh with system efficiency in distance per energy unit of 358.2 km / kWh. While using the FIS method, the energy released is 6.3 Wh with system efficiency in distance per energy unit of 380.95 km / kWh.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* Pada Kendaraan Listrik Menggunakan Metode *Fuzzy Inference System*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Bapak H.R.B. Moch Gozali, S.T, M.T. selaku dosen penguji I dan Bapak H. Samsul Bachri M, S.T., M.MT. selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini;
5. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan teknik elektro fakultas Teknik universitas Jember;
6. Ayahanda Alm. Abdul Manaf dan Ibunda Umi Hanik tercinta yang telah memberikan dorongan, semangat, kasih sayang, perhatian, kesabaran dan doa yang tak pernah putus demi mempermudah saya mencapai kesuksesan awal dalam perguruan tinggi serta terselesaikannya skripsi ini;

7. Semua keluarga di Malang ataupun di luar kota dan Saudara kandungku Novi Hanafianingrum dan Dicky Abdillah Sismi yang selalu memacu semangat penulis yang luar biasa dalam menyelesaikan skripsi ini;
8. Guru-guruku sejak sekolah dasar hingga perguruan tinggi;
9. Tim Riset Mobil Listrik TITEN Universitas Jember yang telah memberi banyak ilmu pengetahuan, pengalaman, kekompakan, kesabaran serta gelar kejuaraan mobil listrik tingkat nasional.
10. Kawan-kawan D15TORSI yang sangat membantu, menjadi teman dan memberi semangat dari awal menjadi keluarga besar di teknik, semoga kekompakan tetap terjaga dan bisa mencapai sukses bersama;
11. Teman-teman laboratorium Teknik Elektro yang selalu menjadi rekan dalam belajar didunia Teknik Elektro;
12. Teman satu kos Sumberalam J-11 Adit, Zulfikar, Thofiq, Mas Al, Mas Soim semoga sukses selalu serta segenap keluarga G-Tech semoga selalu diberi kesehatan;
13. Teman dari Fakultas Keperawatan Laraswati Ayuning Luky yang selalu membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, selalu memberi semangat, dan selalu mengingatkan segala sesuatu untuk kebaikan. Semoga sukses selalu, diberi kelancaran dan kesehatan;
14. Pejuang 8 semester Mur, Fadea, Ayik, Faza, Arya, Ita yang selalu menjadi rekan dalam pengerjaan skripsi ini untuk selesai di semester 8 semoga sukses selalu, dan selalu diberi kesehatan;

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini, Terima Kasih.

Jember, 06 Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xi
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Motor <i>Brushless Direct Current</i>	5
2.10.1 Gambaran Umum Motor <i>Brushless Direct Current</i>	5
2.10.2 Sistem Motor <i>Brushless Direct Current</i>	6
2.10.3 Prinsip Kerja Motor <i>Brushless Direct Current</i>	7
2.2 <i>Inverter Tiga Fasa</i>	8

2.3 Metode Enam Langkah.....	9
2.4 Sensor Medan Magnet.....	10
2.5 ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA.....	12
2.6 Sensor Arus ACS712.....	13
2.7 Sensor Tegangan.....	14
2.8 Sensor Kecepatan Sudut.....	14
2.9 Baterai <i>Lithium Ion</i>.....	16
2.10 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>.....	18
2.10.1 Dasar Pembangkitan PWM secara Digital.....	18
2.10.2 Pengaturan Kecepatan dengan Kontrol PWM.....	21
2.11 IDE Arduino.....	23
2.12 <i>Fuzzy Inference System (FIS)</i>.....	24
2.12.1 Pengertian FIS.....	24
2.12.2 Himpunan <i>Fuzzy</i>	25
2.12.3 Fungsi Keanggotaan.....	25
2.12.4 Operator Logika <i>Fuzzy</i>	27
2.12.5 Fuzifikasi.....	27
2.12.6 Aturan Logika <i>Fuzzy</i>	28
2.12.7 Defuzifikasi.....	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian.....	30
3.2 Blok Diagram.....	32
3.2.1 Blok Diagram Sistem Kontrol.....	32
3.2.2 Blok Diagram Sistem Kelistrikan.....	32
3.3 Desain Sistem.....	33
3.3.1 Modul ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA.....	33
3.3.2 <i>Driver</i> MOSFET.....	34
3.3.3 <i>Inverter</i> Tiga Fasa.....	35
3.3.4 Motor <i>Brushless Direct Current Inwheel</i>	36
3.3.5 Baterai dan <i>Buck Converter</i> 12V.....	37

3.3.6	Desain Rangka Kendaraan	38
3.4	Perancangan Pengendali <i>Fuzzy Inference System</i> (FIS).....	38
3.4.1	Penentuan Masukan dan Keluaran FIS pada Matlab	39
3.4.2	Pengubahan Nilai Asli ke Bentuk Variabel <i>Fuzzy</i>	39
3.4.3	Penentuan <i>Rule Base Fuzzy</i>	40
3.4.4	Pengembalian Bentuk Variabel <i>Fuzzy</i> ke Bentuk Nilai Asli	41
3.5	Pengujian Alat.....	42
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Sistem Gerak Motor <i>Brushless Direct Current Sensored</i>	43
4.2	Analisa Pengujian Sinyal <i>Pulse Width Modulation</i>	44
4.3	Kalibrasi dan Pengujian Sensor	46
4.3.1	Sensor Tegangan	47
4.3.2	Sensor Arus	49
4.3.3	Sensor Kecepatan Sudut.....	52
4.4	Analisa Pengujian Sistem Pengendali Tanpa Kontrol dan Menggunakan Kontrol FIS.....	54
4.5	Pengujian Sistem Pengendali Statis	56
4.5.1	Akselerasi Statis	56
4.5.2	Deselerasi Statis	59
4.6	Pengujian Sistem Pengendali Dinamis	63
4.6.1	Akselerasi Dinamis	63
4.6.2	Deselerasi Dinamis.....	68
4.7	Pengujian Efisiensi Sistem Pengendali	70
4.7.1	Pengujian Efisiensi Sistem Pengendali <i>Open Loop</i>	70
4.7.2	Pengujian Efisiensi Sistem Pengendali <i>Close Loop</i>	73
BAB 5 PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	76
5.2	Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA		76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rotor dan Stator Motor *Brushless Direct Current* 5

Gambar 2.2 Rangkaian Ekuivalen Motor *Brushless Direct Current* 6

Gambar 2.3 Tegangan Stator BLDC 7

Gambar 2.4 *Inverter* 3 Fasa 9

Gambar 2.5 Penempatan Sensor Medan Magnet Pada Stator 10

Gambar 2.6 Modul ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA 12

Gambar 2.7 Sensor Arus ACS712 13

Gambar 2.8 Resistor Sebagai Pembagi Tegangan 14

Gambar 2.9 Mekanisme Penempatan Sensor *Hall Effect* 15

Gambar 2.10 Modul Sensor *Hall Effect* 15

Gambar 2.11 Proses Pembangkitan Sinyal 19

Gambar 2.12 *Clear Up* dan *Clear Down* 20

Gambar 2.13 Sinyal PWM Dengan Variasi *Duty Cycle* 21

Gambar 2.14 *Upper Phase* PWM 21

Gambar 2.15 *Lower Phase* PWM 22

Gambar 2.16 *Pre-Sixty Degree* PWM 22

Gambar 2.17 *Post-Sixty Degree* PWM 22

Gambar 2.18 Tampilan IDE Arduino 23

Gambar 2.19 Sistem Inferensi *Fuzzy* Dua Masukan Dengan Dua Aturan 24

Gambar 2.20 Fungsi Representasi Kurva Linier 25

Gambar 2.21 Fungsi Representasi Kurva Segitiga 26

Gambar 2.22 Fungsi Representasi Kurva Trapesium 26

Gambar 3.1 Flowchart Penelitian 31

Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem Kontrol FIS 32

Gambar 3.3 Blok Diagram Kelistrikan 32

Gambar 3.4 Rangkaian Modul ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA 33

Gambar 3.5 Rangkaian *Driver* MOSFET 34

Gambar 3.6 *Inverter* 3 Fasa 35

Gambar 3.7 Motor *Brushless Direct Current Inwheel* 36

Gambar 3.8 Baterai <i>Lithium Ion</i>	37
Gambar 3.9 Rangkaian <i>Buck Converter</i> 12V.....	37
Gambar 3.10 Desain Rangka Kendaraan	38
Gambar 3.11 <i>Flowchart</i> Program	41
Gambar 4.1 Grafik Kalibrasi Sensor Tegangan	49
Gambar 4.2 Grafik Kalibrasi Sensor Arus	51
Gambar 4.3 Grafik Kalibrasi Sensor Kecepatan Sudut	54
Gambar 4.4 Pengujian Respon Sistem Pengendali Tanpa dan Menggunakan Kontrol <i>Fuzzy</i>	55
Gambar 4.5 Perbandingan Akselerasi <i>Open Loop</i> Statis Target Dengan Kecepatan Terbaca.....	57
Gambar 4.6 Perbandingan Akselerasi <i>Close Loop</i> Statis Target Dengan Kecepatan Terbaca.....	59
Gambar 4.7 Perbandingan Deselerasi <i>Open Loop</i> Statis Target Dengan Kecepatan Terbaca.....	61
Gambar 4.8 Perbandingan Deselerasi <i>Close Loop</i> Statis Target Dengan Kecepatan Terbaca.....	62
Gambar 4.9 Perbandingan Akselerasi <i>Open Loop</i> Dinamis Target Dengan Kecepatan Terbaca	64
Gambar 4.10 Perbandingan Akselerasi <i>Close Loop</i> Dinamis Target Dengan Kecepatan Terbaca	66
Gambar 4.11 Perbandingan Deselerasi <i>Open Loop</i> Dinamis Target Dengan Kecepatan Terbaca	68
Gambar 4.12 Perbandingan Deselerasi <i>Close Loop</i> Dinamis Target Dengan Kecepatan Terbaca	69
Gambar 4.13 Perbandingan Pengujian <i>Open Loop</i> Dinamis Target Dengan Kecepatan Terbaca	71
Gambar 4.14 Grafik Daya Pada Pengujian Efisiensi <i>Open Loop</i>	71
Gambar 4.15 Perbandingan Pengujian <i>Close Loop</i> Dinamis Target Dengan Kecepatan Terbaca	73
Gambar 4.16 Grafik Daya Pada Pengujian Efisiensi <i>Close Loop</i>	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Logika Kebenaran Sistem <i>Switching</i> pada <i>Inverter Brushless Direct Current Clock Wise Direction</i>	11
Tabel 2.2 Spesifikasi ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA	12
Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Baterai <i>Lithium-ion</i>	17
Tabel 3.1 Spesifikasi Motor <i>Brushless Direct Current Inwheel</i>	36
Tabel 3.2 Spesifikasi Baterai	37
Tabel 3.3 <i>Rule Base</i>	40
Tabel 4.1 Pembacaan Sensor Medan Magnet Pada Motor	43
Tabel 4.2 Data Pengujian Sinyal <i>Pulse Width Modulation</i>	44
Tabel 4.3 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Tegangan	47
Tabel 4.4 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Arus	50
Tabel 4.5 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Kecepatan Sudut	52
Tabel 4.6 Data Pengujian Akselerasi Statis Tanpa Metode FIS	56
Tabel 4.7 Data Pengujian Akselerasi Statis Menggunakan Metode FIS	58
Tabel 4.8 Data Pengujian Deselerasi Statis Tanpa Metode FIS	60
Tabel 4.9 Data Pengujian Deselerasi Statis Menggunakan Metode FIS.....	61
Tabel 4.10 Data Pengujian Akselerasi Dinamis Tanpa Metode FIS.....	63
Tabel 4.11 Data Pengujian Akselerasi Dinamis Menggunakan Metode FIS...	65
Tabel 4.12 Data Pengujian Deselerasi Dinamis Tanpa Metode FIS	67
Tabel 4.13 Data Pengujian Deselerasi Dinamis Menggunakan Metode FIS ...	68

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin maju, inovasi baru terus berkembang, salah satunya di bidang transportasi. Kendaraan yang ramah lingkungan menjadi tren didunia. Alat transportasi didunia berlomba-lomba dalam pengembangan teknologi alat transportasi, baik kendaraan beroda empat atau beroda dua, yang berbasis teknologi elektrik. Yakni teknologi elektrik tidak menghasilkan gas sisa pembakaran yang dapat mencemari lingkungan serta tidak menimbulkan bising. (Nyoman S Kumara, 2009)

Hal ini dipicu oleh isu pemanasan global yang dihasilkan oleh alat transportasi mesin pembakaran dalam yang mendominasi sebagian besar dari penyebab terjadinya efek dari pemanasan global. Selain tidak ramah lingkungan, mesin pembakaran dalam yang menggunakan bahan bakar fosil yang tidak terkendali dapat mengakibatkan cadangan minyak bumi lama kelamaan akan habis. (Diaz Kusumawardani, 2017)

Motor *Direct Current* adalah jenis motor yang paling banyak digunakan hal ini dikarenakan kemudahan dalam pengendalian kecepatan. Namun pada motor *Direct Current* menggunakan komutator mekanik yaitu sikat sehingga memiliki rugi-rugi gesekan pada komutator serta pemeliharaan yang rutin atau penggantian sikat secara berkala. Untuk mengatasi masalah tersebut, dipilih motor *Brushless Direct Current* karena memiliki beberapa keunggulan dari pada motor *Direct Current* biasa, keunggulan tersebut antara lain adalah memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan tidak menggunakan sikat sehingga bisa tahan lama. (Rendy Aditya, 2014)

Motor *Brushless Direct Current* memiliki satu ciri khas yaitu terdapat *Controller* yang berfungsi untuk mendistribusikan arus dan tegangan, sesuai dengan kebutuhan satu kali putaran. Untuk mendapatkan medan magnet putar stator diperlukan sumber tegangan *Alternating Current* 3 fasa pada stator motor. Oleh karena itu digunakan *inverter* 3 fasa yang berfungsi untuk mengubah tegangan *Direct Current* menjadi tegangan *Alternating Current* 3 fasa. Untuk memperoleh

performa motor listrik dan pengendalian yang optimal, parameter masukan pada unit kontrol merupakan salah satu cara untuk meningkatkan performa dari motor *Brushless Direct Current*, sehingga keluaran yang diinginkan sesuai dengan kondisi riil dari kemampuan motor tersebut. (Eka Firmansyah, 2013)

Parameter yang digunakan untuk mengatur besar tegangan masukan ke motor dapat dilakukan dengan *Pulse Width Modulation*. Prinsip kerja *Pulse Width Modulation* adalah dengan mengatur persentase lebar pulsa *High* terhadap periode dari suatu sinyal. Namun agar nilai *Pulse Width Modulation* dapat diatur secara otomatis maka digunakan pembangkit *Pulse Width Modulation* secara digital. Berbagai metode dalam pengendalian motor *Brushless Direct Current* pada kendaraan listrik yang telah diusulkan dan masih dikembangkan hingga saat ini. Mungkin pada perkembangannya pada industri belum begitu menonjol untuk saat ini tetapi dengan perkembangan yang ada yaitu dengan menggunakan metode *fuzzy logic* dapat menjadi alternatif yang baik untuk dijadikan sebagai kontroler suatu sistem.

Metode *fuzzy logic* sebenarnya memiliki banyak keunggulan dalam penerapannya. Kontroler ini dapat beradaptasi jika terjadi perubahan masukan sistem secara tiba-tiba. Metode ini merupakan sistem kendali logika yang mana sistem logika yang fleksibel dirancang dengan tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang akan dikendalikan. Pengontrolan dengan sistem kendali logika *fuzzy* memiliki keuntungan dalam mengatasi permasalahan pada pengontrolan non linier dan adaptif. Sehingga diharapkan dalam penelitian ini dapat mengatur kecepatan motor *Brushless Direct Current* dengan baik pada kondisi tanpa beban dan kondisi berbeban serta melihat respon sistem kecepatan tetap stabil dan memiliki efisiensi yang tinggi dengan adanya pergantian beban yang bervariasi sesuai dengan keadaan lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian singkat dan latar belakang, maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain *Hardware* dan *Software* pengendali motor *Brushless Direct Current* menggunakan metode FIS ?
2. Bagaimana efisiensi penggunaan metode FIS dan tanpa metode FIS ?
3. Bagaimana kinerja sistem kontrol pengendali saat tanpa beban dan berbeban ?
4. Bagaimana pengaruh ketika parameter masukan berupa *throttle* yang digunakan diubah dengan nilai yang berbeda ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, maka batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Tidak membahas secara detail tentang konstruksi motor *Brushless Direct Current*.
2. Tegangan yang digunakan adalah 36V
3. Kecepatan sudut kendaraan maksimal adalah 200 RPM
4. Motor *Brushless Direct Current* yang digunakan memiliki daya nominal 350W.
5. *Rule base* pada metode FIS yang digunakan sebanyak 81 aturan.
6. Massa mobil dan joki tidak melebihi 100kg.

1.4 Tujuan

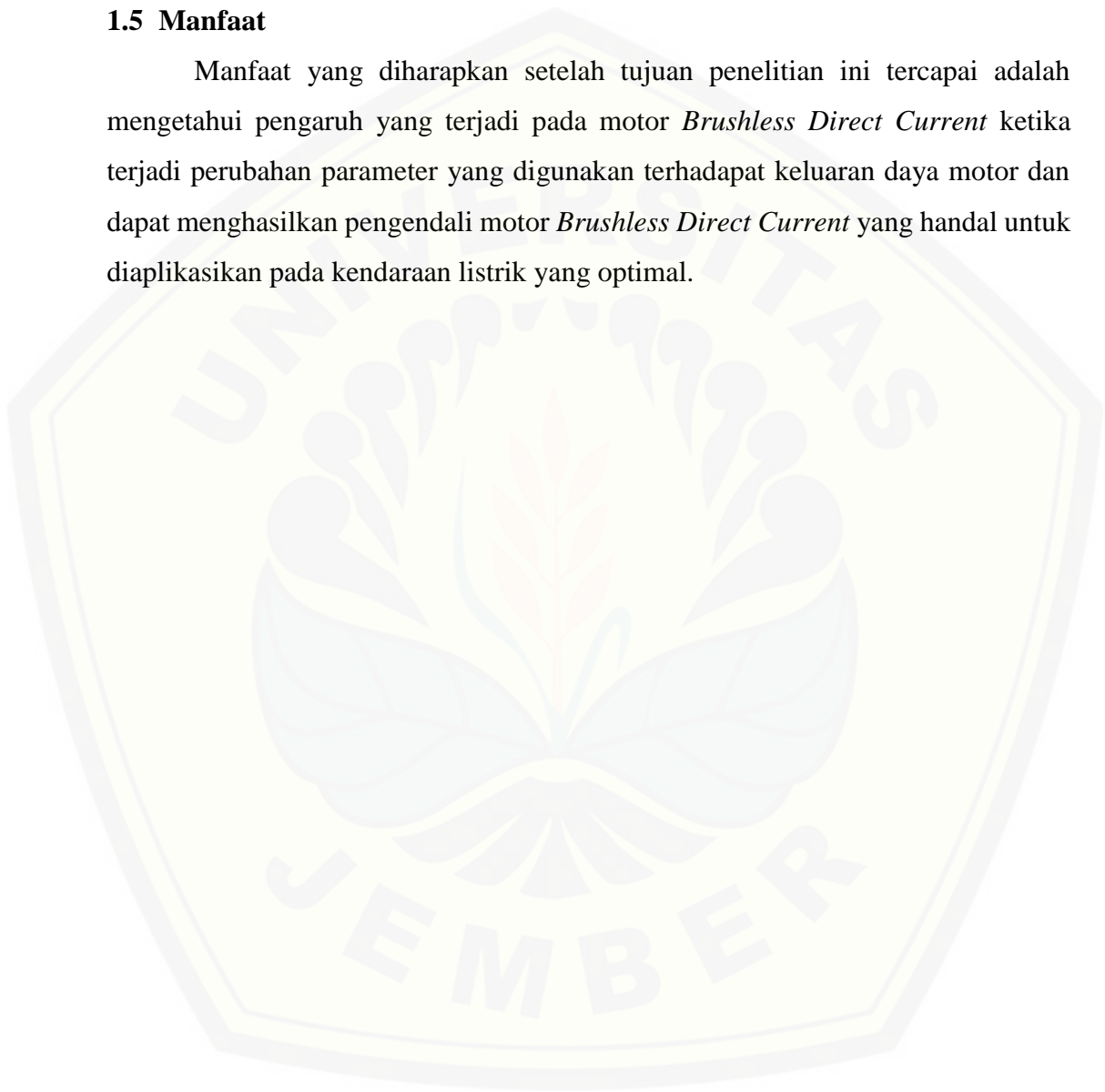
Dari persamaan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendesain *Hardware* dan *Software* pengendali motor *Brushless Direct Current* menggunakan metode FIS.
2. Mengetahui efisiensi penggunaan dengan metode FIS dan tanpa metode FIS.
3. Mengetahui kinerja dari sistem kontrol motor *Brushless Direct Current* yang telah dibuat.

4. Mengetahui pengaruh yang terjadi pada motor *Brushless Direct Current* ketika terjadi perubahan parameter masukan yang digunakan terhadap keluaran daya motor.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan setelah tujuan penelitian ini tercapai adalah mengetahui pengaruh yang terjadi pada motor *Brushless Direct Current* ketika terjadi perubahan parameter yang digunakan terhadap keluaran daya motor dan dapat menghasilkan pengendali motor *Brushless Direct Current* yang handal untuk diaplikasikan pada kendaraan listrik yang optimal.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor *Brushless Direct Current*

2.1.1 Gambaran Umum Motor *Brushless Direct Current*

Motor *Brushless Direct Current* merupakan motor sinkron, hal ini berarti bahwa medan magnet yang dihasilkan stator dan medan magnet yang dihasilkan rotor berputar pada frekuensi yang sama (Ali, n.d). Putaran pada rotor disebabkan oleh medan magnet pada stator yang pada setiap saatnya hanya aktif dua fasa (hanya dua fasa yang tersuplai pada setiap saat sementara satu fasa lainnya tak tersuplai). Beberapa keuntungan motor *Brushless Direct Current* dibandingkan dengan motor *Direct Current* biasa, antara lain sebagai berikut :

- a. Memiliki tingkat efisiensi yang tinggi.
- b. Lebih tahan lama karena tidak perlu melakukan perawatan terhadap sikat.
- c. Torsi awal dan kecepatan yang tinggi.
- d. Hampir tidak menimbulkan suara.

Secara umum motor *Brushless Direct Current* terdiri dari dua bagian, yaitu rotor merupakan bagian yang bergerak dan terbuat dari permanen magnet, sedangkan bagian satunya adalah stator merupakan bagian yang tidak bergerak dan terbuat dari kumparan 3 fasa (Nanang, 2014). Gambar dari stator dan rotor *Brushless Direct Current* dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Rotor dan stator motor *Brushless Direct Current*

Walaupun sumber tegangan yang diperlukan untuk memutar motor *Brushless Direct Current* adalah tegangan *Alternating Current* 3 fasa, motor ini tetap disebut dengan *Brushless Direct Current* karena pada implementasinya *Brushless Direct Current* menggunakan sumber *Direct Current* sebagai sumber

energi utama yang kemudian diubah menjadi tegangan *Alternating Current* 3 fasa dengan menggunakan *Inverter* 3 fasa. Tujuan dari pemberian tegangan *Alternating Current* 3 fasa pada stator motor *Brushless Direct Current* adalah menciptakan medan magnet putar stator untuk menarik magnet rotor (Kenjo, 2010).

2.1.2 Sistem Motor *Brushless Direct Current*

Motor *Brushless Direct Current* menghasilkan sebuah *Back Electro Magnetic Force* berupa trapesium. Resistansi stator pada semua lilitan diasumsikan sama, sedangkan induktansi diri dan induktansi mutual adalah konstan. Sehingga rumus tegangan tiga fasa dapat ditulis sebagai berikut.

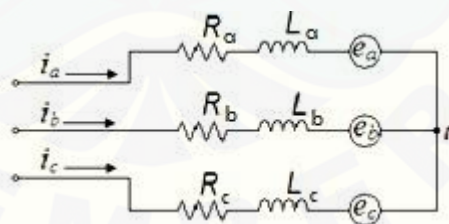
$$V_a = R_a I_a + \frac{dia}{dt} L_a + e_a \dots \dots \dots (2.1)$$

$$V_b = R_b I_b + \frac{dib}{dt} L_b + e_b \dots \dots \dots (2.2)$$

$$V_c = R_c I_c + \frac{dic}{dt} L_c + e_c \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : V_a, V_b, V_c = tegangan pada setiap fasa
 I_a, I_b, I_c = arus pada setiap fasa
 E_a, E_b, E_c = *back Electro Magnetic Force*

Pada gambar 2.2 berikut merupakan rangkaian ekivalen dari motor *Brushless Direct Current*.



Gambar 2.2 Rangkaian Ekivalen Motor *Brushless Direct Current*

Dalam kaitannya dengan interaksi arus pada lilitan stator dan medan magnet pada magnet rotor, torsi elektromagnetik dihasilkan di dalam motor BLDC (Pindoriya, Rajendran, & Chauhan, 2014).

2.1.3 Prinsip Kerja Motor *Brushless Direct Current*

Motor *Brushless Direct Current* dapat bekerja ketika stator yang terbuat dari kumparan diberikan tegangan *Alternating Current* 3 fasa. Akibat arus yang melewati kumparan pada stator timbul medan magnet (B) yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$B = \frac{\mu \cdot N \cdot I}{2 \cdot l} \dots \dots \dots (2.4)$$

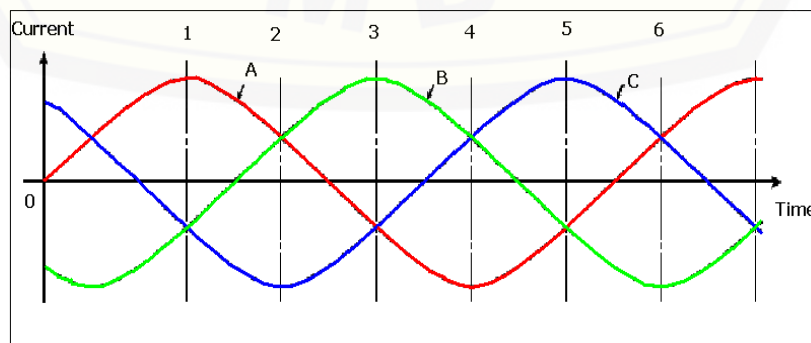
Dimana N merupakan jumlah lilitan, i merupakan arus, l merupakan panjang lilitan dan μ merupakan permeabilitas bahan. Nilai medan magnet dan polarisasi setiap kumparan akan berubah-ubah setiap saat. Akibat yang ditimbulkan dari adanya perubahan polarisasi tersebut dan besar medan magnet tiap kumparan adalah terjadinya medan putar magnet dengan kecepatan N_s :

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana f merupakan frekuensi tegangan masukan dinyatakan dalam Hz per satuan detik, p merupakan jumlah kutub (*pole*) pada rotor dan 120 didapat dalam 1 putaran (360°) per 3 fasa motor (Chritian & Nugraha, 2013).

Motor *Brushless Direct Current* berputar sebagai akibat dari interaksi magnet permanen pada rotor dengan medan magnet yang dihasilkan ketika tegangan *Direct Current* terhubung pada satu kumparan stator. Untuk menjaga rotasi, orientasi dari medan magnet di stator harus diputar secara berurutan. Hal ini dilakukan dengan menghubungkan tegangan DC pada kumparan stator berikutnya agar rotor berputar (Mpc, 2006).

Pada gambar 2.3 berikut ditunjukkan bentuk sinyal pada tegangan stator motor BLDC yang berupa sinyal tiga fasa.



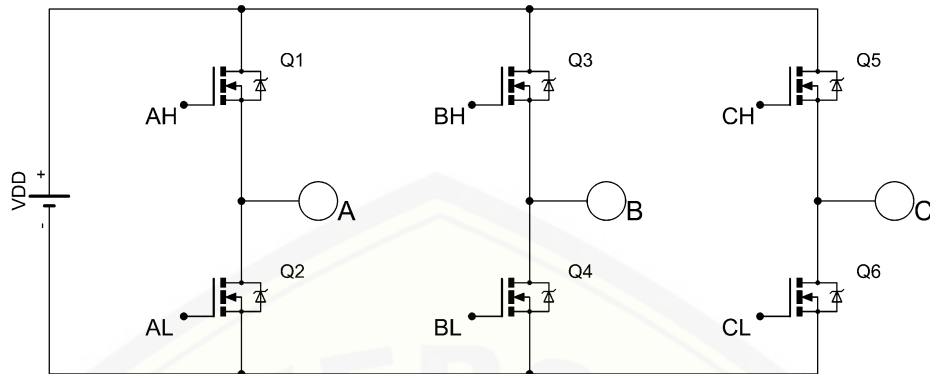
Gambar 2.3. Tegangan stator BLDC

Ketika stator A diberikan tegangan negatif maka akan timbul medan magnet dengan polaritas negatif sedangkan B dan C yang diberikan tegangan positif akan memiliki polaritas positif. Akibat adanya perbedaan polaritas antara medan magnet kumparan stator dan magnet rotor, sisi positif magnet rotor akan berputar mendekati medan magnet stator A, sedangkan sisi negatifnya akan berputar mengikuti medan magnet stator B dan C. Akibat tegangan yang digunakan berupa tegangan *Alternating Current* sinusoidal, medan magnet stator A, B, dan C akan berubah-ubah polaritasnya dan besarnya mengikuti perubahan tegangan sinusoidal *Alternating Current*. Ketika A dan B memiliki medan magnet negatif akibat mendapatkan tegangan negatif dan C memiliki medan magnet positif akibat tegangan positif, magnet permanen rotor akan berputar menuju ke polaritas yang bersesuaian yakni bagian negatif akan berputar menuju medan magnet stator C dan sebaliknya bagian positif akan berputar menuju medan magnet stator A dan B.

Selanjutnya ketika B memiliki medan magnet negatif dan A serta C memiliki medan magnet positif, bagian positif magnet permanen akan berputar menuju B dan bagian negatif akan menuju A dari kumparan C. Karena tegangan *Alternating Current* sinusoidal yang digunakan berlangsung secara kontinyu, proses perubahan polaritas tegangan pada stator ini akan terjadi secara terus menerus sehingga menciptakan medan putar magnet stator dan magnet permanen rotor akan berputar mengikuti medan putar magnet stator ini. Hal inilah yang menyebabkan rotor pada *Brushless Direct Current* dapat berputar (Dharmawan, 2009).

2.2 Inverter 3 Fasa

Inverter 3 fasa adalah rangkaian elektronika daya yang berfungsi mengubah tegangan searah / *Direct Current* menjadi tegangan bolak-balik / *Alternating Current* 3 fasa. Untuk motor *Brushless Direct Current* diperlukan *inverter* 3 fasa yang terdiri dari 6 komponen *switching*. Susunan dari keenam komponen *switching inverter* 3 fasa ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Inverter 3 fasa

Jenis mode operasi dari *inverter* jenis ini yaitu mode konduksi 120° . Agar dapat berputar, kumparan stator motor *Brushless Direct Current* yang aktif tiap *step*-nya hanya satu buah kumparan *on* dan satu buah kumparan lainnya *off* atau tidak teraliri listrik. Hal ini menyebabkan tiap *step*-nya hanya diperbolehkan dua buah *switch* saja yang aktif secara bergantian sehingga mode konduksi 120° yang digunakan. *Inverter* 3 fasa dengan mode konduksi 120° memungkinkan setiap komponen pensaklaran akan konduksi selama 120° dengan pasangan konduksi yang berbeda, 60° pertama antara AH-BL, dan 60° ke dua antara AH-CL, kemudian BH-CL, BH-AL, CH-AL, CH-BL, AH-BL dan siklus berulang kembali.

2.3 Metode Enam Langkah

Metode Enam Langkah atau biasa disebut dengan metode *Six-Step* merupakan metode yang digunakan dalam pengendalian motor *Brushless Direct Current*. Hal ini terjadi karena metode enam langkah sederhana sehingga mudah diimplementasikan. Hanya saja metode ini memiliki kelemahan yakni memiliki suara yang bising. Hal ini terjadi karena sinyal *Pulse Width Modulation* yang digunakan dalam metode enam langkah merupakan sinyal *Pulse Width Modulation* berbentuk kotak dengan frekuensi tertentu sehingga menciptakan gelombang *Alternating Current* yang berbentuk trapesium atau kotak. Akibat dari gelombang yang berbentuk kotak timbul gelombang harmonik. Oleh sebab itu gelombang harmonik inilah yang menyebabkan motor bising.

2.4 Sensor Medan Magnet

Dalam menentukan komutasi yang tepat berdasarkan metode enam langkah pada motor *Brushless Direct Current* agar didapatkan torsi dan kecepatan yang konstan, diperlukan 3 buah sensor medan magnet. Pada sensor medan magnet, waktu komutasi ditentukan dengan cara mendeteksi medan magnet rotor menggunakan 3 buah sensor medan magnet untuk mendapatkan 6 kombinasi waktu yang berbeda sesuai dengan metode enam langkah.

Sensor medan magnet dirancang untuk mendeteksi adanya objek magnetis dengan perubahan posisinya. Perubahan medan magnet yang terus menerus menyebabkan timbulnya pulsa yang kemudian dapat ditentukan frekuensinya, sensor jenis ini biasa digunakan sebagai pengukur kecepatan. Dalam penggunaannya pada motor *Brushless Direct Current* kapanpun kutub magnetik rotor utara atau selatan mendekati sensor medan magnet, maka akan menghasilkan sinyal *HIGH* atau *LOW*, yang mana dapat digunakan untuk mendeteksi posisi rotor. Posisi dari letak penempatan ketiga sensor medan magnet pada stator ditunjukkan pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Penempatan sensor medan magnet pada stator

Dengan menggunakan tiga sensor medan magnet, kombinasi kode 3 bit dapat diperoleh dengan nilai antara 1 sampai 6 sesuai dengan metode enam langkah. Masing-masing nilai kode menunjukkan sebuah bagian yang mana posisi rotor pada waktu sekarang berada. Dan dari masing-masing nilai kode ini memberikan sinyal

lilitan mana yang perlu dialiri listrik. Sehingga dapat dengan mudah merancang program untuk menentukan dua lilitan mana yang akan dialiri listrik sehingga mengakibatkan rotor berputar(Shao, 2003).

Pada tabel 2.1 berikut ini adalah daftar tabel logika kebenaran pada sistem *Switching Driver Brushless Direct Current* yang ditambahkan masukan logika *direction* untuk menentukan arah putar motor. Pada saat sensor medan magnet mendeteksi medan magnet maka dianalogikan 1 sedangkan apabila sensor medan magnet tidak mendeteksi adanya medan magnet maka dianalogikan 0. Pada saat arah maju (*Clock Wise Direction*) maka dianalogikan 1 sedangkan untuk arah mundur (*Counter Clock Wise Direction*) dianalogikan menjadi 0. Q1 sampai Q6 adalah masing-masing komponen *Switch* pada bagian *Inverter Brushless Direct Current*.

Tabel 2.1 Tabel logika kebenaran sistem *Switching* pada *Inverter Brushless Direct Current Clock Wise Direction*(Bambang Sujanarko, 2012)

Direction	Hall A	Hall B	Hall B	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q5
CW	1	0	1	1	0	0	0	1	0
	0	0	1	0	0	0	0	1	0
	0	1	1	0	0	0	1	0	0
	0	1	0	0	1	1	1	0	0
	1	1	0	0	1	1	0	0	1
	1	0	0	1	0	0	0	0	1
CCW	1	0	0	0	0	1	1	0	0
	1	1	0	0	0	1	0	1	0
	0	1	0	1	0	0	0	1	0
	0	1	1	1	0	0	0	0	1
	0	0	1	0	1	0	0	0	1
	1	0	1	0	1	0	1	0	0

2.5 ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA

Arsitektur ARM merupakan arsitektur prosesor 32 bit RISC yang dikembangkan oleh *ARM Limited*. Dikenal sebagai *Advanced RISC Machine*. Prosesor ini memiliki pin masukan dan keluaran sebanyak 54, yang mana terdiri dari 12 pin keluaran *Pulse Width Modulation*, 16 pin masukan analog dengan resolusi 12 bit, 1 pin analog keluaran, mempunyai *Internal Flash Memory* sebesar 512 kb, SRAM 96 kb, dan kecepatan *Clock Frequency* sebesar 84 MHz. ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA bekerja pada tegangan 3,3V. Gambar 2.6 berikut adalah modul ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA.



Gambar 2.6 Modul ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA

ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA tidak memerlukan *flash program eksternal* karena di dalam IC telah diisi dengan *bootloader* yang membuat proses *upload* program yang telah dibuat menjadi lebih sederhana dan cepat prosesnya. Untuk koneksi dengan komputer sudah tersedia *RS232 to TTL Converter* atau menggunakan *Chip USB ke serial Converter* seperti FTDI FT232.

Berikut ini adalah tabel spesifikasi dari ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA yang dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Spesifikasi ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA

ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA	
Prosesor	AT91SAM3X8EA
Tegangan Operasi	3,3 V
Tegangan Masukan	7-12 V
Pin Digital I/O	54
Pin Analog	16

Arus DC per I/O	20 mA
Flash Memory	512 kb
SRAM	96 kb
Clock Frequency	84 MHz

2.6 Sensor Arus ACS712

Sensor arus merupakan modul sensor arus untuk mendeteksi besar arus yang mengalir lewat terminal *block* menggunakan *current sensor chip* ACS712 yang memanfaatkan efek *hall*. Efek *hall* adalah fenomena fisika dimana aliran listrik atau elektron dalam pelat konduktor terpengaruh oleh paparan medan magnet,

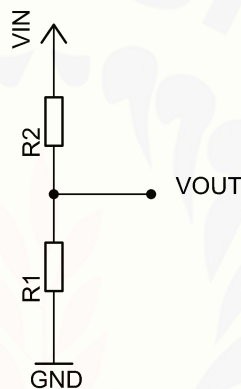
Besar arus maksimum yang dapat dideteksi sebesar 20A dimana tegangan pada pin keluaran akan berubah secara linear mulai dari 2,5 Volt ($\frac{1}{2} \times VCC$, tegangan catu daya $VCC = 5V$) untuk kondisi tidak ada arus hingga 4,5V pada arus sebesar +20A atau 0,5V pada arus sebesar -20A (positif/negatif tergantung polaritas, nilai di bawah 0,5V atau di atas 4,5V dapat dianggap lebih dari batas maksimum). Perubahan tingkat tegangan berkorelasi *linear* terhadap besar arus sebesar 100 mV / Ampere.



Gambar 2.7 Sensor Arus ACS712

2.7 Sensor Tegangan

Tegangan merupakan parameter dasar dalam dunia elektro baik digital maupun analog. Tegangan ini merupakan besaran analog jadi dalam elektro analog tegangan dapat langsung diolah, diproses atau dikonversi dalam bentuk atau level lainnya. Sedangkan dalam dunia digital tegangan akan dikonversi menjadi nilai diskrit dengan ADC (*Analog to Digital Converter*) atau jika dibalik dari digital ke tegangan analog harus menggunakan teknik DAC (*Digital to Analog Converter*). Dalam hal ini sensor tegangan merupakan dua resistor dengan prinsip pembagi tegangan.



Gambar 2.8 Resistor sebagai pembagi tegangan

Dari gambar di atas persamaan dalam sensor tegangan adalah :

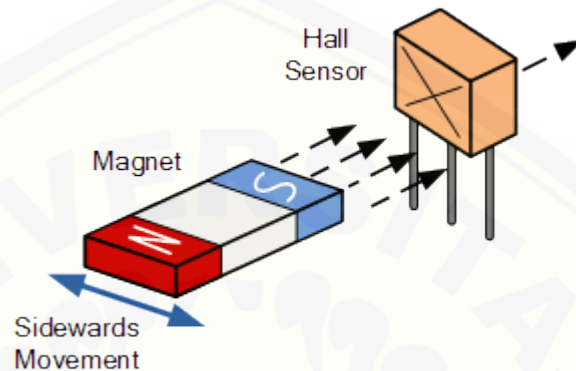
$$V_{OUT} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_{IN} \dots \dots \dots (2.6)$$

Karena tegangan yang terbaca ke mikroprosesor harus kurang dari 5V dan tidak boleh melebihi 5V maka V_{out} harus dibawah 5V dengan pengaturan nilai resistansi R_1 dan R_2 harus diatur tidak boleh melebihi 5V sebagai pembagi tegangan.

2.8 Sensor Kecepatan Sudut

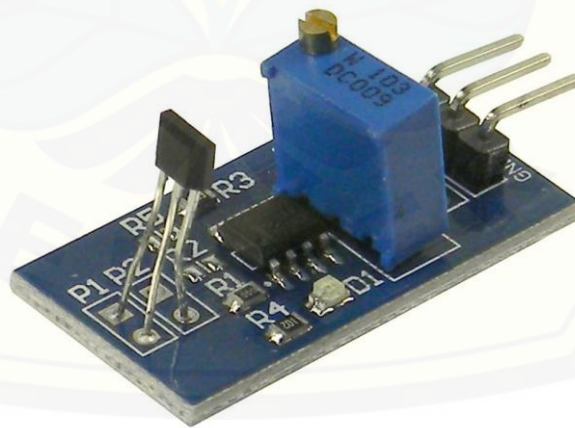
Untuk sensor kecepatan menggunakan menggunakan sensor *hall effect*. *hall effect* pada umumnya dikenal sebagai salah satu sensor kecepatan, karena pada dasarnya adalah suatu sensor yang dapat mendeteksi medan magnet. Ketika mendeteksi magnet sensor akan mengirim sinyal dan ketika tidak mendeteksi magnet memutus sinyal, karena posisi magnet ini diletakkan di bagian putaran roda

ini artinya setiap roda itu berputar tentunya dalam satu kali periode putaran penuh tentu akan satu kali sensor *hall effect* akan mendeteksi medan magnet, oleh karena itu waktu yang diperlukan *hall effect* ini dalam berputar untuk mendeteksi medan magnet ini yang akan dipakai dalam perhitungan dalam menentukan kecepatan putaran.



Gambar 2.9 Mekanisme penempatan Sensor *hall effect*

Pada sensor *hall effect* ini akan dipasang didepan perputaran roda yang mana berhadapan lurus dengan posisi magnet dan cara kerja dari sensor *hall effect* adalah menghitung putaran pada setiap putaran. Jika sensor *hall effect* mendeteksi magnet maka logika akan *high* dan sebaliknya jika sensor tidak mendeteksi magnet akan bernilai *low*.



Gambar 2.10 Modul sensor *hall effect*

2.9 Baterai *Lithium Ion*

Lithium Ion baterai merupakan tipe baterai *rechargeable* dimana *ion lithium* bergerak dari kutub negatif menuju positif selama proses *discharge* atau pemakaian dan akan mengalami hal sebaliknya ketika proses *charging* atau pengisian. Sifat kimia, *performa*, harga dan *factor safety* berbeda-beda diantara tipe baterai *lithium*.

Penggunaan baterai *lithium* saat ini menjadi hal umum di dunia terutama di sektor *consumer electronics*. Jenis baterai *rechargeable* ini sangat populer di dunia karena karakter *energy densities* yang baik, tidak ada *memory effect* dan hanya terjadi sedikit *energy losses* ketika baterai disimpan.

Selain banyak digunakan di sektor *consumer electronics*, *lithium* baterai juga banyak digunakan di bidang militer, mobil listrik dan aplikasi pesawat terbang. Riset untuk lebih mengembangkan teknologi baterai ini berfokus pada hal peningkatan *energy density*, daya tahan, biaya produksi dan keamanan.

Energy density dari *lithium-ion battery* lebih besar dua kali lipat dari baterai standar *nickel-cadmium* dan masih ada potensi untuk ditingkatkan di masa depan. Karakteristik *discharge* ketika diberi beban sangatlah baik dan memiliki perilaku yang sama dengan *nickel-cadmium*. Apabila kembali dibandingkan dengan baterai *nickel-cadmium* yang umum digunakan sebelumnya, besarnya *cell voltage* baterai *lithium-ion* yaitu 3,6 volt per *cell* membuat baterai ini bisa dipakai hanya dalam satu *cell* untuk keperluan alat-alat elektronik sementara baterai *nickel cadmium* membutuhkan jumlah 3 kali lebih banyak karena nilai *voltage per cell* hanya 1,2 volt per *cell*.

Baterai *lithium-ion* merupakan jenis *low-maintenance battery* yang merupakan sebuah keuntungan karena tidak terdapat pada jenis baterai lainnya. Tidak ada *memory effect* dan tidak memerlukan perlakuan *recycle energy* untuk memperpanjang *lifetime*. Ketika terbakar, baterai ini juga memberikan dampak yang lebih sedikit (Ario Wibawa Satria, 2012).

Tabel 2.3 Kelebihan dan kekurangan baterai *lithium-ion*

Kelebihan	Kekurangan
<i>Energy density</i> besar	Mebutuhkan <i>electronically circuit protection</i>
Tidak perlu <i>charging</i> lama saat baterai pertama kali digunakan. Cukup <i>charging regular</i>	Terjadi <i>aging</i> atau penuaan sejak selesai diproduksi
<i>Low-self discharge</i> . Kurang dari setengah dari <i>nickel-based battery</i>	Proses distribusi baterai yang ketat ketika dalam jumlah besar
<i>Low maintenance</i>	Mahal untuk diproduksi 40% lebih mahal dari <i>nickel-based battery</i>
Dapat mengeluarkan arus <i>discharge</i> yang besar untuk alat-alat seperti <i>power tools</i>	Komposisi kimia dapat berubah pada kondisi tertentu

Diluar berbagai keunggulannya tersebut, beberapa kelemahan juga dimiliki oleh baterai ini yakni baterai ini tergolong rapuh secara fisik dan membutuhkan *electronically circuit protection* eksternal untuk menjaganya tetap beroperasi secara aman.

Circuit protection ini berperan dalam menjaga dan membatasi nilai tegangan aman maksimal ketika proses *charging* serta menjaga dan membatasi nilai tegangan aman minimal ketika proses *discharging*. Fitur ini dalam *circuit protection* yaitu memonitor temperatur setiap cell untuk mencegahnya berada pada temperatur *ekstrem*.

Dari variabel arus, maksimum *charge* dan *discharge* baterai di setiap pack dibatasi antara 1C dan 2C. Dengan tindakan pencegahannya melalui *circuit protection* ini secara teoretikal kemungkinan penggunaan baterai *lithium-ion* sudah cukup aman.

Aging atau penuaan baterai adalah salah satu masalah yang belum teratasi oleh teknologi baterai ini. Semenjak selesai proses manufaktur dan keluar pabrik, baterai ini sudah memulai proses penuannya sendiri. Penurunan besar kapasitas baterai akan dimulai setahun setelah baterai selesai diproduksi dan akan terus menurun sepanjang waktu. Beberapa manufaktur melakukan klaim dua tahun

hingga tiga tahun semenjak proses produksi bahwa baterai *lithium-ion* sudah tidak layak meskipun hanya disimpan dan belum sekalipun digunakan.

Secara berkala, manufaktur baterai *lithium-ion* melakukan perbaikan untuk meningkatkan kualitas baterai. Kombinasi unsur kimia baru diperkenalkan hampir setiap enam bulan sekali dan dengan cepatnya hal tersebut berjalan sangat sulit untuk menilai seberapa baik *lifetime* baterai ini.

Penyimpanan pada temperatur rendah memperlambat proses penuaan baterai *lithium-ion*. Produsen baterai menganjurkan temperature penyimpanan pada 15⁰ C atau 59⁰ F. Baterai juga diperlukan *charging* 40% kapasitasnya selama proses penyimpanan.

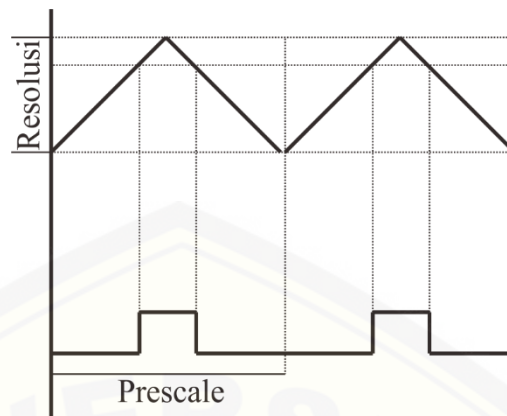
2.10 Pulse Width Modulation (PWM)

2.10.1 Dasar Pembangkitan PWM Secara Digital

Metode PWM adalah metode yang cukup efektif untuk mengendalikan kecepatan motor. Cara kerjanya adalah mengatur prosentase lebar pulsa *high* terhadap periode dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan periodik yang diberikan ke motor sebagai sumber daya. Semakin besar perbandingan lama sinyal *high* dengan perioda sinyal maka semakin cepat motor berputar.

Sinyal PWM dapat dibangun dengan menggunakan metode *analog* yakni dengan rangkaian *op-amp* atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi 2 pangkat 8 sama dengan 256, maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut. Pada perancangan *driver* ini, sinyal PWM akan diatur secara digital yang dibangkitkan oleh mikroprosesor ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA.

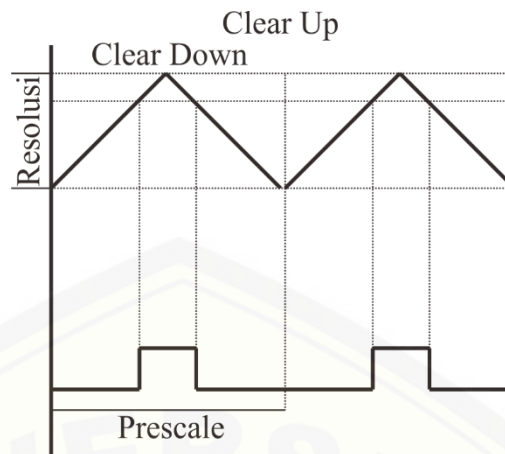
Proses pembangkitan sinyal PWM pada mikroprosesor ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut.



Gambar 2.11. Proses pembangkitan sinyal

Resolusi adalah jumlah variasi perubahan nilai dalam PWM tersebut. Misalkan suatu PWM memiliki resolusi 8 bit berarti PWM ini memiliki variasi perubahan nilai sebanyak 2 pangkat 8 sama dengan 256 variasi mulai dari 0 – 255 perubahan nilai. *Compare* adalah nilai pembanding. Nilai ini merupakan nilai referensi *duty cycle* dari PWM tersebut. Nilai *compare* bervariasi sesuai dengan resolusi dari PWM. Dalam gambar nilai *compare* ditandai dengan garis warna merah, dimana posisinya diantara dasar segitiga dan ujung segitiga.

Clear digunakan untuk penentuan jenis komparator apakah komparator *inverting* atau *non-inverting*. Mikrokontroler akan membandingkan posisi keduanya, misalkan bila PWM diset pada kondisi *clear down*, berarti apabila garis segitiga berada dibawah garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 0. Begitu pula sebaliknya apabila garis segitiga berada diatas garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 1. Lebar sempitnya logika 1 ditentukan oleh posisi *compare*, lebar sempitnya logika 1 itulah yang menjadi nilai keluaran PWM, dan kejadian ini terjadi secara harmonik terus-menerus. Maka dari itu nilai *compare* inilah yang dijadikan nilai *duty cycle* PWM. *clear up* adalah kebalikan (*invers*) dari *clear down* pada keluaran logikanya. Pada Gambar 2.12 berikut ditampilkan perbedaan dari bentuk sinyal *clear up* dan *clear down*.

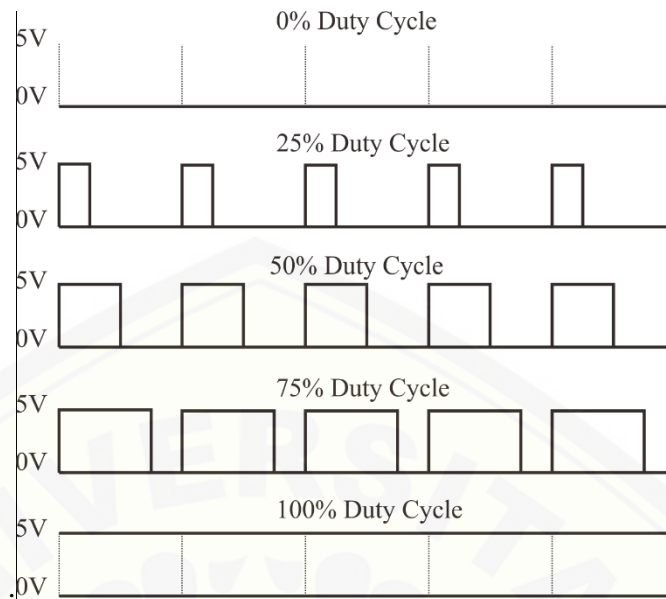


Gambar 2.12. *Clear up* dan *clear down*

Prescale digunakan untuk menentukan waktu perioda dari pada PWM. Nilai *prescale* bervariasi yaitu 1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024. Misalkan jika *prescale* diset 64 berarti timer/PWM akan menghitung 1 kali bila *clock* di CPU sudah 64 kali, *Clock* CPU adalah *clock* mikroprosesor itu sendiri. Sedangkan untuk melakukan perhitungan *duty cycle* PWM adalah dengan cara mengatur lebar pulsa “*on*” dan “*off*” dalam satu perioda gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi *output* dari suatu PWM akan didapat *duty cycle* yang diinginkan. *Duty cycle* dari PWM dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$Dutycycle = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

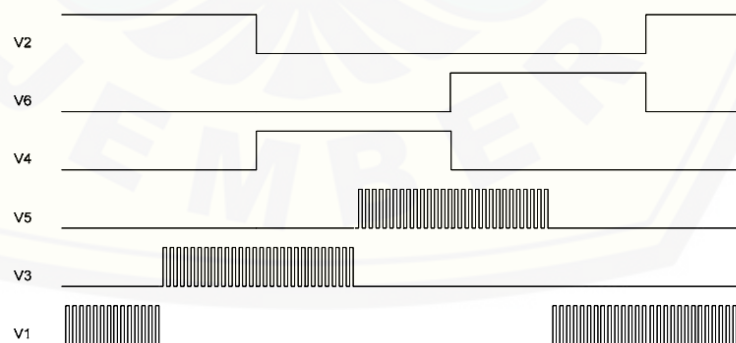
Duty cycle 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100V, maka motor akan mendapat tegangan 100V. Pada *duty cycle* 50%, tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total tegangan yang ada, begitu seterusnya (Nugroho, Murti, & Rusdinar, 2010). Contoh sinyal PWM dengan *dutycycle* yang berbeda-beda dapat dilihat pada gambar 2.13 berikut.



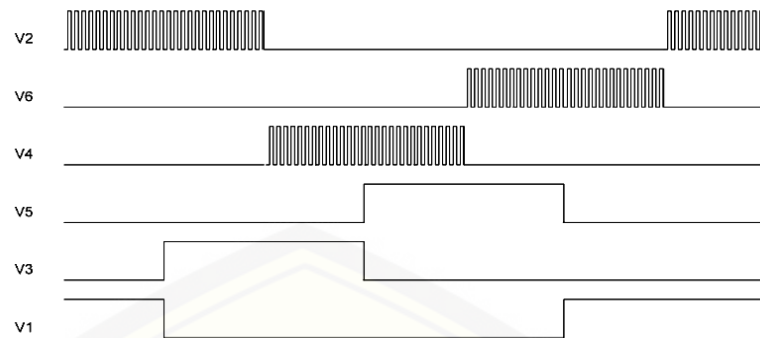
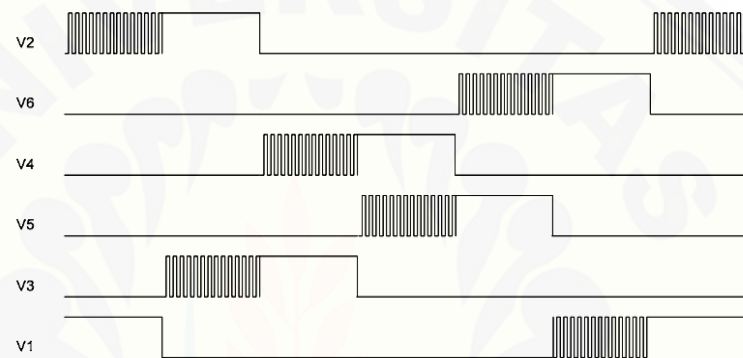
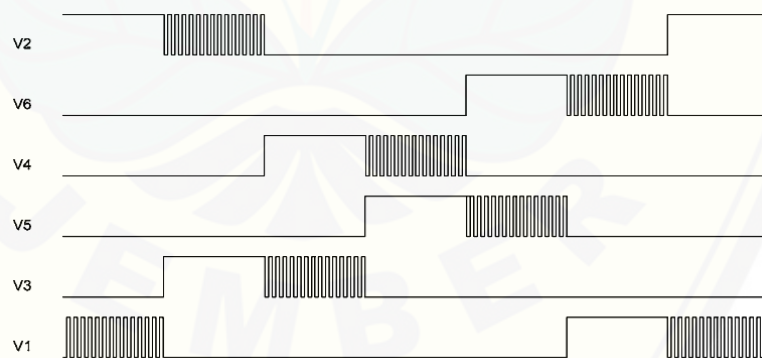
Gambar 2.13. Sinyal PWM dengan variasi *duty cycle*

2.10.2 Pengatur Kecepatan Dengan Kontrol PWM

Seperti yang kita tahu, *inverter* di kontrol oleh suatu modulasi PWM, yang berarti bahwa *inverter* tersebut dapat mengubah-ubah tegangan keluaran dengan *duty cycle* yang berbeda, hal inilah yang digunakan untuk mengontrol kecepatan. Setidaknya terdapat empat metode untuk menambahkan PWM ke sistem *switching inverter* tiga fasa yakni *Upper Phase* yang ditunjukkan pada gambar 20, *Lower Phase* yang ditunjukkan pada gambar 21, *Pre-Sixty Degree* yang ditunjukkan pada gambar 22 dan *Post-Sixty Degree* yang ditunjukkan pada gambar 23.



Gambar 2.14 *Upper phase* PWM

Gambar 2.15 *Lower phase PWM*Gambar 2.16 *Pre-sixty Degree PWM*Gambar 2.17 *Post-sixty Degree PWM*

Dimana, mosfet bagian atas adalah V1, V3 dan V5 sedangkan mosfet bagian bawah adalah V2, V4 dan V6. PWM ditambahkan pada sinyal aktif *high* (Ganatama, 2014).

2.11 IDE Arduino

Software Arduino yang akan digunakan adalah driver dan IDE. IDE diciptakan untuk para pemula bahkan yang tidak memiliki *basic* bahasa pemrograman sama sekali karena menggunakan bahasa C++ yang telah dipermudah melalui *library*. IDE Arduino adalah *software* canggih yang ditulis dengan menggunakan bahasa Java. *Software* IDE Arduino terdiri dari 3 (tiga) bagian:

1. Editor program, untuk menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*. *Listing program* pada Arduino disebut *sketch*.
2. *Compiler*, sebuah modul yang berfungsi mengubah bahasa *processing* (kode program) menjadi kode biner karena kode biner merupakan bahasa program yang dipahami oleh mikrokontroler.
3. *Uploader*, sebuah modul yang berfungsi memasukkan kode biner ke dalam memori mikrokontroler.

Struktur perintah pada Arduino secara garis besar terdiri dari dua bagian yaitu *void setup* dan *void loop*. *Void setup* berisi perintah yang akan dieksekusi hanya satu kali sejak Arduino dihidupkan sedangkan *void loop* berisi perintah yang akan dieksekusi berulang-ulang selama Arduino dinyalakan.



Gambar 2.18. Tampilan IDE Arduino

2.12 Fuzzy Inference System (FIS)

2.12.1 Pengertian FIS

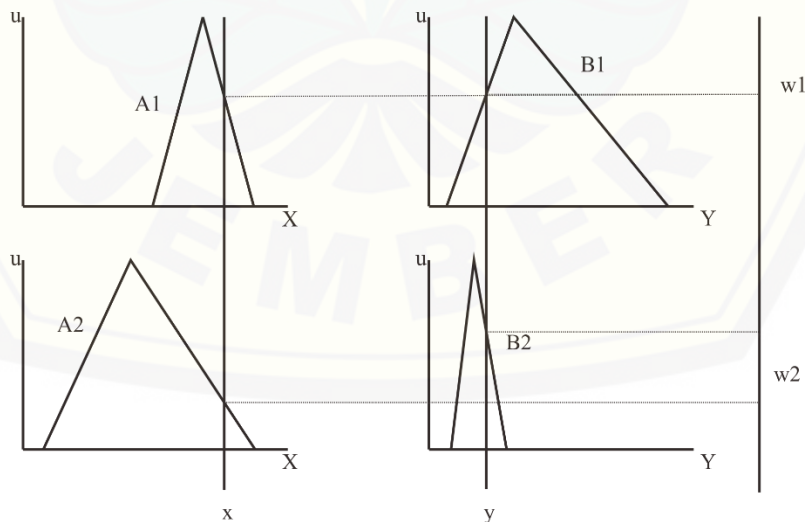
FIS adalah metodologi sistem kontrol yang digunakan untuk pemecahan permasalahan dengan cara matematis untuk merepresentasikan ketidakpastian linguistik. Dasar logika *fuzzy* adalah teori himpunan *fuzzy* yaitu peranan dari derajat keanggotaan atau nilai anggota sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangat penting. Logika *fuzzy* berguna untuk menyelesaikan banyak permasalahan dalam berbagai bidang yang biasanya memuat derajat ketidakpastian. (Suwintana, 2013). Keunggulan *fuzzy inference system* adalah dapat menerjemahkan pengetahuan dari pakar dalam bentuk aturan-aturan. Basis aturan dengan dua aturan *fuzzy if-then* seperti dibawah ini :

Aturan 1 : if *x* is *A1* and *y* is *B1* then $f1 = p1x + q1y + r1$
Premis *Consequent*

Aturan 2 : if *x* is *A2* and *y* is *B2* then $f2 = p2x + q2y + r2$
Premis *Consequent*

Masukan adalah *x* dan *y*
Consequent adalah *f*

$$f = \frac{w1.f1+w2.f2}{w1+w2} \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.19 Sistem inferensi *fuzzy* dua masukan dengan dua aturan

2.12.2 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* mempunyai istilah bentuk umum dari himpunan yang memiliki tingkat keanggotaan dari tiap-tiap elemen yang dibatasi dengan interval antara “0” dan “1” atau dinyatakan dalam notasi $[0, 1]$. Oleh karena itu, fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* memetakan setiap elemen dari semesta dalam batas ruang yang dalam kebanyakan kasus diasumsikan sebagai unit interval. Himpunan logika *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu ;

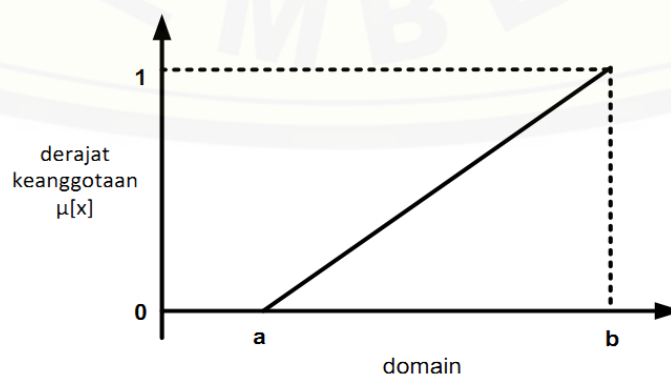
1. Linguistik adalah penamaan suatu kelompok berdasarkan keadaan atau kondisi dengan menggunakan bahasa, contohnya adalah berhenti, pelan, dan cepat.
2. Numeris atau angka adalah suatu nilai yang menunjukkan ukuran dari variabel, contohnya adalah 0, 10, 20, dsb.

2.12.3 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan atau *membership function* adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik masukan data ke dalam suatu nilai keanggotaan yang memiliki nilai interval antara “0” sampai “1”. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Adapun beberapa fungsi yang bisa digunakan.

a. Representasi Linier

Pada fungsi representasi linier, pemetaan masukan ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini yang paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas.



Gambar 2. 20 Fungsi representasi kurva linier

Fungsi keanggotaan :

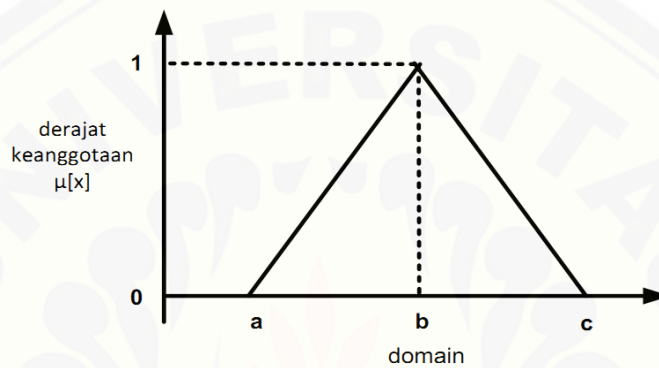
$$0; \quad x \leq a$$

$$\mu(X) = (x-a)/(b-a); \quad a \leq x \leq b$$

$$1; \quad x \geq b$$

b. Representasi Kurva Segitiga

Fungsi representasi kurva segitiga pada dasarnya merupakan antara 2 garis yang linier.



Gambar 2.21 Fungsi representasi kurva segitiga

Fungsi keanggotaan :

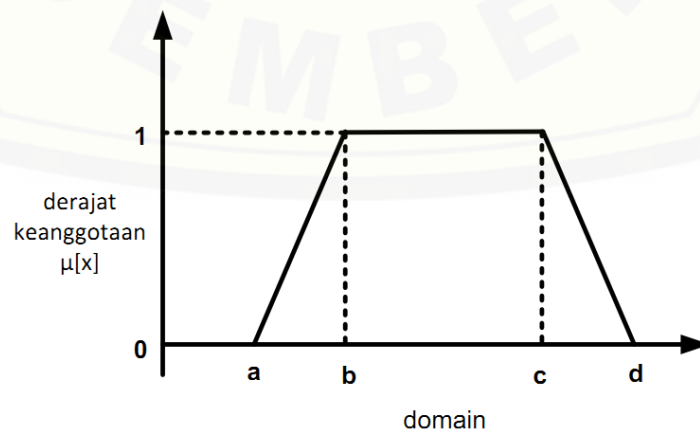
$$0; \quad x \leq a \text{ atau } x \geq c$$

$$\mu(X) = (x-a)/(b-a); \quad a \leq x \leq b$$

$$(b-x)/(c-b); \quad b \leq x \leq c$$

c. Representasi Kurva Trapesium

Representasi kurva trapesium pada dasarnya seperti bentuk kurva segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1.



Gambar 2.22 Fungsi representasi kurva trapesium

Fungsi keanggotaan :

$$\begin{aligned} &0; && x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \mu(X) &= (x-a)/(b-a); && a \leq x \leq b \\ &1; && b \leq x \leq c \\ &(d-x)/(d-c) && x \geq d \end{aligned}$$

2.12.4 Operator Logika Fuzzy

Dalam logika fuzzy ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk menentukan dan mengkombinasi himpunan dari fuzzy agar mendapatkan keluaran yang diharapkan. Ada beberapa operator dasar yang digunakan dalam operasi himpunan fuzzy, yaitu :

1. Operator AND

Dalam operator AND diperoleh dengan cara mengambil himpunan fuzzy terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang berkaitan.

$$uA \cap B = \min(uA[x], uB[y]) \dots \dots \dots (2.8)$$

2. Operator OR

Dalam operator OR diperoleh dengan cara mengambil himpunan fuzzy terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang berkaitan.

$$uA \cap B = \max(uA[x], uB[y]) \dots \dots \dots (2.9)$$

3. Operator NOT

Dalam operator NOT diperoleh dengan cara mengambil himpunan fuzzy elemen pada himpunan yang berkaitan dari 1.

$$uA' = 1 - uA[x] \dots \dots \dots (2.10)$$

2.12.5 Fuzifikasi

Fuzifikasi adalah proses yang dilakukan untuk mengubah variabel nyata menjadi variabel fuzzy. Pada proses fuzifikasi berfungsi untuk mempermudah dalam pemetaan masukan fuzzy ke dalam jenis yang sesuai dengan himpunan fuzzy. Pemetaan dilakukan dengan bantuan model dari fungsi keanggotaan agar dapat diketahui besar masukan tersebut. Penggambaran fungsi keanggotaan terdapat beberapa jenis, yaitu :

1. Gaussian
2. Segitiga
3. Trapesium
4. Bahu

Selain itu, terdapat komponen lainnya yang mempunyai peranan penting yaitu label. Label merupakan dari fungsi keanggotaan, fungsi keanggotaan jika dikumpulkan maka akan menghasilkan *fuzzy set*.

2.12.6 Aturan Logika *Fuzzy*

Aturan dasar merupakan langkah kedua dalam logika *fuzzy*. Langkah tersebut akan mengubah variabel non *fuzzy* menjadi variabel *fuzzy* atau variabel numerik menjadi variabel linguistik. Nilai dari *error* dan *delta error* yang dikuantisasi oleh *fuzzy* dan setelah itu diubah ke dalam variabel *fuzzy* melalui fungsi keanggotaan atau *membership function* yang telah disusun, maka dari nilai *error* dan *delta error* dikuantisasi akan diperoleh derajat keanggotaan pada masing-masing nilai masukan *error* dan *delta error*.

Secara umum aturan dasar *fuzzy* dinyatakan dalam bentuk “*If-Then*” yang merupakan inti dari relasi *fuzzy*. Relasi *fuzzy* dinyatakan dengan R dan disebut dengan implikasi *fuzzy*. Menurut Sibigroth(1992) aturan penilaian atau *Fuzzy Inference System* menggunakan teknik *min-max inference* untuk menentukan suatu nilai akhir berdasarkan sistem masukan. Dalam logika *fuzzy* terdapat dua model aturan penilaian yang digunakan secara umum dalam berbagai aplikasinya, yaitu :

1. Logika *fuzzy* model Mamdani
2. Logika *fuzzy* model Sugeno

2.12.7 Defuzifikasi

Defuzifikasi adalah proses mengubah besaran *fuzzy* yang dibuat ke dalam bentuk beberapa himpunan *fuzzy* keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk asilnya. Masukan dari proses defuzifikasi ini adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan keluaran yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy*

tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam rentang tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai asli tertentu sebagai keluaran.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada proses penelitian tugas akhir ini ada beberapa tahapan yang akan dilakukan, berikut adalah langkah-langkah dalam penelitian ini yaitu :

a. Studi literatur

Pada tahap ini merupakan tahapan untuk mencari sumber informasi terkait dengan penelitian yang dilakukan, dengan informasi yang didapat dari berbagai sumber untuk menjadi acuan mencapai hasil penelitian ini.

b. Perancangan perangkat keras

Perancangan perangkat keras yang dilakukan adalah membuat desain sistem alat sesuai dengan studi literatur yang didapatkan. Dalam perancangan perangkat keras dalam penelitian ini ada 2 perangkat yang dibuat yaitu pembuatan *inverter* 3 fase beserta komponen elektronika aktif maupun pasif dan pembuatan *datalogger* yang sudah dilengkapi dengan sensor untuk pembacaan nilai satuan yang tersimpan dalam kartu SD.

c. Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak yang dilakukan adalah simulasi pada *software simulator* untuk menjalankan cara kerja sistem. Dalam perancangan perangkat lunak dalam penelitian ini membuat sistem kontrol FIS pada *software matlab 2015* dan selanjutnya ada membuat program sistem tanpa menggunakan kontrol FIS dan menggunakan kontrol FIS.

d. Implementasi keseluruhan sistem

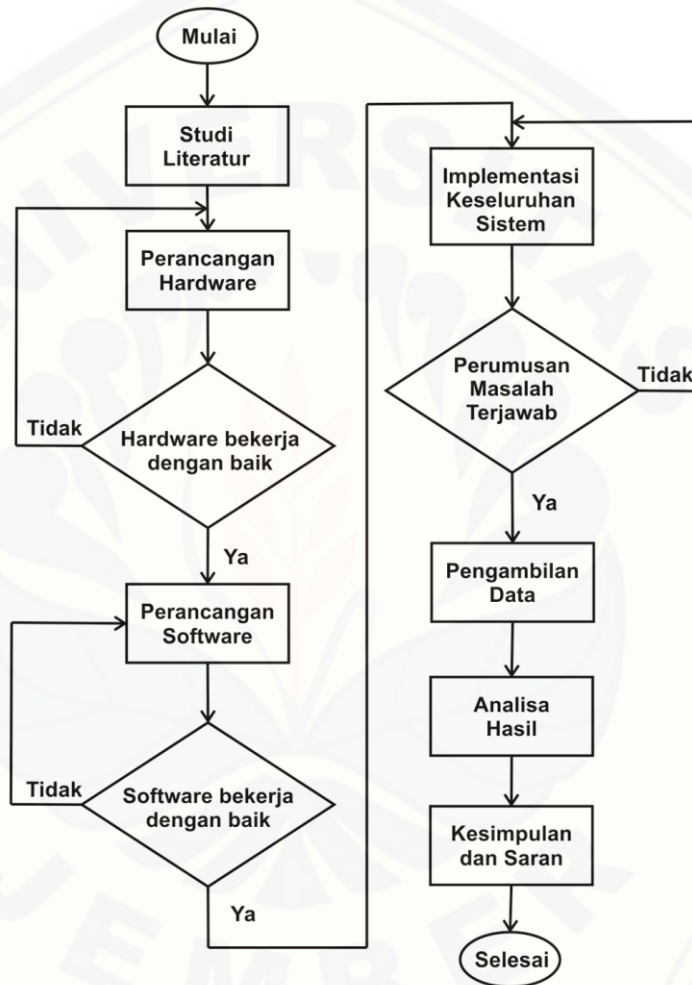
Setelah perancangan perangkat keras dan perangkat lunak tahap selanjutnya adalah menggabungkan keseluruhan sistem. Langkah selanjutnya adalah dilakukan pengujian sistem dengan pengujian tanpa menggunakan kontrol FIS dan menggunakan kontrol FIS.

e. Pengambilan data

Pada tahap selanjutnya setelah semua sistem siap untuk diuji dilakukan pengambilan data dengan pengujian yang berbeda-beda untuk mendapatkan data.

f. Analisa data

Setelah tahap pengujian dan pengambilan data dilakukan dan didapatkan data, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis terhadap data yang didapat. Analisis tersebut berfungsi untuk mengetahui perbedaan performa dan efisiensi sistem tanpa menggunakan kontrol FIS dan menggunakan kontrol FIS.

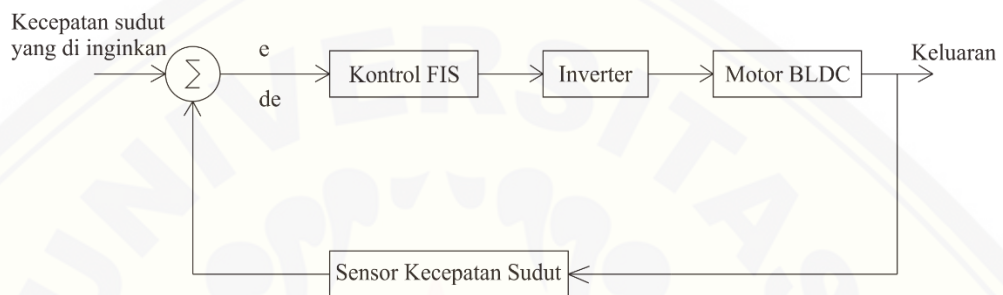


Gambar 3.1 Flowchart penelitian

3.2 Blok Diagram

3.2.1 Blok Diagram Sistem Kontrol

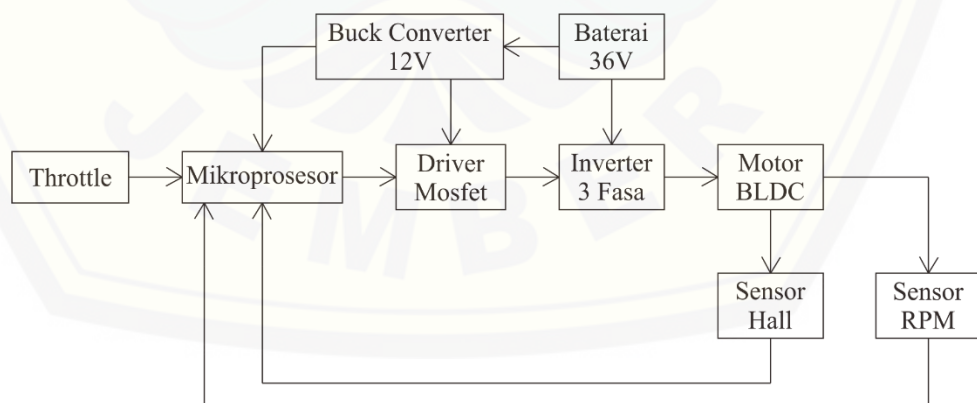
Kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah untuk menjalankan sistem adalah kontrol FIS yang melakukan perubahan parameter secara otomatis berdasarkan perubahan pada kondisi lingkungan. *Set point* disini adalah memberi nilai kecepatan sudut yang diinginkan dan penggunaan sensor kecepatan sudut adalah sebagai pembanding antara nilai *set point* dengan kecepatan sudut keluaran.



Gambar 3.2 Blok diagram sistem kontrol FIS

3.2.2 Blok Diagram Sistem Kelistrikan

Pada blok diagram kelistrikan tersebut bagian yang berfungsi sebagai masukan adalah *Throttle*, sensor *hall*, dan sensor kecepatan sudut. Dari semua masukan tersebut masuk ke mikroprosesor untuk memproses data. Kemudian bagian keluaran adalah *Driver MOSFET*, *Inverter 3 fasa*, dan motor BLDC.

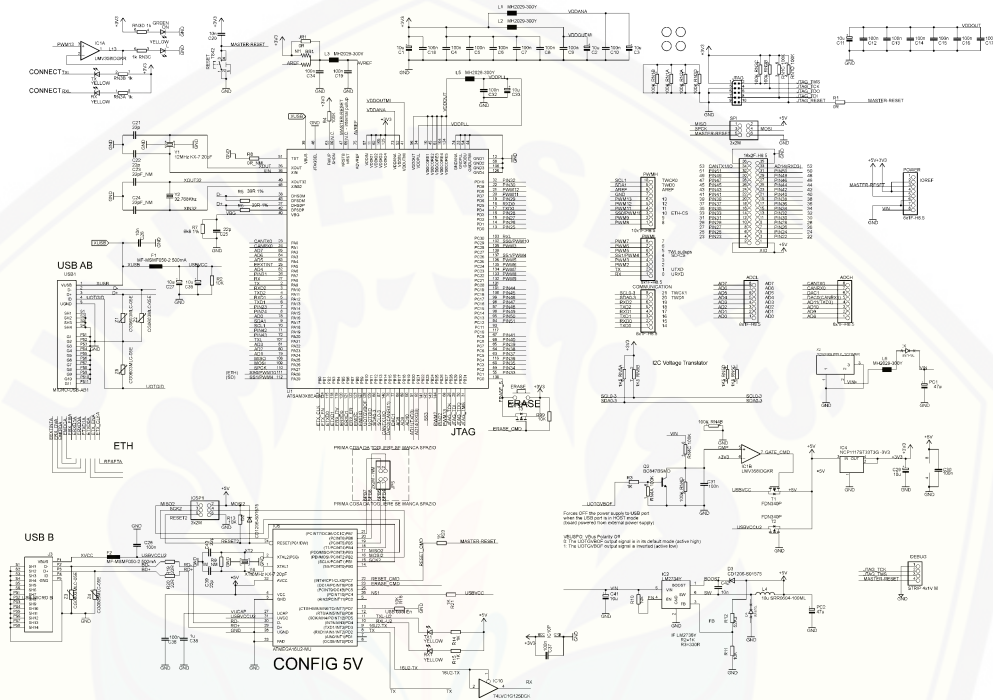


Gambar 3.3 Blok diagram kelistrikan

3.3 Desain Sistem

3.3.1 Modul ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA

Mikroprosesor yang digunakan dalam penelitian ini adalah ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA. Pemilihan dalam penelitian ini berdasarkan kemampuan yang dibutuhkan karena proses sistem harus sangat cepat.

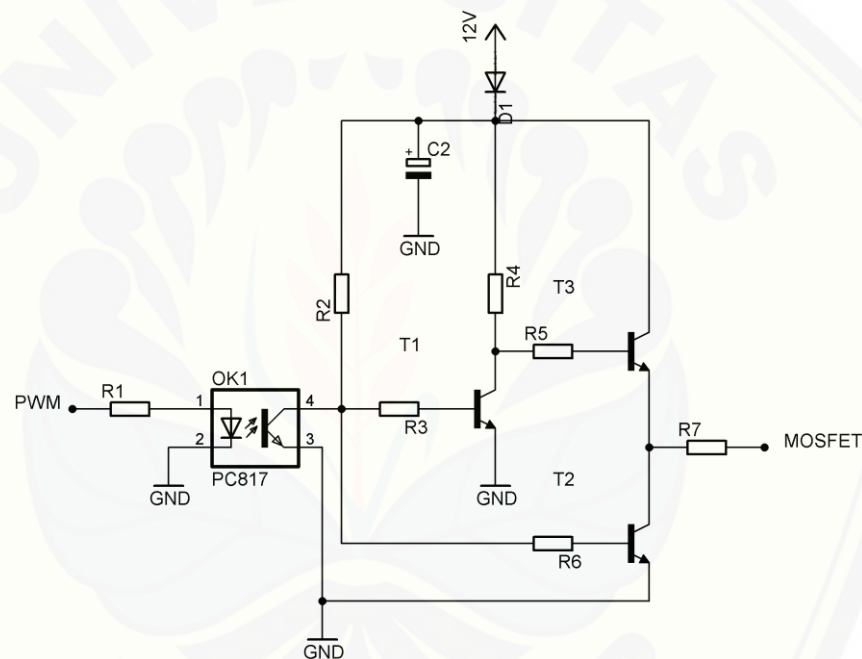


Gambar 3.4 Rangkaian modul ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA

Pada ARM Cortex-M3 AT91SAM3X8EA terdapat pin masukan dan keluaran sebanyak 54, yang mana terdiri dari 12 pin keluaran *Pulse Width Modulation*, 16 pin masukan analog dengan resolusi 12 bit, 1 pin analog keluaran, mempunyai *Internal Flash Memory* sebesar 512 kb, SRAM 96 kb, dan kecepatan *Clock Frequency* sebesar 84 MHz. Dari pin yang tersedia, beberapa yang akan digunakan adalah 6 pin sebagai kontrol sinyal PWM untuk *driver* MOSFET, 3 pin untuk sinyal masukan dari sensor *hall*, 1 pin untuk sensor kecepatan sudut, 1 pin untuk sensor tegangan, 1 pin untuk sensor arus, 1 pin untuk masukan dari *throttle*, dan *Port SPI* untuk komunikasi data.

3.3.2 Driver MOSFET

Pada perancangan *driver* MOSFET ini digunakan untuk memisah antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya, karena rangkaian kontrol sensitif terhadap arus yang besar. Rangkaian *driver* MOSFET ini juga berfungsi untuk menguatkan sinyal kecil yang berasal dari mikroprosesor. Pada rangkaian *driver* MOSFET digunakan tiga transistor tipe NPN pada saat proses *Switching* melalui masukan PWM dari mikroprosesor akan dikuatkan oleh transistor. Jika pada proses *drive* tidak ada penguatan arus maka tegangan pada *gate* MOSFET akan mengalami *drop* tegangan.

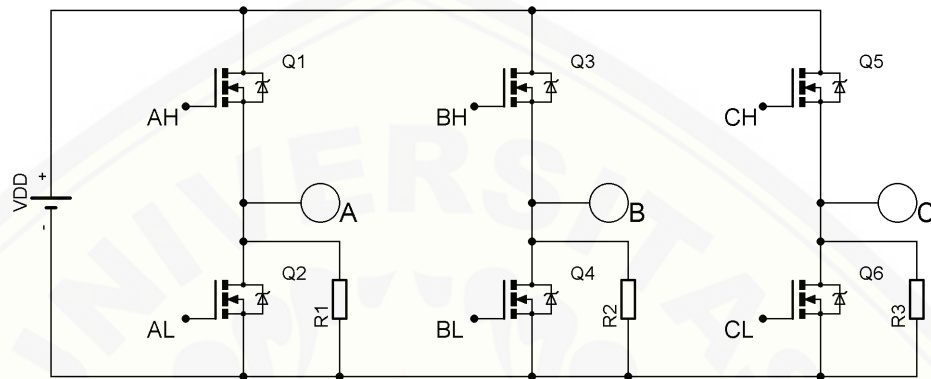


Gambar 3.5 Rangkaian *driver* MOSFET

Prinsip kerja dari rangkaian *driver* MOSFET adalah ketika sinyal PWM dari mikroprosesor kondisi HIGH *optocoupler* akan aktif sehingga transistor T1 mempunyai fungsi sebagai *switching* dan transistor T3 mempunyai fungsi untuk penguatan arus yang akan masuk ke MOSFET. Pada rangkaian *driver* MOSFET terdapat nilai resistor yang berbeda berdasarkan *datasheet* pada transistor yang digunakan. Penggunaan nilai akan mempengaruhi proses kecepatan *switching*.

3.3.3 Inverter Tiga Fasa

Inverter tiga fasa ini berfungsi sebagai mengendalikan kerja motor *Brushless Direct Current*. *Inverter* menggunakan 6 MOSFET dan setiap dua MOSFET akan mengatur 1 fasa karena pada motor *Brushless Direct Current* yang digunakan terdapat fasa sebanyak 3 buah. Berikut adalah gambar *inverter* 3 fasa.



Gambar 3.6 *Inverter* 3 fasa

Pada MOSFET Q1, Q3, dan Q5 membawa tegangan positif sedangkan pada Q2, Q4, dan Q6 membawa tegangan negatif. Sehingga dalam satu paket misal Q1 dan Q2 tidak boleh aktif secara bersamaan karena ketika kedua MOSFET aktif arus akan mengalir kedua MOSFET tanpa melalui beban motor sehingga mengakibatkan hubung singkat dan MOSFET akan rusak. Penggunaan MOSFET harus disesuaikan dengan daya motor, jika motor mempunyai daya yang besar maka kemampuan MOSFET harus ditingkatkan atau lebih besar.

Penggunaan Resistor R1, R2, dan R3 pada bagian MOSFET sisi negatif berfungsi untuk menghubungkan *driver* MOSFET dari sisi positif agar terhubung ke *ground*.

3.3.4 Motor *Brushless Direct Current Inwheel*

Motor *Brushless Direct Current* yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai daya nominal sebesar 350 Watt dengan sistem *planetary gear* yang terintegrasi dengan motor. Didalam motor tepatnya pada stator terdapat tiga buah sensor medan magnet yang digunakan untuk menentukan proses komutasi agar motor *Brushless Direct Current* dapat berputar dimana sinyal dari sensor medan magnet dikirim ke mikroprosesor.



Gambar 3.7 Motor *Brushless Direct Current Inwheel*

Untuk motor yang akan digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi seperti pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi motor *Brushless Direct Current Inwheel*

Parameter	Nilai
Tegangan	36V
Daya Nominal	350W
Berat	2,5kg
Kecepatan maksimal	26 km/jam

3.3.5 Baterai dan *Buck Converter* 12V



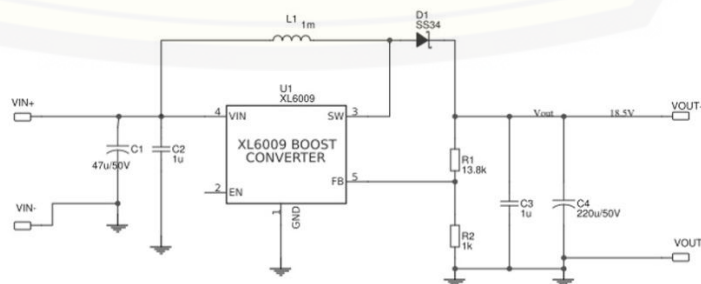
Gambar 3.8 Baterai *lithium ion*

Baterai yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah baterai jenis *lithium ion pack* yang memiliki tegangan sebesar 36V. Jenis baterai *lithium ion* memiliki karakteristik *discharge* yang besar. digunakan baterai jenis *lithium ion* karena jenis ini lebih ringan dari pada baterai VRLA tipe *NiCad* atau baterai pada *accu* mobil atau motor. Untuk baterai yang akan digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi seperti pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi baterai

Parameter	Nilai
Jenis Baterai	<i>Lithium Ion</i> 18650
Tegangan	36V
Kapasitas	10Ah
Berat	3,5kg

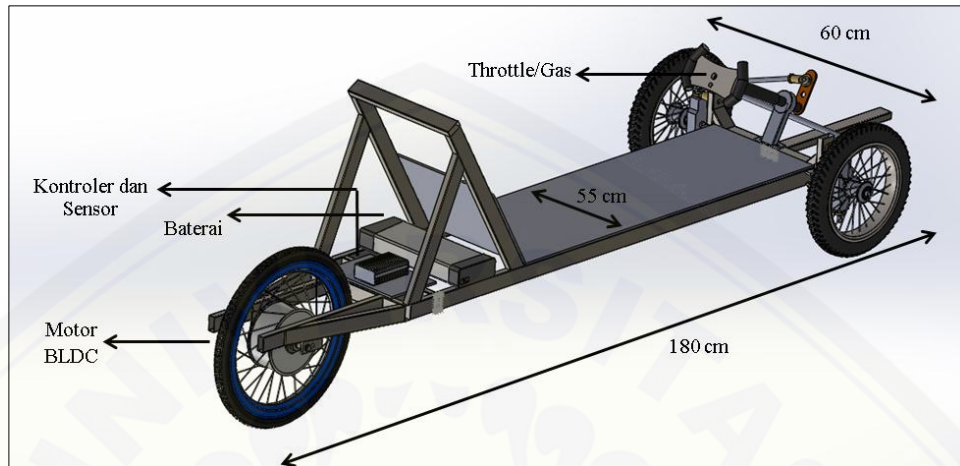
Rangkaian *buck converter* 12V digunakan untuk memberikan catu daya ke mikroprosesor dan *driver* MOSFET. Rangkaian *buck converter* 12V ini diturunkan menggunakan rangkaian *buck converter* seperti pada gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Rangkaian *buck converter* 12V

3.3.6 Desain Rangka Kendaraan

Dalam penelitian ini untuk melakukan pengujian sistem pengendali dinamis digunakan desain mobil masa depan yang dapat diisi hanya satu orang.



Gambar 3.10 Desain rangka kendaraan

Untuk rangka kendaraan yang dibuat mempunyai massa 36kg dan massa pengemudi 50kg. Sehingga massa total adalah 86kg. Rangka dibuat dari bahan logam besi dengan desain posisi pengemudi terlentang bertujuan untuk mendapatkan fungsi aerodinamis. Penggunaan tiga buah roda adalah untuk mendapatkan sistem kemudi yang lebih mudah. Motor *Brushless Direct Current* dipasang secara *inwheel* atau jadi satu dengan roda sehingga tidak membutuhkan sistem transmisi mekanik. Penggunaan roda belakang dengan diameter sebesar 17 *inchi* sedangkan roda depan dengan diameter 10 *inchi*.

3.4 Perancangan Pengendali *Fuzzy Inference System*(FIS)

Perancangan pengendali *Fuzzy Inference System* meliputi 5 tahap yaitu, identifikasi, fuzzifikasi, penentuan *rule base*, defuzzifikasi, dan pengujian respon sistem. Pada pengujian respon sistem keluaran pengendali *Fuzzy Inference System* berupa penambahan atau pengurangan nilai PWM yang mana akan mempengaruhi nilai *duty cycle* pada rangkaian. *Duty cycle* sendiri merupakan proporsi waktu dimana sistem ketika beroperasi. Pengaturan nilai *duty cycle* mempengaruhi besar kecilnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *inverter* 3 fasa.

Sensor kecepatan sudut pada diagram pengendalian ini memiliki nilai kecepatan sudut realita yang terukur pada saat itu. Sedangkan nilai *set point* adalah nilai kecepatan sudut yang diinginkan. Sinyal keluaran dari sensor yang berupa nilai kecepatan sudut, diubah menjadi nilai *error* sebagai salah satu masukan pengendali *Fuzzy Inference System* dengan melakukan pengurangan terhadap nilai *set point*.

3.4.1 Penentuan Masukan dan Keluaran FIS pada Matlab

Pada penelitian ini metode *fuzzy* yang digunakan adalah metode Sugeno, dimana keluaran sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan persamaan linier. Langkah pertama dalam perancangan pengendali *Fuzzy Inference System* yaitu dilakukan penentuan parameter masukan yang dapat mempengaruhi performansi sistem. Masukan dari pengendali *Fuzzy Inference System* adalah *error* nilai kecepatan sudut yang didapat dari selisih antara nilai *set point* dengan nilai keluaran kecepatan sudut yang terukur, serta *delta error* yang diperoleh dari selisih antar *error* nilai kecepatan sudut. Keluaran pengendali *Fuzzy Inference System* adalah penambahan atau pengurangan PWM yang masuk ke *inverter* 3 fasa. Semakin besar nilai PWM maka tegangan yang masuk ke motor *Brushless Direct Current* semakin besar, sebaliknya jika semakin kecil nilai PWM maka tegangan yang masuk ke motor *Brushless Direct Current* semakin kecil.

3.4.2 Pengubahan Nilai Asli ke Bentuk Variabel *Fuzzy*

Tahap awal pembuatan pengendali *Fuzzy Inference System* adalah fuzifikasi, yang mana dalam tahap ini akan dilakukan membuat himpunan keanggotaan untuk masukan *error* dan *delta error*. Setelah itu menghitung derajat keanggotaan masing-masing nilai *error* dan *delta error*. *Set point* yang diinginkan sesuai dengan kehendak akan digunakan untuk membuat fungsi keanggotaan dan juga pada proses perhitungan *error* dan *delta error*. Nilai *set point* tersebut digunakan sebagai acuan dalam kontrol agar tetap stabil pada nilai tersebut.

3.4.3 Penentuan *Rule Base Fuzzy*

Aturan yang digunakan menggunakan masukan dan keluaran tunggal yang dimengerti oleh sistem. Umumnya aturan *fuzzy* memiliki logika struktur *if..then..* . Nilai-nilai masukan yang diberikan kombinasi operator AND atau dan. Selain penentuan aturan pada *fuzzy*, diperlukan penentuan keanggotaan himpunan juga. Tabel *rule base* yang ditampilkan menggunakan mf 9, dengan 81 aturan logika. Seluruh aturan logika ini digunakan untuk menentukan keluaran FIS dari masukan yang diberikan, dengan e adalah *error* dan de adalah *delta error*.

Tabel 3.3 *Rule base*

de/e	NVB	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PVB
NVB	NVB	NVB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	Z
NB	NVB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	Z	PS
NM	NB	NB	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PS
NS	NB	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PS	PM
Z	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PS	PM	PM
PS	NM	NS	NS	Z	PS	PS	PM	PM	PB
PM	NS	NS	Z	PS	PS	PM	PM	PB	PB
PB	NS	Z	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PVB
PVB	Z	PS	PS	PM	PM	PB	PB	PVB	PVB

Keterangan :

NVB : *Negative Very Big*

NB : *Negative Big*

NM : *Negative Medium*

NS : *Negative Small*

Z : *Zero*

PS : *Positive Small*

PM : *Positive Medium*

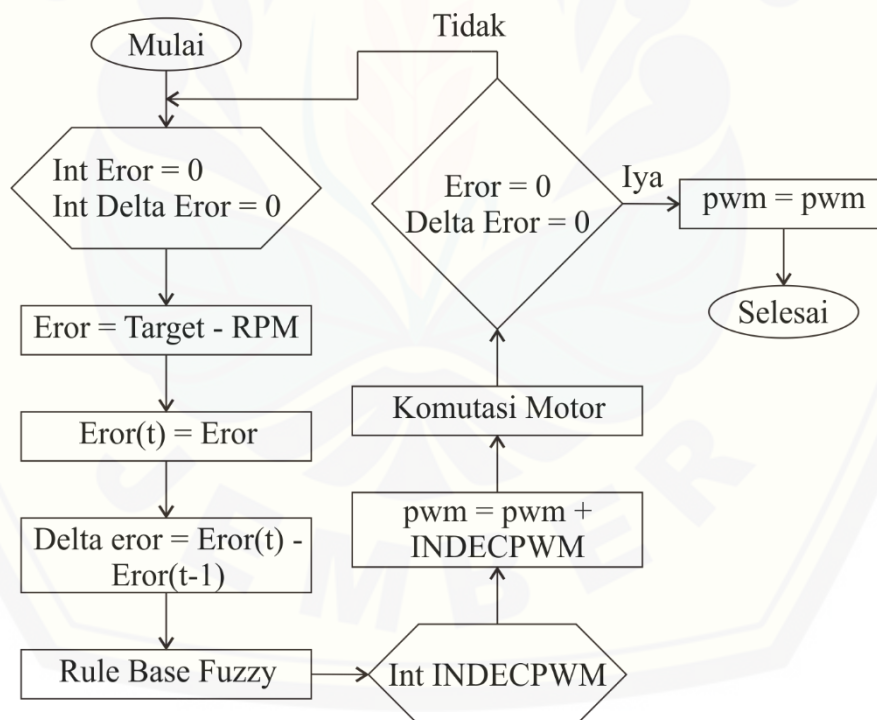
PB : *Positive Big*

PVB : *Positive Very Big*

Notasi pada tabel 3.3 merupakan fungsi keanggotaan yang digunakan pada tiap-tiap masukan, dengan hasilnya berupa keluaran mf dari PWM. Penjelasananya adalah sebagai berikut. Jika *error* adalah NB dan *delta error* adalah NB maka PWM adalah NB. Jika *error* adalah PB dan *delta error* adalah PM maka PWM adalah PB. Hal ini berlaku seterusnya untuk logika yang lain.

3.4.4 Pengembalian Bentuk Variabel *Fuzzy* ke Bentuk Nilai Asli

Proses pengembalian bentuk variabel *fuzzy* ke bentuk nilai asli digunakan untuk mengubah kembali variabel *fuzzy* ke variabel nyata atau dengan kata lain kontrol *fuzzy* yang masih berupa himpunan diubah menjadi nilai nyata tunggal. Keluaran dari masing-masing aturan yang diberikan bersifat linier dengan variabel masukan. Keseluruhan keluaran tersebut dijumlahkan hingga menghasilkan satu keluaran berupa penambahan atau pengurangan PWM.



Gambar 3.11 *Flowchart* program

Pada diagram alir program dalam menentukan hasil keluaran dari FIS dimulai dengan membaca sensor kecepatan sudut pada roda belakang. Setelah itu menghitung nilai eror dimana eror diperoleh dari target yang diinginkan dikurangi dengan kecepatan sudut yang terbaca dan delta eror dimana delta eror diperoleh dari eror sekarang dikurangi dengan

eror sebelumnya. Sehingga nilai keluaran FIS bisa didapatkan untuk menambah dan mengurangi nilai pwm sebelumnya dengan batasan nilai pwm sebesar 255. Setelah nilai pwm mengalami penambahan atau pengurangi dilanjutkan dengan komutasi motor yaitu memutar motor dengan aturan metode enam langkah agar motor *Brushless Direct Current* dapat berputar dengan kecepatan yang sudah ditentukan.

3.5 Pengujian Alat

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian alat dengan dua macam yaitu pengujian secara statis dan pengujian secara dinamis. Dimana pengujian secara statis adalah pengujian sistem dengan putaran bebas tanpa beban pada motor *Brushless Direct Current* dengan waktu yang sudah ditentukan dan dipasang *datalogger* untuk mendapatkan data dan karakteristik sistem ketika diuji secara statis. Sedangkan untuk pengujian dinamis adalah pengujian dengan menjalankan kendaraan dan joki. Dari pengujian dinamis juga dipasang *datalogger* untuk mendapatkan data dan karakteristik sistem ketika diuji secara dinamis. Perlakuan pengujian dinamis akan diperoleh efisiensi kontrol dalam menjalankan kendaraan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengendali Kecepatan Motor *Brushless Direct Current* Pada Kendaraan Listrik Menggunakan Metode *Fuzzy Inference System*” dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai efisiensi jarak tempuh per energi sistem pengendali menggunakan kontrol *fuzzy* lebih efisien yaitu sebesar 380,95 km/kWh daripada tanpa menggunakan kontrol *fuzzy* yaitu sebesar 358,2 km/kWh.
2. Penggunaan daya rata-rata pada saat pengujian dinamis efisiensi sistem pengendali menggunakan kontrol *fuzzy* sebesar 41,8128 Watt dan tanpa menggunakan kontrol *fuzzy* sebesar 51,2241 Watt.
3. Arus puncak pada saat pengujian efisiensi sistem pengendali lebih kecil menggunakan kontrol *fuzzy* sebesar 2,93 A dan tanpa menggunakan kontrol *fuzzy* sebesar 3,28 A.
4. Respon sistem pengendali menggunakan kontrol *fuzzy* dapat mengikuti target kecepatan sudut yang diinginkan ketika terjadi perubahan nilai target pada saat pengujian statis dan dinamis.

5.2 Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut yang dapat meramal penggunaan daya pada lintasan uji yang tetap untuk meningkatkan nilai efisiensi pada mobil. Penggantian penggunaan sensor arus jenis ACS dengan sensor yang arus yang lebih stabil agar pembacaan pada beban non-resistif lebih akurat. Meningkatkan tegangan sumber menjadi 48 V agar diperoleh kecepatan sudut motor yang lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- El Sharkawi, Mohamed A. 2000. *Fundamentals of Electric Drives*. USA: Brooks/Cole Publishing
- Williams, Barry W. 2006. *Power Electronics*. Glasgow: Barry W Williams.
- Kusumadewi, Sri. dan Purnomo, Hari. 2013. Aplikasi Logika Fuzzy. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Kumara, Nyoman S. 2009. Tinjauan Perkembangan Kendaraan Listrik Dunia Hingga Sekarang. *Jurnal Jurusan Teknik Elektro, Universitas Udayana*. 8(1): 74 - 82
- Kusumawardani, Diaz. 2017. Analisis Besaran Emisi Gas CO₂ Kendaraan Bermotor Pada Kawasan Industri SIER Surabaya. *Jurnal Teknik ITS*. 6(2) : 399 – 402
- Putra, Rendy Aditya Wijaya. 2014. Metode *Six Step Commutation* Pada Perancangan Rangkaian Kendali *Sensored Motor Brushless Direct Current*. *Jurnal Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada*. 1(1) : 46 – 50
- Firmansyah, Eka. 2013. *Low Cost Platform for BLDC Controller*. IEEE. Pp 26 - 28
- Wahono, Tri. & Sutikno, Tole. 2016. Skema Pengendali motor BLDC Tanpa Sensor Posisi Rotor dengan Metode Deteksi *Back EMF* Berbasis Mikrokontroler Arduino. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan.
- Suganthi, P, dkk. 2017. *Modeling and Simulation of Closed Loop Speed Control for BLDC Motor*. IEEE. Pp 229-233.
- Sarala, P, dkk. 2016. *Analysis of Closed Loop Current Controlled BLDC Motor Drive*. IEEE. Pp 1464-1468.
- Chaudhary, H, dkk. 2016. *ANFIS Based Speed Control of DC Motor*. IEEE. Pp 63-67.
- Hamidah, Yusnia. 2015. *Control of Single Phase Buck-Boost Inverter (SPBBI) System Using Neuro-Fuzzy*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Dastranj, M. R, dkk. 2011. *Control DC Motorspeed with Adaptive Neuro-Fuzzy Control (ANFIS)*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. Pp 1499-1504.
- Hathaway, Richard B. 2000. *Mechanical Engineering Vehicle Design*. Western Michigan University



Lampiran 1

Data pengujian efisiensi sistem pengendali dinamis tanpa metode FIS

No	Waktu	Target	Kecepatan Sudut	Tegangan	Arus	Daya
1	1:08:14	0	0	36.92	0.07	2.58
2	1:08:15	34.49	21	36.86	0.07	2.58
3	1:08:16	36.69	33	36.86	0.18	6.63
4	1:08:17	38.89	45	36.5	0.89	32.49
5	1:08:18	41.09	57	36.66	1.24	45.46
6	1:08:19	43.29	57	36.5	1.91	69.72
7	1:08:20	45.49	57	36.4	1.73	62.97
8	1:08:21	45.49	76	36.66	1.65	60.49
9	1:08:22	47.69	76	36.55	1.05	38.38
10	1:08:23	47.69	76	36.6	1.31	47.95
11	1:08:24	49.89	76	36.19	2.31	83.60
12	1:08:25	54.29	95	36.66	2.04	74.79
13	1:08:26	60.89	95	35.72	1.99	71.08
14	1:08:27	67.49	95	36.45	1.43	52.12
15	1:08:28	76.29	95	36.24	2.29	82.99
16	1:08:29	85.09	114	36.45	2.17	79.10
17	1:08:30	104.89	114	36.24	3.66	132.64
18	1:08:31	115.89	152	36.4	2.03	73.89
19	1:08:32	124.69	152	35.93	3.04	109.23
20	1:08:33	131.29	171	36.34	2.17	78.86
21	1:08:34	142.29	171	36.34	1.69	61.41
22	1:08:35	140.09	190	36.45	2.08	75.82
23	1:08:36	142.29	209	36.14	1.58	57.10
24	1:08:37	137.89	209	36.5	1.55	56.58
25	1:08:38	140.09	209	36.5	1.58	57.67
26	1:08:39	140.09	228	36.4	1.09	39.68
27	1:08:40	126.89	228	36.45	1.6	58.32
28	1:08:41	131.29	209	36.29	2.25	81.65
29	1:08:42	170.89	190	36.14	2.56	92.52
30	1:08:43	162.09	190	36.24	2.13	77.19
31	1:08:44	126.89	190	36.29	2.76	100.16
32	1:08:45	148.89	171	36.08	2.72	98.14
33	1:08:46	162.09	191	36.5	1.45	52.93
34	1:08:47	162.09	171	36.45	1.57	57.23
35	1:08:49	162.09	171	36.4	2.07	75.35

36	1:08:50	159.89	152	35.88	3.45	123.79
37	1:08:51	164.29	152	36.14	2.72	98.30
38	1:08:52	210.49	190	36.4	1.7	61.88
39	1:08:53	159.89	171	35.56	2.09	74.32
40	1:08:54	157.69	171	36.19	2.55	92.28
41	1:08:55	162.09	171	36.19	2.35	85.05
42	1:08:56	162.09	171	36.03	3.47	125.02
43	1:08:57	151.09	171	36.03	1.84	66.30
44	1:08:58	157.69	171	35.67	2.35	83.82
45	1:08:59	159.89	171	36.29	2.24	81.29
46	1:09:00	162.09	171	36.34	1.31	47.61
47	1:09:01	120.29	171	36.55	1.01	36.92
48	1:09:02	157.69	171	36.55	0.68	24.85
49	1:09:03	152.89	171	36.55	0.76	27.78
50	1:09:04	142.89	164	36.4	1.11	40.40
51	1:09:05	129.49	164	36.6	1.9	69.54
52	1:09:06	126.49	164	36.5	1.91	69.72
53	1:09:07	120.89	160	36.6	0.83	30.38
54	1:09:08	105.89	156	36.6	0.73	26.72
55	1:09:09	90.09	152	36.55	0.69	25.22
56	1:09:10	75.89	133	36.6	0.86	31.48
57	1:09:11	66.09	133	36.4	0.76	27.66
58	1:09:12	63.89	121	36.55	0.73	26.68
59	1:09:13	63.89	116	36.66	0.6	22.00
60	1:09:14	63.89	109	36.66	0.69	25.30
61	1:09:15	60.89	100	36.66	0.75	27.50
62	1:09:16	60.89	95	36.6	0.74	27.08
63	1:09:17	60.89	95	36.81	0.8	29.45
64	1:09:18	60.89	94	36.66	0.71	26.03
65	1:09:19	60.89	94	36.6	0.67	24.52
66	1:09:20	63.89	90	36.34	0.78	28.35
67	1:09:21	63.89	85	36.6	0.88	32.21
68	1:09:22	63.89	80	36.34	0.87	31.62
69	1:09:24	63.89	74	36.6	0.87	31.84
70	1:09:25	63.89	70	36.5	1.18	43.07
71	1:09:26	63.89	65	36.4	1.06	38.58
72	1:09:27	75.89	70	36.66	0.68	24.93
73	1:09:28	84.89	74	36.6	0.83	30.38
74	1:09:29	85.89	85	36.66	0.78	28.59

75	1:09:30	85.89	90	36.6	0.77	28.18
76	1:09:31	87.89	90	36.55	1.2	43.86
77	1:09:32	97.09	95	36.55	1.04	38.01
78	1:09:33	104.89	96	36.81	2.12	78.04
79	1:09:34	139.89	99	35.77	2.53	90.50
80	1:09:36	137.89	100	36.03	2.64	95.12
81	1:09:37	162.09	109	36.45	2.51	91.49
82	1:09:38	159.89	116	36.24	1.27	46.02
83	1:09:40	162.09	121	36.66	2.23	81.75
84	1:09:41	162.09	133	36.6	2.19	80.15
85	1:09:42	159.89	144	36.5	2.23	81.40
86	1:09:43	164.29	152	36.34	1.12	40.70
87	1:09:44	162.09	152	36.45	1.32	48.11
88	1:09:45	159.89	152	36.29	2.14	77.66
89	1:09:46	157.69	171	35.77	1.86	66.53
90	1:09:47	162.09	171	36.55	1.16	42.40
91	1:09:48	159.89	171	36.55	1.06	38.74
92	1:09:49	184.09	171	36.34	1.44	52.33
93	1:09:50	162.09	190	36.45	1.79	65.25
94	1:09:51	162.09	190	36.08	2.77	99.94
95	1:09:52	162.09	181	36.24	2.81	101.83
96	1:09:53	162.09	171	36.14	1.32	47.70
97	1:09:54	168.69	171	36.45	1.31	47.75
98	1:09:55	166.49	171	36.45	1.12	40.82
99	1:09:56	162.09	190	36.5	1.11	40.52
100	1:09:57	201.69	171	36.45	1.44	52.49
101	1:09:58	162.09	171	36.4	1.22	44.41
102	1:09:59	159.89	171	36.4	0.88	32.03
103	1:10:00	162.09	190	36.55	0.79	28.87
104	1:10:01	162.09	152	36.45	1.71	62.33
105	1:10:03	164.29	171	36.4	1.35	49.14
106	1:10:04	173.09	171	36.4	1.18	42.95
107	1:10:05	162.09	171	36.14	2.2	79.51
108	1:10:06	162.09	190	35.56	1.84	65.43
109	1:10:07	162.09	171	36.29	1.48	53.71
110	1:10:08	179.69	152	36.14	1.29	46.62
111	1:10:09	164.29	152	35.82	1.47	52.66
112	1:10:10	162.09	171	36.5	1.31	47.82
113	1:10:11	162.09	171	36.4	0.91	33.12

114	1:10:12	162.09	171	36.45	0.95	34.63
115	1:10:13	159.89	190	36.24	1.36	49.29
116	1:10:14	162.09	190	36.24	0.98	35.52
117	1:10:15	162.09	171	35.77	2.53	90.50
118	1:10:16	168.69	171	36.03	1.97	70.98
119	1:10:17	166.49	171	35.72	3.55	126.81
120	1:10:18	164.29	171	35.62	3.13	111.49
121	1:10:19	162.09	171	35.88	2.98	106.92
122	1:10:20	159.89	171	36.55	1.39	50.80
123	1:10:21	184.09	171	36.4	2.11	76.80
124	1:10:22	203.89	171	35.77	2.8	100.16
125	1:10:23	162.09	171	36.45	0.84	30.62
126	1:10:24	164.29	152	36.45	0.86	31.35
127	1:10:25	157.29	171	36.55	0.83	30.34
128	1:10:26	122.09	171	36.5	0.73	26.65
129	1:10:27	122.09	171	36.5	0.8	29.20
130	1:10:28	99.09	171	36.5	0.84	30.66
131	1:10:29	99.09	152	36.6	0.78	28.55
132	1:10:30	70.89	152	36.45	0.77	28.07
133	1:10:31	55.09	133	36.6	0.64	23.42
134	1:10:32	55.09	124	36.71	0.74	27.17
135	1:10:33	45.89	111	36.5	0.64	23.36
136	1:10:34	45.89	109	36.66	0.81	29.69
137	1:10:35	46.09	95	36.45	0.96	34.99
138	1:10:36	46.09	90	36.5	0.88	32.12
139	1:10:37	46.09	87	36.4	0.75	27.30
140	1:10:39	46.09	79	36.5	0.74	27.01
141	1:10:40	46.09	76	36.5	0.83	30.30
142	1:10:41	46.09	73	36.6	0.81	29.65
143	1:10:42	46.09	69	36.55	1	36.55
144	1:10:43	46.09	69	36.29	1.27	46.09
145	1:10:44	47.89	66	36.66	1.89	69.29
146	1:10:45	49.09	63	36.6	0.99	36.23
147	1:10:46	50.09	57	36.45	1.32	48.11
148	1:10:47	53.89	65	36.45	0.8	29.16
149	1:10:48	56.09	69	36.4	0.88	32.03
150	1:10:49	59.09	71	36.6	0.75	27.45
151	1:10:50	64.89	73	36.6	0.76	27.82
152	1:10:51	71.09	74	36.5	1.92	70.08

153	1:10:52	75.89	74	36.08	1.49	53.76
154	1:10:53	85.89	76	36.45	1.01	36.81
155	1:10:54	87.89	79	36.24	1.02	36.96
156	1:10:55	97.09	85	35.98	1.73	62.25
157	1:10:56	104.89	89	36.6	1.06	38.80
158	1:10:57	139.89	95	36.14	2.17	78.42
159	1:10:58	162.09	104	36.66	0.74	27.13
160	1:10:59	162.09	111	36.5	1.03	37.60
161	1:11:00	162.09	124	35.98	1.42	51.09
162	1:11:01	170.89	133	36.45	0.88	32.08
163	1:11:02	162.09	152	36.5	0.92	33.58
164	1:11:03	162.09	171	36.71	0.87	31.94
165	1:11:04	179.69	190	36.03	1.27	45.76
166	1:11:05	162.09	171	36.4	1.44	52.42
167	1:11:06	162.09	171	36.08	2.05	73.96
168	1:11:07	162.09	171	36.24	1.36	49.29
169	1:11:08	162.09	171	36.03	1.73	62.33
170	1:11:09	146.69	171	35.77	2.4	85.85
171	1:11:10	162.09	171	36.45	1.06	38.64
172	1:11:11	159.89	152	36.24	1.23	44.58
173	1:11:12	162.09	152	36.19	1.75	63.33
174	1:11:14	162.09	171	36.24	1.33	48.20
175	1:11:15	151.09	190	36.4	1.11	40.40
176	1:11:16	166.49	171	36.5	0.91	33.22
177	1:11:17	159.89	171	36.4	1.03	37.49
178	1:11:18	184.09	171	36.4	0.95	34.58
179	1:11:19	159.89	171	36.24	1.05	38.05
180	1:11:20	162.09	171	36.45	0.97	35.36
181	1:11:21	159.89	171	36.34	1.27	46.15
182	1:11:22	162.09	171	36.4	1.53	55.69
183	1:11:23	151.09	190	36.34	1.66	60.32
184	1:11:24	177.49	171	36.24	1.29	46.75
185	1:11:25	162.09	171	36.4	1.85	67.34
186	1:11:26	177.49	171	36.24	1.3	47.11
187	1:11:27	162.09	152	36.4	0.84	30.58
188	1:11:28	162.09	171	36.03	2.35	84.67
189	1:11:29	157.69	171	35.82	2.98	106.74
190	1:11:30	159.89	190	36.55	1.73	63.23
191	1:11:31	159.89	171	36.03	2.66	95.84

192	1:11:32	155.49	171	36.24	1.63	59.07
193	1:11:33	162.09	152	36.45	1.41	51.39
194	1:11:34	113.69	171	36.19	1.02	36.91
195	1:11:35	162.09	152	36.19	2.15	77.81
196	1:11:36	162.09	171	36.08	1.11	40.05
197	1:11:37	162.09	171	35.77	2.12	75.83
198	1:11:38	162.09	171	35.88	2.73	97.95
199	1:11:39	159.89	152	35.88	2.6	93.29
200	1:11:40	159.89	152	35.93	1.32	47.43
201	1:11:41	159.89	171	35.77	2.82	100.87
202	1:11:42	162.09	152	36.14	2.23	80.59
203	1:11:44	162.09	180	36.34	1.77	64.32
204	1:11:45	162.09	180	36.5	1.72	62.78
205	1:11:46	159.89	190	36.55	0.97	35.45
206	1:11:47	155.09	180	36.55	1.03	37.65
207	1:11:49	122.09	176	36.5	1.11	40.52
208	1:11:50	122.09	171	36.5	1.18	43.07
209	1:11:51	99.09	171	36.66	0.83	30.43
210	1:11:52	99.09	152	36.76	0.78	28.67
211	1:11:53	89.89	133	36.6	0.9	32.94
212	1:11:55	85.09	124	36.6	1.38	50.51
213	1:11:56	81.89	111	36.55	0.8	29.24
214	1:11:57	75.49	104	36.55	0.62	22.66
215	1:11:58	70.49	95	36.55	0.78	28.51
216	1:11:59	67.09	91	36.55	0.69	25.22
217	1:12:00	64.89	89	36.5	0.69	25.19
218	1:12:01	61.89	84	36.86	0.73	26.91
219	1:12:02	55.89	80	36.81	0.8	29.45
220	1:12:03	55.89	71	36.6	0.78	28.55
221	1:12:04	50.09	67	36.6	0.86	31.48
222	1:12:05	46.09	59	36.66	1.03	37.76
223	1:12:06	46.09	55	36.29	1.65	59.88
224	1:12:07	47.89	55	36.55	0.76	27.78
225	1:12:08	49.09	52	36.5	1.03	37.60
226	1:12:09	50.09	49	36.45	0.79	28.80
227	1:12:10	53.89	45	36.71	0.76	27.90
228	1:12:11	56.09	49	36.5	0.77	28.11
229	1:12:12	59.09	56	36.4	1.05	38.22
230	1:12:13	64.89	59	36.5	1.78	64.97

231	1:12:14	71.09	64	36.6	1.74	63.68
232	1:12:15	75.89	68	36.45	1.51	55.04
233	1:12:16	85.89	71	36.34	1.44	52.33
234	1:12:17	87.89	74	36.19	1.3	47.05
235	1:12:18	97.09	75	36.24	1.76	63.78
236	1:12:19	104.89	84	36.29	1.37	49.72
237	1:12:20	139.89	79	36.24	1.83	66.32
238	1:12:21	162.09	95	36.5	1.15	41.98
239	1:12:22	142.29	111	36.19	2.44	88.30
240	1:12:23	162.09	127	36.71	1.4	51.39
241	1:12:24	162.09	133	36.34	1.65	59.96
242	1:12:26	164.29	152	36.03	2.58	92.96
243	1:12:27	162.09	171	36.5	2.06	75.19
244	1:12:28	162.09	190	36.55	1.54	56.29
245	1:12:29	162.09	190	36.5	1.13	41.25
246	1:12:30	162.09	171	36.6	1.15	42.09
247	1:12:31	157.69	171	35.98	2.45	88.15
248	1:12:32	162.09	152	36.4	1	36.40
249	1:12:33	162.09	171	36.14	1.5	54.21
250	1:12:34	159.89	190	36.5	1.71	62.42
251	1:12:35	192.89	171	36.4	2.01	73.16
252	1:12:36	162.09	171	36.24	1.78	64.51
253	1:12:37	177.49	171	36.5	1.45	52.93
254	1:12:38	162.09	190	36.4	1.6	58.24
255	1:12:39	159.89	171	36.45	1.65	60.14
256	1:12:40	170.89	171	36.19	1.76	63.69
257	1:12:41	162.09	171	36.45	1.49	54.31
258	1:12:42	162.09	171	36.4	0.88	32.03
259	1:12:43	162.09	190	36.29	2.12	76.93
260	1:12:44	162.09	171	36.45	1.22	44.47
261	1:12:45	162.09	171	36.4	1.09	39.68
262	1:12:46	159.89	171	36.29	1.33	48.27
263	1:12:47	162.09	152	36.45	1.52	55.40
264	1:12:48	159.89	171	36.4	1.72	62.61
265	1:12:49	155.49	190	36.45	1.33	48.48
266	1:12:50	159.89	190	36.14	1.38	49.87
267	1:12:51	159.89	171	36.4	1.25	45.50
268	1:12:52	186.29	171	36.4	0.88	32.03
269	1:12:53	159.89	171	36.34	0.81	29.44

270	1:12:54	162.09	171	36.08	2.24	80.82
271	1:12:55	164.29	171	36.24	2.15	77.92
272	1:12:56	164.29	171	36.08	1.18	42.57
273	1:12:57	159.89	171	35.56	2.16	76.81
274	1:12:58	162.09	171	36.29	1.38	50.08
275	1:12:59	155.49	171	36.08	1.32	47.63
276	1:13:01	159.89	171	36.34	1.24	45.06
277	1:13:02	170.89	171	35.93	2	71.86
278	1:13:03	162.09	171	35.93	2.3	82.64
279	1:13:04	159.89	152	35.77	2.6	93.00
280	1:13:05	122.09	152	36.24	1.74	63.06
281	1:13:06	122.09	152	35.77	1.09	38.99
282	1:13:07	114.09	133	36.71	0.75	27.53
283	1:13:08	70.89	124	36.55	0.89	32.53
284	1:13:09	70.89	120	36.24	0.83	30.08
285	1:13:10	70.89	108	36.66	0.73	26.76
286	1:13:11	57.89	99	36.6	0.66	24.16
287	1:13:12	44.89	90	36.66	0.66	24.20
288	1:13:13	45.89	86	36.45	1.28	46.66
289	1:13:14	46.09	80	36.66	0.81	29.69
290	1:13:15	49.89	72	36.6	1.12	40.99
291	1:13:16	49.89	63	36.6	0.55	20.13
292	1:13:17	54.89	60	36.5	0.8	29.20
293	1:13:18	54.89	50	36.5	0.72	26.28
294	1:13:19	55.89	53	36.6	0.68	24.89
295	1:13:20	55.89	54	36.55	0.61	22.30
296	1:13:21	56.09	56	36.66	0.71	26.03
297	1:13:22	56.09	56	36.45	0.67	24.42
298	1:13:23	56.09	58	36.6	0.9	32.94
299	1:13:24	56.09	61	36.55	0.76	27.78
300	1:13:25	64.89	62	36.55	0.83	30.34
301	1:13:26	64.89	63	36.5	0.79	28.84
302	1:13:27	64.89	67	36.6	0.78	28.55
303	1:13:28	74.89	69	36.55	0.75	27.41
304	1:13:29	76.89	71	36.55	0.82	29.97
305	1:13:30	75.89	73	36.6	0.65	23.79
306	1:13:31	85.89	77	36.55	0.76	27.78
307	1:13:32	87.89	79	36.66	0.95	34.83
308	1:13:33	100.89	83	36.66	1.25	45.83

309	1:13:34	115.09	89	36.34	0.95	34.52
310	1:13:35	139.89	95	36.66	1.63	59.76
311	1:13:37	162.09	111	36.76	0.93	34.19
312	1:13:38	162.09	124	36.4	1.42	51.69
313	1:13:39	162.09	124	36.29	0.98	35.56
314	1:13:40	162.09	133	36.08	2.1	75.77
315	1:13:41	162.09	152	35.82	2.37	84.89
316	1:13:42	131.29	171	36.34	1.75	63.60
317	1:13:43	164.29	171	35.77	1.63	58.31
318	1:13:44	159.89	171	36.34	1.78	64.69
319	1:13:45	159.89	190	36.71	0.9	33.04
320	1:13:46	162.09	190	36.34	0.9	32.71
321	1:13:47	159.89	171	36.45	1.59	57.96
322	1:13:48	155.49	171	36.4	1.32	48.05
323	1:13:49	162.09	171	36.6	1.23	45.02
324	1:13:50	162.09	171	36.29	1.28	46.45
325	1:13:51	210.49	190	36.5	0.95	34.68
326	1:13:52	162.09	190	36.4	1.26	45.86
327	1:13:53	162.09	171	36.45	1.03	37.54
328	1:13:54	164.29	152	36.29	1.34	48.63
329	1:13:55	159.89	171	36.6	0.9	32.94
330	1:13:56	162.09	171	36.19	0.89	32.21
331	1:13:57	162.09	190	36.29	1.06	38.47
332	1:13:58	162.09	171	36.55	1.7	62.14
333	1:13:59	162.09	171	36.29	0.91	33.02
334	1:14:00	162.09	171	36.24	1.41	51.10
335	1:14:01	159.89	171	36.29	1.13	41.01
336	1:14:02	162.09	152	36.45	0.95	34.63
337	1:14:03	159.89	171	36.34	2.19	79.58
338	1:14:04	159.89	171	36.14	0.88	31.80
339	1:14:05	164.29	171	36.5	1.68	61.32
340	1:14:06	115.89	171	36.4	1.85	67.34
341	1:14:07	179.69	171	36.45	2.47	90.03
342	1:14:08	162.09	190	36.45	1.25	45.56
343	1:14:09	146.69	171	36.4	1.22	44.41
344	1:14:11	162.09	171	36.4	0.91	33.12
345	1:14:12	201.69	171	36.19	1.84	66.59
346	1:14:13	164.29	171	36.34	2.25	81.77
347	1:14:14	162.09	171	36.5	1.36	49.64

348	1:14:15	162.09	171	36.24	1.68	60.88
349	1:14:16	164.29	152	36.45	1.18	43.01
350	1:14:17	159.89	152	36.29	1.7	61.69
351	1:14:18	155.49	152	36.19	1.47	53.20
352	1:14:19	164.29	171	36.08	1.7	61.34
353	1:14:20	168.69	171	36.34	1.61	58.51
354	1:14:21	162.09	171	35.62	2.9	103.30
355	1:14:22	162.09	171	35.88	2.25	80.73
356	1:14:23	157.69	171	35.67	2.94	104.87
357	1:14:24	162.09	171	35.82	2.26	80.95
358	1:14:25	166.49	171	36.03	2.99	107.73
359	1:14:26	159.89	171	36.4	2.48	90.27
360	1:14:27	162.09	171	36.66	2	73.32
361	1:14:28	162.09	171	36.6	1.11	40.63
362	1:14:29	157.29	171	36.71	1.22	44.79
363	1:14:30	122.09	171	36.6	1.26	46.12
364	1:14:31	122.09	171	36.6	0.88	32.21
365	1:14:32	99.09	152	36.55	0.65	23.76
366	1:14:33	99.09	152	36.6	0.74	27.08
367	1:14:34	70.89	152	36.55	0.73	26.68
368	1:14:35	55.09	152	36.45	0.91	33.17
369	1:14:36	55.09	133	36.4	0.67	24.39
370	1:14:37	45.89	124	36.6	0.73	26.72
371	1:14:38	45.89	111	36.5	0.62	22.63
372	1:14:39	46.09	109	36.6	0.6	21.96
373	1:14:40	46.09	95	36.6	0.88	32.21
374	1:14:41	46.09	90	36.66	0.8	29.33
375	1:14:42	46.09	87	36.55	0.77	28.14
376	1:14:43	46.09	79	36.6	0.92	33.67
377	1:14:44	46.09	76	36.55	0.81	29.61
378	1:14:46	46.09	73	36.45	0.76	27.70
379	1:14:47	46.09	69	36.45	0.81	29.52
380	1:14:48	47.89	69	36.45	0.87	31.71
381	1:14:49	49.09	66	36.29	0.63	22.86
382	1:14:50	50.09	63	36.45	0.72	26.24
383	1:14:51	53.89	57	36.5	0.77	28.11
384	1:14:52	56.09	65	36.29	0.74	26.85
385	1:14:53	59.09	69	36.6	0.79	28.91
386	1:14:54	64.89	71	36.6	0.94	34.40

387	1:14:55	71.09	73	36.55	0.91	33.26
388	1:14:56	75.89	74	36.34	1.26	45.79
389	1:14:57	85.89	74	36.4	1.27	46.23
390	1:14:58	87.89	76	36.71	0.84	30.84
391	1:14:59	97.09	79	36.34	1.33	48.33
392	1:15:00	104.89	85	36.5	1.6	58.40
393	1:15:01	139.89	89	36.4	2.66	96.82
394	1:15:02	164.29	95	36.5	1.35	49.28
395	1:15:03	162.09	104	36.55	1.42	51.90
396	1:15:04	107.09	111	36.29	1.11	40.28
397	1:15:05	157.69	124	35.98	1.47	52.89
398	1:15:06	162.09	133	36.55	1.65	60.31
399	1:15:07	137.89	152	36.6	1.43	52.34
400	1:15:08	157.69	171	36.55	1.15	42.03
401	1:15:09	159.89	190	36.5	1.28	46.72
402	1:15:10	151.09	171	36.55	1.07	39.11
403	1:15:11	162.09	171	36.19	2.46	89.03
404	1:15:12	162.09	171	36.45	2.06	75.09
405	1:15:13	162.09	171	36.6	1.64	60.02
406	1:15:14	162.09	171	36.45	1.29	47.02
407	1:15:15	162.09	190	36.5	1.33	48.55
408	1:15:16	166.49	171	36.4	1.52	55.33
409	1:15:17	159.89	152	36.5	0.85	31.03
410	1:15:18	162.09	171	36.29	0.76	27.58
411	1:15:19	170.89	171	36.5	1.93	70.45
412	1:15:21	190.69	152	36.45	0.83	30.25
413	1:15:22	162.09	171	36.29	1.67	60.60
414	1:15:23	162.09	171	36.5	0.89	32.49
415	1:15:24	162.09	152	36.29	3.27	118.67
416	1:15:25	162.09	171	36.19	1.48	53.56
417	1:15:26	159.89	190	36.14	1.4	50.60
418	1:15:27	162.09	171	36.29	1.3	47.18
419	1:15:28	162.09	171	36.19	1.57	56.82
420	1:15:29	159.89	152	36.4	1.43	52.05
421	1:15:30	162.09	171	36.14	2.38	86.01
422	1:15:31	159.89	171	36.55	1.79	65.42
423	1:15:32	157.69	190	35.93	1.8	64.67
424	1:15:33	162.09	190	36.4	1.36	49.50
425	1:15:34	177.49	171	36.08	1.56	56.28

426	1:15:35	162.09	171	36.29	1.63	59.15
427	1:15:36	159.89	171	36.03	1.06	38.19
428	1:15:37	162.09	152	36.08	1.38	49.79
429	1:15:38	162.09	171	35.88	1.41	50.59
430	1:15:39	164.29	171	35.82	2.66	95.28
431	1:15:40	162.09	171	36.34	1.73	62.87
432	1:15:41	159.89	171	36.29	2.36	85.64
433	1:15:42	162.09	171	36.08	2.89	104.27
434	1:15:43	197.29	171	36.03	1.99	71.70
435	1:15:44	162.09	171	36.14	1.94	70.11
436	1:15:45	162.09	171	36.14	2.68	96.86
437	1:15:46	197.29	171	36.24	1.88	68.13
438	1:15:47	162.09	171	36.4	2.03	73.89
439	1:15:48	159.89	171	36.45	1.08	39.37
440	1:15:49	175.29	171	36.45	1	36.45

Lampiran 2

Data pengujian efisiensi sistem pengendali dinamis menggunakan metode FIS

No	Waktu	Target	Kecepatan Sudut	Tegangan	Arus	Daya
1	1:26:06	0	0	36.92	0.04	1.48
2	1:26:07	56.09	5	36.92	0.08	2.95
3	1:26:08	58.29	10	36.92	0.18	6.65
4	1:26:09	60.49	15	36.29	1.34	48.63
5	1:26:10	60.49	19	36.34	2.03	73.77
6	1:26:11	62.69	19	36.55	1.12	40.94
7	1:26:12	64.89	38	36.5	1.34	48.91
8	1:26:13	69.29	57	36.6	1.63	59.66
9	1:26:14	67.09	57	36.24	1.06	38.41
10	1:26:15	71.49	76	36.29	2.02	73.31
11	1:26:16	73.69	76	36.34	1.22	44.33
12	1:26:17	71.49	84	36.71	1.34	49.19
13	1:26:18	82.49	95	36.03	1.91	68.82
14	1:26:19	89.09	95	36.14	1.63	58.91
15	1:26:20	97.89	101	36.14	2.53	91.43
16	1:26:21	108.89	106	36.14	2.06	74.45
17	1:26:22	115.49	110	36.45	1.65	60.14
18	1:26:23	124.29	124	36.6	1.41	51.61
19	1:26:24	146.29	132	35.98	2.12	76.28
20	1:26:25	150.69	152	35.88	2.4	86.11
21	1:26:26	155.09	152	35.88	2.42	86.83
22	1:26:28	155.09	171	35.98	1.42	51.09
23	1:26:29	155.09	171	36.5	2.18	79.57
24	1:26:30	155.09	171	36.66	1.74	63.79
25	1:26:31	155.09	171	36.86	1.6	58.98
26	1:26:32	155.09	171	36.81	1.22	44.91
27	1:26:33	137.49	171	36.86	1.23	45.34
28	1:26:34	150.69	171	36.34	1.45	52.69
29	1:26:35	155.09	171	36.66	2.07	75.89
30	1:26:36	155.09	171	36.14	1.51	54.57
31	1:26:37	155.09	171	36.34	1.78	64.69
32	1:26:38	108.89	171	36.45	1.41	51.39
33	1:26:39	155.09	171	36.29	1.82	66.05
34	1:26:40	159.49	171	36.4	1.6	58.24
35	1:26:41	155.09	171	36.24	1.9	68.86

36	1:26:42	203.49	171	36.24	2.25	81.54
37	1:26:43	157.29	171	36.08	1.26	45.46
38	1:26:44	157.29	171	36.14	1.52	54.93
39	1:26:45	157.29	171	36.14	1.59	57.46
40	1:26:46	155.09	171	36.34	1.55	56.33
41	1:26:47	159.49	133	36.24	1.33	48.20
42	1:26:48	172.69	152	36.14	2.11	76.26
43	1:26:49	155.09	171	35.67	2.43	86.68
44	1:26:50	155.09	171	35.51	2.67	94.81
45	1:26:51	155.09	171	35.98	2.7	97.15
46	1:26:52	155.09	171	36.5	1.71	62.42
47	1:26:53	155.09	171	36.86	1.41	51.97
48	1:26:54	155.09	152	36.81	1.07	39.39
49	1:26:55	157.29	152	36.92	0.65	24.00
50	1:26:56	122.09	152	36.81	0.85	31.29
51	1:26:57	122.09	152	36.97	0.64	23.66
52	1:26:58	99.09	133	36.55	0.76	27.78
53	1:26:59	99.09	133	36.76	0.57	20.95
54	1:27:00	70.89	133	36.6	0.62	22.69
55	1:27:01	55.09	106	36.6	0.6	21.96
56	1:27:03	55.09	106	36.6	0.47	17.20
57	1:27:04	45.89	95	36.71	0.57	20.92
58	1:27:05	45.89	84	36.6	0.67	24.52
59	1:27:06	46.09	73	36.45	0.62	22.60
60	1:27:07	46.09	65	36.66	0.62	22.73
61	1:27:08	46.09	55	36.66	0.43	15.76
62	1:27:09	46.09	55	36.6	0.49	17.93
63	1:27:10	46.09	55	36.55	0.57	20.83
64	1:27:11	46.09	59	36.66	0.56	20.53
65	1:27:12	46.09	59	36.55	0.69	25.22
66	1:27:13	46.09	59	36.55	0.63	23.03
67	1:27:14	47.89	61	36.55	0.53	19.37
68	1:27:15	49.09	65	36.66	0.56	20.53
69	1:27:16	50.09	65	36.6	0.59	21.59
70	1:27:17	53.89	67	36.6	0.62	22.69
71	1:27:18	56.09	67	36.66	0.66	24.20
72	1:27:19	59.09	69	36.6	0.51	18.67
73	1:27:20	64.89	73	36.66	0.59	21.63
74	1:27:21	71.09	88	36.5	0.53	19.35

75	1:27:22	75.89	95	36.29	0.58	21.05
76	1:27:23	85.89	106	36.55	0.56	20.47
77	1:27:24	87.89	106	36.55	0.54	19.74
78	1:27:25	97.09	106	36.5	0.67	24.46
79	1:27:26	104.89	133	36.6	0.69	25.25
80	1:27:27	139.89	133	36.45	0.77	28.07
81	1:27:28	155.09	152	37.28	1.98	73.81
82	1:27:29	155.09	190	36.81	1.17	43.07
83	1:27:30	155.09	190	36.6	1.05	38.43
84	1:27:31	141.89	171	36.19	2.07	74.91
85	1:27:32	155.09	171	36.34	1.53	55.60
86	1:27:33	155.09	152	37.33	1.53	57.11
87	1:27:34	152.89	171	36.55	1.44	52.63
88	1:27:35	157.29	171	36.6	1.11	40.63
89	1:27:36	152.89	171	36.5	1.15	41.98
90	1:27:38	155.09	171	36.71	1.05	38.55
91	1:27:39	152.89	171	36.6	1.68	61.49
92	1:27:40	155.09	171	36.5	1.11	40.52
93	1:27:41	155.09	171	36.86	1.26	46.44
94	1:27:42	155.09	152	35.98	1.47	52.89
95	1:27:43	155.09	152	36.45	1.19	43.38
96	1:27:44	137.49	152	36.45	1.23	44.83
97	1:27:45	155.09	152	36.45	1.79	65.25
98	1:27:46	155.09	152	36.4	1.66	60.42
99	1:27:47	155.09	171	36.34	1.76	63.96
100	1:27:48	150.69	171	36.45	1.19	43.38
101	1:27:49	168.29	171	36.45	0.64	23.33
102	1:27:50	159.49	152	36.5	0.72	26.28
103	1:27:51	155.09	171	36.24	0.75	27.18
104	1:27:52	155.09	171	36.45	0.84	30.62
105	1:27:53	144.09	171	36.4	1.18	42.95
106	1:27:54	166.09	171	36.34	1.3	47.24
107	1:27:55	155.09	171	36.08	2.1	75.77
108	1:27:56	155.09	171	36.29	1.29	46.81
109	1:27:57	155.09	133	36.19	1.17	42.34
110	1:27:58	155.09	152	36.55	1.01	36.92
111	1:27:59	157.29	171	36.29	1.56	56.61
112	1:28:00	155.09	171	36.14	1.93	69.75
113	1:28:01	155.09	171	35.77	1.73	61.88

114	1:28:02	155.09	171	36.34	1.39	50.51
115	1:28:03	155.09	171	36.34	1.45	52.69
116	1:28:04	150.69	171	36.24	1.38	50.01
117	1:28:05	155.09	114	36.24	1.36	49.29
118	1:28:06	155.09	152	36.14	1.64	59.27
119	1:28:07	155.09	171	36.34	2.37	86.13
120	1:28:08	199.09	171	36.24	1.02	36.96
121	1:28:09	135.29	171	36.29	1.02	37.02
122	1:28:10	152.89	133	36.34	0.99	35.98
123	1:28:11	135.29	152	36.29	0.93	33.75
124	1:28:13	155.09	171	36.29	1.67	60.60
125	1:28:14	155.09	171	36.29	1.03	37.38
126	1:28:15	137.49	171	36.08	1.53	55.20
127	1:28:16	115.49	171	36.03	1.84	66.30
128	1:28:17	155.09	152	36.14	1.82	65.77
129	1:28:18	155.09	152	36.08	1.92	69.27
130	1:28:19	155.09	171	35.46	2.94	104.25
131	1:28:20	155.09	171	35.82	1.75	62.69
132	1:28:21	155.09	171	36.19	2.43	87.94
133	1:28:22	122.09	152	35.67	2.4	85.61
134	1:28:23	122.09	152	36.45	1.21	44.10
135	1:28:24	114.09	152	36.45	0.89	32.44
136	1:28:25	70.89	152	36.5	0.74	27.01
137	1:28:26	70.89	133	36.5	0.81	29.57
138	1:28:27	70.89	133	36.45	0.63	22.96
139	1:28:28	57.89	106	36.24	0.63	22.83
140	1:28:29	44.89	78	36.45	0.81	29.52
141	1:28:30	45.89	66	36.08	0.63	22.73
142	1:28:31	46.09	66	36.5	0.66	24.09
143	1:28:32	49.89	60	36.4	0.68	24.75
144	1:28:33	49.89	55	36.5	0.55	20.08
145	1:28:34	54.89	53	36.45	0.54	19.68
146	1:28:35	54.89	44	36.5	0.49	17.89
147	1:28:36	55.89	44	36.6	0.66	24.16
148	1:28:37	55.89	47	36.4	0.57	20.75
149	1:28:38	56.09	47	36.5	0.66	24.09
150	1:28:39	56.09	49	36.5	0.62	22.63
151	1:28:40	56.09	55	36.4	0.63	22.93
152	1:28:41	56.09	55	36.5	0.56	20.44

153	1:28:42	64.89	59	36.5	0.62	22.63
154	1:28:43	64.89	59	36.5	0.51	18.62
155	1:28:44	64.89	63	36.4	0.54	19.66
156	1:28:45	74.89	66	36.45	0.61	22.23
157	1:28:46	76.89	78	36.5	0.62	22.63
158	1:28:48	75.89	78	36.29	0.59	21.41
159	1:28:49	85.89	95	36.4	0.63	22.93
160	1:28:50	87.89	95	36.5	0.63	23.00
161	1:28:51	100.89	95	36.45	0.69	25.15
162	1:28:52	115.09	102	36.4	0.68	24.75
163	1:28:53	139.89	133	36.55	0.67	24.49
164	1:28:54	155.09	152	36.4	0.66	24.02
165	1:28:55	155.09	152	36.24	0.71	25.73
166	1:28:56	152.89	171	36.5	0.76	27.74
167	1:28:57	152.89	171	36.34	1.23	44.70
168	1:28:58	155.09	152	36.5	1.79	65.34
169	1:28:59	155.09	171	36.66	1.18	43.26
170	1:29:00	155.09	171	36.4	1.35	49.14
171	1:29:01	139.69	152	36.19	1.61	58.27
172	1:29:02	150.69	171	36.66	1.15	42.16
173	1:29:03	155.09	171	36.29	1.6	58.06
174	1:29:04	157.29	171	36.5	0.99	36.14
175	1:29:05	155.09	152	36.6	0.93	34.04
176	1:29:06	157.29	171	36.4	0.64	23.30
177	1:29:07	150.69	171	36.66	0.67	24.56
178	1:29:08	155.09	171	36.45	1.18	43.01
179	1:29:09	157.29	152	36.14	1.56	56.38
180	1:29:10	155.09	171	36.4	1.64	59.70
181	1:29:11	159.49	171	36.29	1.42	51.53
182	1:29:12	155.09	171	36.08	1.78	64.22
183	1:29:13	155.09	171	36.45	0.99	36.09
184	1:29:14	155.09	171	36.34	0.8	29.07
185	1:29:15	155.09	171	36.19	1.68	60.80
186	1:29:16	155.09	171	36.34	1.12	40.70
187	1:29:17	146.29	171	36.4	0.84	30.58
188	1:29:18	177.09	171	36.4	1.53	55.69
189	1:29:19	152.89	171	36.45	0.8	29.16
190	1:29:20	137.49	152	36.29	2.02	73.31
191	1:29:21	192.49	171	36.29	1.01	36.65

192	1:29:23	155.09	171	36.34	1.41	51.24
193	1:29:24	155.09	171	36.4	0.76	27.66
194	1:29:25	157.29	171	36.34	0.94	34.16
195	1:29:26	199.09	171	36.4	0.82	29.85
196	1:29:27	152.89	152	36.34	0.97	35.25
197	1:29:28	155.09	171	36.29	0.84	30.48
198	1:29:29	157.29	171	36.6	0.91	33.31
199	1:29:30	155.09	152	36.03	1.31	47.20
200	1:29:31	155.09	171	36.14	1.39	50.23
201	1:29:32	155.09	171	36.34	1.45	52.69
202	1:29:33	155.09	171	35.82	1.42	50.86
203	1:29:34	155.09	171	36.14	1.93	69.75
204	1:29:35	155.09	171	36.08	1.96	70.72
205	1:29:36	155.09	152	36.19	0.85	30.76
206	1:29:37	155.09	171	35.88	2.32	83.24
207	1:29:38	155.09	171	36.03	1.01	36.39
208	1:29:39	155.09	171	36.14	0.82	29.63
209	1:29:40	155.09	171	36.34	0.81	29.44
210	1:29:41	155.09	152	36.34	1.29	46.88
211	1:29:42	155.09	152	35.62	2.09	74.45
212	1:29:43	155.09	171	36.03	1.16	41.79
213	1:29:44	155.09	171	36.19	1.37	49.58
214	1:29:45	155.09	171	36.03	1.69	60.89
215	1:29:46	155.09	171	36.24	2.09	75.74
216	1:29:47	181.49	171	35.67	3.11	110.93
217	1:29:48	152.89	171	35.41	3.29	116.50
218	1:29:49	155.09	152	35.67	3.03	108.08
219	1:29:50	152.89	152	36.34	1.46	53.06
220	1:29:51	155.09	171	36.14	2.75	99.39
221	1:29:52	148.49	171	36.29	1.06	38.47
222	1:29:53	155.09	171	36.19	1.17	42.34
223	1:29:54	155.09	171	36.5	0.57	20.81
224	1:29:55	122.09	152	36.5	0.66	24.09
225	1:29:56	122.09	152	36.55	0.57	20.83
226	1:29:58	122.09	152	36.5	0.68	24.82
227	1:29:59	105.09	133	36.4	0.61	22.20
228	1:30:00	106.89	133	36.45	0.68	24.79
229	1:30:01	101.89	133	36.55	1.26	46.05
230	1:30:02	99.89	124	36.5	0.65	23.73

231	1:30:03	96.89	124	36.5	0.7	25.55
232	1:30:04	91.09	111	36.45	0.75	27.34
233	1:30:05	90.49	105	36.6	0.59	21.59
234	1:30:06	90.49	100	36.66	0.57	20.90
235	1:30:07	65.89	89	36.55	0.56	20.47
236	1:30:08	60.09	81	36.29	0.75	27.22
237	1:30:09	57.89	73	36.6	0.93	34.04
238	1:30:10	57.89	65	36.5	0.61	22.27
239	1:30:11	56.09	65	36.6	0.62	22.69
240	1:30:12	56.09	65	36.45	0.76	27.70
241	1:30:13	56.09	67	36.6	0.64	23.42
242	1:30:14	55.89	68	36.5	0.55	20.08
243	1:30:15	56.09	68	36.45	0.62	22.60
244	1:30:16	56.09	65	36.45	0.7	25.52
245	1:30:17	56.09	67	36.55	0.75	27.41
246	1:30:18	59.09	67	36.45	0.6	21.87
247	1:30:19	64.89	69	36.4	0.66	24.02
248	1:30:20	71.09	73	36.5	0.67	24.46
249	1:30:21	75.89	88	36.5	0.55	20.08
250	1:30:22	85.89	95	36.45	0.61	22.23
251	1:30:23	87.89	106	36.14	0.7	25.30
252	1:30:24	97.09	106	36.19	0.77	27.87
253	1:30:25	104.89	106	36.24	0.68	24.64
254	1:30:26	139.89	133	36.55	0.71	25.95
255	1:30:27	155.09	133	36.24	0.82	29.72
256	1:30:28	155.09	152	36.14	1.3	46.98
257	1:30:29	152.89	152	36.5	1.56	56.94
258	1:30:30	155.09	171	36.14	2.09	75.53
259	1:30:32	155.09	171	36.34	1.36	49.42
260	1:30:33	155.09	171	36.34	1.32	47.97
261	1:30:34	155.09	171	36.5	0.69	25.19
262	1:30:35	157.29	171	37.02	0.74	27.39
263	1:30:36	155.09	171	36.55	0.8	29.24
264	1:30:37	155.09	171	36.66	0.75	27.50
265	1:30:38	155.09	171	36.14	2.28	82.40
266	1:30:39	161.69	152	36.4	1.33	48.41
267	1:30:40	155.09	152	36.14	1.45	52.40
268	1:30:41	155.09	171	35.77	1.88	67.25
269	1:30:42	157.29	171	36.14	1.58	57.10

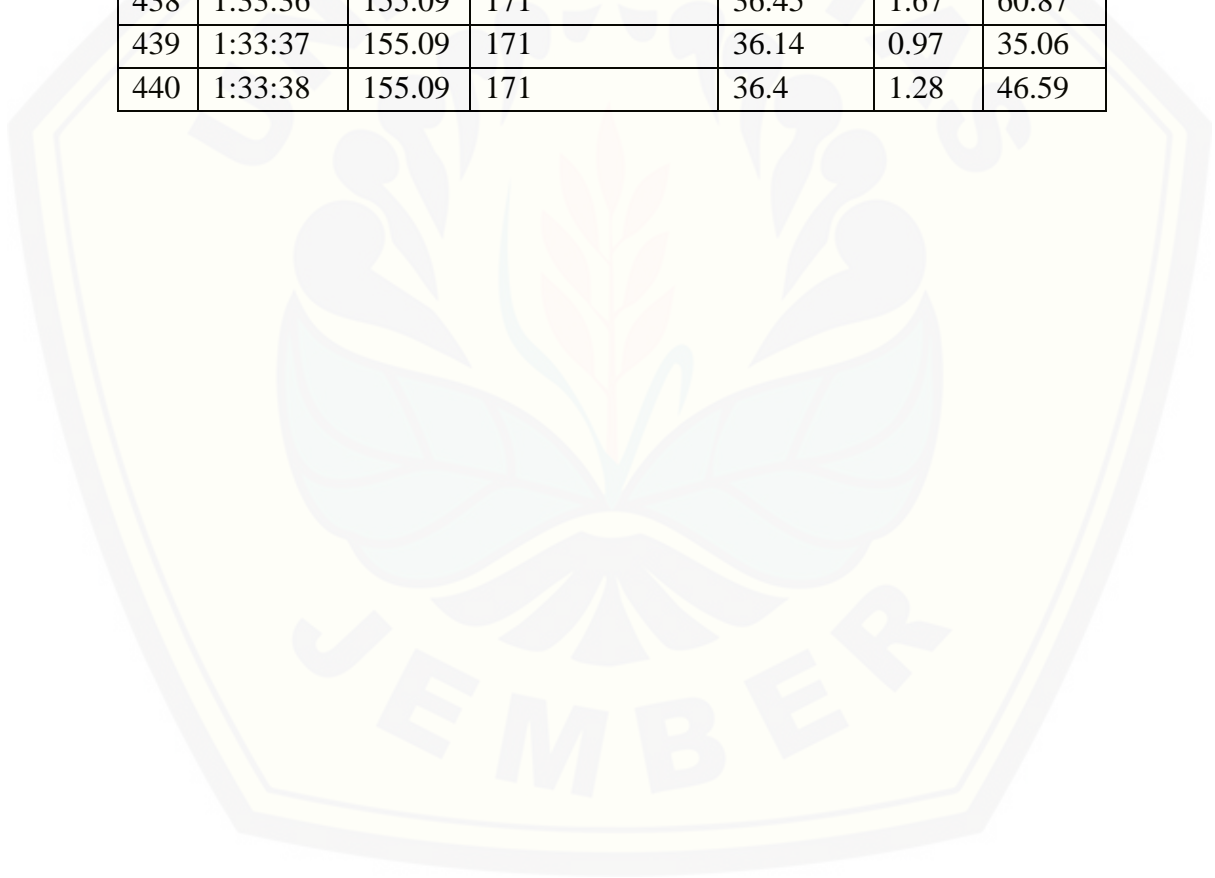
270	1:30:43	155.09	152	36.4	0.98	35.67
271	1:30:44	155.09	171	36.4	1.19	43.32
272	1:30:45	141.89	171	36.4	1.12	40.77
273	1:30:46	155.09	171	35.77	1.01	36.13
274	1:30:47	155.09	171	36.4	1.34	48.78
275	1:30:48	155.09	133	36.24	1.46	52.91
276	1:30:49	155.09	133	36.34	2.02	73.41
277	1:30:50	155.09	171	36.4	0.77	28.03
278	1:30:51	155.09	171	36.45	0.98	35.72
279	1:30:52	155.09	171	36.24	0.9	32.62
280	1:30:53	152.89	171	36.29	1.02	37.02
281	1:30:54	166.09	171	36.4	1.09	39.68
282	1:30:55	155.09	171	36.34	1.24	45.06
283	1:30:56	155.09	171	36.45	0.83	30.25
284	1:30:57	155.09	171	36.19	1.28	46.32
285	1:30:58	159.49	171	36.45	0.89	32.44
286	1:30:59	155.09	171	36.4	1.97	71.71
287	1:31:00	148.49	133	36.29	1.08	39.19
288	1:31:01	155.09	152	36.24	1.79	64.87
289	1:31:02	155.09	152	36.08	1.51	54.48
290	1:31:03	157.29	171	35.93	1.65	59.28
291	1:31:04	155.09	171	36.29	1.4	50.81
292	1:31:05	155.09	171	36.19	0.99	35.83
293	1:31:07	150.69	171	36.08	1.71	61.70
294	1:31:08	155.09	171	36.19	1	36.19
295	1:31:09	155.09	171	36.29	1.12	40.64
296	1:31:10	152.89	171	36.19	1.02	36.91
297	1:31:11	148.49	171	36.19	1.42	51.39
298	1:31:12	155.09	152	36.34	1.11	40.34
299	1:31:13	159.49	152	36.03	2.19	78.91
300	1:31:14	155.09	171	35.98	1.33	47.85
301	1:31:15	155.09	171	36.19	1.93	69.85
302	1:31:16	139.69	171	36.29	1.55	56.25
303	1:31:17	155.09	171	36.14	1.62	58.55
304	1:31:18	155.09	171	35.67	2.62	93.46
305	1:31:19	155.09	171	36.4	2.19	79.72
306	1:31:20	152.89	171	35.98	2.19	78.80
307	1:31:21	155.09	171	36.19	1.86	67.31
308	1:31:22	152.89	152	36.4	0.74	26.94

309	1:31:23	142.89	152	36.5	0.73	26.65
310	1:31:24	129.49	152	36.45	0.62	22.60
311	1:31:25	126.49	141	36.66	0.62	22.73
312	1:31:26	120.89	133	36.76	0.79	29.04
313	1:31:27	105.89	133	36.71	0.55	20.19
314	1:31:28	90.09	121	36.6	0.63	23.06
315	1:31:29	75.89	111	36.71	0.56	20.56
316	1:31:30	66.09	107	36.6	0.56	20.50
317	1:31:31	63.89	93	36.66	0.57	20.90
318	1:31:32	63.89	85	36.66	0.56	20.53
319	1:31:33	63.89	83	36.6	0.59	21.59
320	1:31:34	60.89	81	36.66	0.52	19.06
321	1:31:35	60.89	77	36.24	0.45	16.31
322	1:31:36	60.89	77	36.24	0.57	20.66
323	1:31:37	60.89	74	36.6	0.53	19.40
324	1:31:38	60.89	74	36.5	0.63	23.00
325	1:31:39	63.89	73	36.55	0.65	23.76
326	1:31:40	63.89	70	36.45	0.53	19.32
327	1:31:41	63.89	65	36.55	0.52	19.01
328	1:31:43	63.89	67	36.5	0.59	21.54
329	1:31:44	63.89	67	36.5	0.74	27.01
330	1:31:45	63.89	69	36.6	0.77	28.18
331	1:31:46	75.89	80	36.5	0.72	26.28
332	1:31:47	84.89	88	36.6	0.7	25.62
333	1:31:48	85.89	95	36.55	0.59	21.56
334	1:31:49	85.89	106	36.6	0.68	24.89
335	1:31:50	87.89	111	36.45	0.89	32.44
336	1:31:51	97.09	106	36.55	0.65	23.76
337	1:31:52	104.89	133	36.34	0.81	29.44
338	1:31:53	139.89	133	36.4	0.68	24.75
339	1:31:54	155.09	152	36.4	0.89	32.40
340	1:31:55	155.09	152	36.5	0.99	36.14
341	1:31:56	152.89	171	36.5	1.2	43.80
342	1:31:57	155.09	171	36.19	1.85	66.95
343	1:31:58	159.49	133	35.77	2.22	79.41
344	1:31:59	152.89	152	36.29	1.41	51.17
345	1:32:00	157.29	171	36.81	2.29	84.29
346	1:32:01	155.09	171	36.6	1.26	46.12
347	1:32:02	155.09	171	36.66	1.07	39.23

348	1:32:03	155.09	171	36.71	1.45	53.23
349	1:32:04	157.29	171	36.81	1.23	45.28
350	1:32:05	155.09	171	36.76	1.24	45.58
351	1:32:06	155.09	171	36.6	0.91	33.31
352	1:32:07	155.09	152	36.4	0.97	35.31
353	1:32:08	155.09	171	36.34	1.05	38.16
354	1:32:09	155.09	171	36.34	1.27	46.15
355	1:32:10	157.29	171	35.93	1.19	42.76
356	1:32:11	152.89	153	36.24	1.18	42.76
357	1:32:13	155.09	171	36.29	0.93	33.75
358	1:32:14	155.09	171	36.08	1.72	62.06
359	1:32:15	163.89	171	36.34	0.85	30.89
360	1:32:16	157.29	171	36.5	1.07	39.06
361	1:32:17	155.09	171	36.4	0.66	24.02
362	1:32:18	155.09	171	36.45	0.85	30.98
363	1:32:19	150.69	171	36.5	0.72	26.28
364	1:32:20	157.29	152	36.34	0.74	26.89
365	1:32:21	155.09	171	36.45	0.91	33.17
366	1:32:22	155.09	171	36.19	0.84	30.40
367	1:32:23	185.89	171	36.03	1.68	60.53
368	1:32:24	155.09	171	36.5	0.82	29.93
369	1:32:25	152.89	152	35.98	1.95	70.16
370	1:32:26	155.09	152	36.55	0.78	28.51
371	1:32:27	168.29	152	36.45	1.09	39.73
372	1:32:28	157.29	171	36.4	0.94	34.22
373	1:32:29	155.09	171	36.29	1.1	39.92
374	1:32:30	155.09	171	36.45	0.9	32.81
375	1:32:31	155.09	152	36.24	1.87	67.77
376	1:32:32	139.69	152	36.08	1.7	61.34
377	1:32:33	159.49	133	36.19	1.2	43.43
378	1:32:34	155.09	152	36.19	1.55	56.09
379	1:32:35	163.89	152	36.14	1.14	41.20
380	1:32:36	155.09	152	36.03	1.99	71.70
381	1:32:37	137.49	171	36.08	1.48	53.40
382	1:32:38	155.09	171	36.4	1.07	38.95
383	1:32:39	155.09	171	36.14	1.44	52.04
384	1:32:40	196.89	171	35.98	1.44	51.81
385	1:32:41	155.09	171	35.98	1.25	44.98
386	1:32:42	155.09	171	36.03	1.37	49.36

387	1:32:43	196.89	171	36.29	1.3	47.18
388	1:32:44	155.09	171	35.82	2.14	76.65
389	1:32:45	155.09	171	36.03	1.08	38.91
390	1:32:46	155.09	152	35.77	2.88	103.02
391	1:32:48	122.09	152	35.62	2.76	98.31
392	1:32:49	122.09	152	36.14	2.81	101.55
393	1:32:50	99.09	133	36.29	1.74	63.14
394	1:32:51	99.09	133	36.5	1.45	52.93
395	1:32:52	89.89	133	36.45	0.71	25.88
396	1:32:53	85.09	106	36.6	0.64	23.42
397	1:32:54	81.89	106	36.45	0.65	23.69
398	1:32:55	75.49	95	36.34	0.64	23.26
399	1:32:56	70.49	84	36.34	0.72	26.16
400	1:32:57	67.09	73	36.34	0.62	22.53
401	1:32:58	64.89	65	36.29	0.76	27.58
402	1:32:59	61.89	65	36.45	0.7	25.52
403	1:33:00	55.89	60	36.4	0.53	19.29
404	1:33:01	55.89	60	36.4	0.67	24.39
405	1:33:02	50.09	59	36.45	0.72	26.24
406	1:33:03	46.09	54	36.4	0.57	20.75
407	1:33:04	46.09	50	36.5	0.61	22.27
408	1:33:05	47.89	55	36.4	0.53	19.29
409	1:33:06	49.09	55	36.45	1.11	40.46
410	1:33:07	50.09	59	36.45	0.64	23.33
411	1:33:08	53.89	67	36.5	0.62	22.63
412	1:33:09	56.09	67	36.45	0.86	31.35
413	1:33:10	59.09	69	36.29	0.67	24.31
414	1:33:11	64.89	73	36.45	0.64	23.33
415	1:33:12	71.09	88	36.29	0.63	22.86
416	1:33:13	75.89	95	36.4	1.52	55.33
417	1:33:14	85.89	106	36.45	0.76	27.70
418	1:33:15	87.89	106	36.45	0.59	21.51
419	1:33:16	97.09	106	36.45	0.77	28.07
420	1:33:17	104.89	133	36.5	0.77	28.11
421	1:33:18	139.89	133	36.24	0.68	24.64
422	1:33:19	155.09	152	36.45	0.56	20.41
423	1:33:20	155.09	171	36.34	0.74	26.89
424	1:33:21	157.29	171	36.4	0.99	36.04
425	1:33:23	159.49	171	36.4	1.3	47.32

426	1:33:24	157.29	171	36.34	0.78	28.35
427	1:33:25	155.09	171	36.6	0.8	29.28
428	1:33:26	157.29	152	36.45	1.17	42.65
429	1:33:27	159.49	152	36.08	1.48	53.40
430	1:33:28	155.09	152	36.19	2.08	75.28
431	1:33:29	155.09	171	36.34	1.11	40.34
432	1:33:30	155.09	171	36.4	1.54	56.06
433	1:33:31	155.09	171	38.58	1.05	40.51
434	1:33:32	155.09	114	36.34	1.11	40.34
435	1:33:33	155.09	171	36.55	0.83	30.34
436	1:33:34	155.09	152	36.55	0.74	27.05
437	1:33:35	168.29	171	36.55	0.88	32.16
438	1:33:36	155.09	171	36.45	1.67	60.87
439	1:33:37	155.09	171	36.14	0.97	35.06
440	1:33:38	155.09	171	36.4	1.28	46.59



Lampiran 3

Skematik sistem pengendali

