

KATA PENGANTAR

Jurnal ROTOR merupakan jurnal yang diterbitkan oleh Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang memuat artikel ilmiah dalam bidang Konversi Energi, Design/Perancangan, Teknik Produksi, Material serta bidang lain yang terkait dengan Teknik Mesin. Hasil penelitian yang diterbitkan dalam jurnal ini diharapkan dapat menambah khasanah pengetahuan di bidang Teknik Mesin serta menjadikan sarana bagi para profesional baik dari dunia usaha, pendidikan, ataupun peneliti untuk menyebarluaskan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang Teknik Mesin melalui publikasi hasil penelitian.

Terima kasih disampaikan kepada para penulis yang telah mengirimkan artikel untuk dimuat pada Jurnal Rotor Volume 6 Nomor 1, April 2013. Mulai Volume 6 Nomor 1 ada perubahan jadwal penerbitan, yang sebelumnya terbit 6 bulan sekali yaitu Januari dan Juli menjadi terbit 2 kali setahun yaitu April dan November. Pada penerbitan edisi ini terdapat 10 artikel hasil penelitian. Dua artikel diantaranya berasal dari luar Universitas Jember. Ada sedikit perubahan pada Dewan Redaksi Jurnal Rotor yaitu Pimpinan dan Sekretaris Redaksi. Hal lain yang baru bagi Jurnal Rotor adalah bahwa mulai terbitan ini dan selanjutnya dibuka peluang untuk artikel hasil penelitian akhir mahasiswa, setelah artikel tersebut dinilai layak oleh tim penyunting. Format penulisan Jurnal Rotor mulai edisi ini juga mengalami sedikit perubahan, yaitu menggunakan format penulisan dua kolom. Perubahan tersebut semua dilakukan dalam rangka memenuhi standar jurnal internasional dan menyesuaikan dengan gaya selingkung di Universitas Jember, dengan harapan ke depan Jurnal Rotor akan semakin meningkat kualitasnya baik dari sisi cetak maupun isinya dan selanjutnya bisa menjadi jurnal terakreditasi. Semoga edisi ini bisa memberi manfaat bagi para pembaca.

Redaksi

DAFTAR ISI

1. Rancang Bangun Sistem Pengaman pada Sepeda Motor dengan Memanfaatkan Sensor Encoder dan Sensor Ping 1 - 4
Kurnia Dwi Artika
2. Analisis Pengaruh Variasi Massa LPG sebagai Refrigeran terhadap Prestasi Kerja dari Lemari Es 5 - 10
Alfons Erick Perkasa, Nasrul Ilminnafik, Digdo Listyadi
3. Analisa Pengaruh Konfigurasi Pipa Pemanas Air Surya terhadap Efisiensi 11 - 16
Darwin
4. Analisis Pengaruh Variasi Grade Bioetanol terhadap Distribusi Temperatur Nyala Api dan Unjuk Kerja pada Kompor Bioetanol Tanpa Sumbu Tipe Top Burner 17 - 24
Adhitia Yanuar Pratama, Andi Sanata, Hary Sutjahjono
5. Pemanfaat Frekuensi Bunyi Material Sebagai Dasar Pengujian Modulus Elastisitas pada Pengujian Tanpa Merusak (Non Destructive Test) 25 - 29
M. Fahrur Rozy H., Abdul Hadi Djaelani, Moch. Agus Choiron
6. Pengaruh Variasi Beban Pendingin terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin dengan Refrigeran R12 dan LPG 30 - 34
Moch. Rizal A. Y, Nasrul Ilminnafik, Digdo Listyadi
7. Pengaruh Microexplosion terhadap Karakteristik Pembakaran Bahan Bakar Minyak Jarak Pagar (*Jathropa Curcas L.*) pada Berbagai Diameter Droplet 35 - 45
Ahmad Adib Rosyadi
8. Pengaruh Kecepatan Relatif Permukaan Gesek dan Temperatur terhadap Koefisien Gesek Blok Rem Komposit Kereta Api 46 - 49
Agus Triono
9. Analisis Kekuatan Tarik dan Kekasaran Kawat Tembaga Hasil Drawing akibat Variasi Persentase Reduksi 50 - 55
Mohammad Firman, Mahros Darsin, Hari Arbiantara B.
10. Pengaruh Proses Pengadukan terhadap Karakter Adonan dan Sifat Biodegradable Plastic yang Dibuat dari Bungkil Biji Jarak Pagar 56 - 60
Hari Arbiantara

RANCANG BANGUN SISTEM PENGAMAN PADA SEPEDA MOTOR DENGAN MEMANFAATKAN SENSOR ENCODER DAN SENSOR PING

Kurnia Dwi Artika¹

¹Staf Pengajar Program Studi Teknik Mesin Otomotif di Politeknik Tanah Laut

ABSTRACT

The natural wealth of South Kalimantan is no doubt. Abundant from across the border, so many stood mining companies, and housing estates. This resulted in local residents' income increases. Welfare is increased compared to regions or islands. With geographical location filled with hills, forests, plantations and swamps, became an important means of transportation in the mobilization of the results of mining, plantation and trading activities. Therefore, it takes a vehicle in the path of effective special / alternative narrow, winding, uphill and downhill to the extreme. The access road is worth it difficult to pass by the four wheels though. So one solution is a two-wheeled vehicle, the motorcycle. but the problem is security vehicles lately theft rise in both daytime or at night, in the house or outside the house, still theft can be done. Existing security system is not adequate to cope with theft / vehicle crime lately. so that the necessary breakthrough in addressing this problem by installing two sensors at the same time the ping ultrasonic sensor and encoder sensor: with the provisions of the ideal distance and height is obtained from ping ultrasonic sensor 0.4 meters and encoder sensor 4.92 meters.

Keywords: ping ultrasonic sensor, encoder, mikrokontroler, lcd,

PENDAHULUAN

Kekayaan alam Kalimantan Selatan tidak diragukan lagi. melimpah ruah dari penjuru perbatasan, sehingga banyak berdiri perusahaan tambang, perkebunan dan perumahan. hal ini mengakibatkan pendapatan penduduk lokal meningkat. Kesejahteraan pun meningkat dibanding daerah / pulau lain.

Dengan letak geografis yang penuh dengan perbukitan, hutan, perkebunan dan rawa, sarana transportasi menjadi penting dalam mobilisasi hasil pertambangan, perkebunan dan kegiatan perdagangan. Maka dari itu, dibutuhkan kendaraan yang efektif dalam menempuh jalur khusus/alternatif yang sempit, berkelok-kelok, menanjak dan menurun dengan ekstrim. Adapun akses jalan yang layak memang sulit untuk dilalui oleh roda empat sekalipun. Maka salah satu solusinya adalah kendaraan roda dua, yaitu sepeda motor.

Dengan segala konsekuensinya, sepeda motor menjadi idola dalam menempuh perjalanan darat di Kalimantan selatan, karena memang akses jalan yang sempit yang hanya bisa dilalui oleh kendaraan roda dua. Semakin meningkatnya populasi sepeda motor, dengan berbagai merk dan modifikasi dikembangkan sesuai dengan medan yang ada di Kalimantan selatan, terutama kota pelaihari.

Di kota Pelaihari, termasuk daerah yang kaya namun tidak semua warganya menikmati kekayaan

tersebut. masih terdapat kesenjangan sosial yang sangat besar. Ada rumah panggung kayu masih berdiri, ada rumah gedung mewah dan megah, perkantoran, perumahan, dan gubuk. hal ini memicu tindakan kriminalitas di kota Pelaihari. Data dari kepolisian setempat mencatat hampir setiap minggu, terjadi curanmor, adanya penodongan/perampasan kendaraan. hal ini sangat meresahkan warga. Maka dari itu, inisiatif modifikasi sistem pengamanan pada sepeda motor perlahan diterapkan oleh warga di Pelaihari, yang ingin kendaraanya aman saat parkir, dan saat masuk garasi.

Sistem pengamanan yang sudah ada saat ini belum cukup untuk menanggulangi tindak pencurian/ kriminalitas kendaraan belakangan ini, baik di siang hari ataupun di malam hari, di dalam rumah ataupun luar rumah, tetap saja tindakan pencurian dapat dilakukan. Kesempatan pencuri itu datang saat kita lengah dengan sepeda motor kita, kurang waspada dan hati-hati, ceroboh tanpa adanya pengaman kunci ganda. Penerapan teknologi pengaman sepeda motor sudah banyak diterapkan, seperti kunci pada tempat kunci yang harus diputar (*lock key*), sistem sensor inframerah yang sangat bermanfaat sebagai pengendali jarak jauh, alarm keamanan, dan otomatisasi pada sistem [1], sensor gembok, gabungan kunci sentuh alarm dan ultrasonik yang data inputannya oleh mikrokontroler diproses sehingga membuat alarm berbunyi dan CDI mati [2], kunci cakram, kunci garpu, hingga kunci smart RFID (*Radio Frequency Identification*) yang

merupakan proses pengidentifikasian suatu objek secara otomatis dengan frekuensi radio yang terdiri dari kartu (Tag) dan pembaca (Reader) [5], serta kunci alarm gprs/sms. Dari semua alat pengaman tersebut masih saja tidak mampu mengendalikan tindakan pencurian dengan diangkat, dirusak paksa kunci T, merusak gembok dan rantai.

Solusi yang ditawarkan adalah dengan menggunakan 2 sensor sekaligus. Fungsinya ada dua, yang pertama adalah ketika sepeda motor diangkat dengan tinggi tertentu maka sensor ping akan bekerja membunyikan alarm. Dan yang kedua adalah jika terjadi pemindahan sepeda motor pada jarak yang ditentukan, maka sensor encoder akan bekerja untuk membunyikan alarm. Kedua hal ini perlu sebagai pencegahan dini terhadap tindakan pencurian sepeda motor, sebelum hilang tanpa kita sadari.

Diharapkan dengan adanya penelitian tentang sistem pengamanan yang lebih canggih, otomatis, dan aman menggunakan sensor encoder dan sensor ping dengan menentukan jarak dan ketinggian letak kerja sensor yang ideal sehingga dapat bekerja dengan baik.

METODOLOGI PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Juli – Nopember 2012 bertempat di Laboratorium Workshop dan Bengkel Prodi Mesin Otomotif Politeknik Tanah Laut, Pelaihari, Kalimantan Selatan.

Alat dan Bahan

A. Alat

Solder, Multi Tester, IC Modul, Obeng mini toolbox, downloader, power supply, soldering attractor, pinset, tang cucut, tang kombinasi, tang potong, dan Bor PCB,

B. Bahan

1. Microcontroller: Resistor, Capacitor, Cristal, lampu LED, diode, depluk, ampenol, soket IC, IC 7805, kawat timah, IC ATmega 8535, TIP 3055, kabel pelangi dan *push button*.

Mikrokontroler adalah suatu *Central Processing Unit* (CPU) yang disertai dengan memori serta sarana *input/output* dan dibuat dalam bentuk *chip*. CPU ini terdiri dari dua bagian yaitu unit pengendali dan unit aritmatika dan logika.

2. Sensor ping (ultrasonik), adalah sebuah sensor ultrasonik yang berfungsi untuk mengukur jarak sebuah benda solid dalam *range* 3 – 300 cm dengan cukup presisi dan tanpa kontak fisik, dengan karakteristik sebagai berikut: (anonim^{ab}, __)

- Tegangan 5 VDC
- Arus 30 mA – 35 mA

- Frekuensi 40kHz
- Dimensi 22x46x16 mm

3. Encoder: proximity sensor, piringan, resistor, depluk, kawat timah dan kabel pelangi.

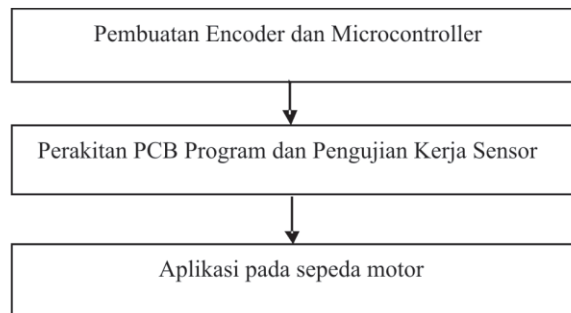
Encoder adalah sebuah peralatan yang menggunakan cakram yang berlubang dan berputar. Terdiri dari dua bagian sisi, sisi atas terdapat emitter yang mengeluarkan sinyal dan sisi bagian bawah sebagai detektor sinyal. Fungsi dari encoder adalah menentukan jarak dan juga menentukan kecepatan.

Cara kerja encoder adalah detektor akan menerima cahaya yang keluar dari emitter yang melewati cakram. Cahaya akan diterima detektor apabila melewati cakram yang berlubang [6].

4. PCB board, kawat timah, switch, clamp, pipa ½ dim, inductor, dan kapasitor keramik

Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini terdiri dari lima tahapan, sebagai berikut:



I. Tahap I - II: Pembuatan Encoder dan Microcontroller

1. Penyolderan dan instalasi bahan encoder dan mikrokontroler
2. Mengaktifkan kerja mikrokontroler dan encoder

II. Tahap III - IV: Perakitan PCB program dan Pengujian Kerja Sensor

1. Penyolderan rangkaian PCB dan pembuatan alur instalasi pada PCB
2. Pengujian program PCB board
3. Pengujian kerja 2 sensor dengan mikrokontroler
4. Penentuan jarak dan tinggi sensor pada aktual dan program
5. Perakitan semua sensor dan daya, power supply untuk diuji coba tahap awal

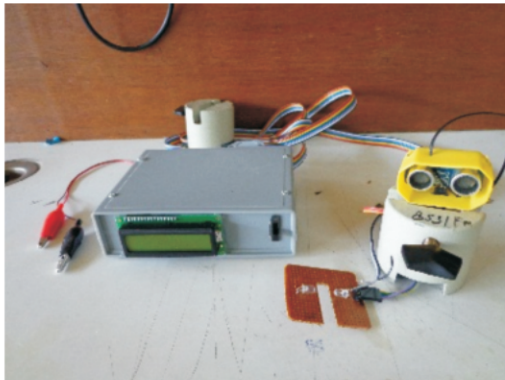
III. Tahap V: Aplikasi pada sepeda motor

1. Perakitan dan penyambungan kabel pada

- sensor, alarm (bel klakson), aki, PCB board
2. Pengujian ulang pada kendaraan bermotor, mengenai fungsi sensor

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk desain yang dibuat adalah sesederhana mungkin, tidak banyak memerlukan tempat, mudah dalam perakitan dan mampu bekerja secara maksimal. Desain rangkaian terdiri atas mikrokontroller (tersepat dalam box abu-abu), sensor encoder (PCB *board* merah) dan sensor ping (box kuning). Seperti gambar 1 di bawah berikut ini.



Gambar 1. Desain rangkaian sensor

Kemudian settingan jarak dan tinggi sensor dibuat menggunakan program bahasa *C assembly*. Seperti gambar 2 di bawah berikut ini.

```

Code Navigator Code Information
1 *****
2 This program was produced by the
3 Chip type : ATmega8535
4 Program type : Application
5 Clock frequency : 4.000000 MHz
6 Memory model : Small
7 External RAM size : 0
8 Data Stack size : 128
9 *****
10
11 #include <mega8535.h>
12 #include <radio.h>
13 #include <delay.h>
14 #include <lcd.h>
15
16 // ***** Parameter nilai masukan *****
17 #define nilai_ketukan=35
18 #define nilai_jarak_min=1040
19
20 // ***** define I/O PORT untuk PING-ultrasonik *****
21 #define PULSE PORTD.0
22 #define ECHO PIND.0
    
```

Gambar 2. Settingan program sensor

Untuk nilai input data program seperti pada gambar di atas adalah nilai ketukan adalah 35. Hal ini mengacu pada putaran piringan/cakram yang jumlahnya dalam satu putaran cakram ada 12 lubang, sehingga kurang lebih ada 3 kali putaran roda depan yang apabila dikonversikan pada jarak saat percobaan adalah 4.92 meter.



Gambar 3. Sensor *encoder*

Sedangkan untuk nilai jarak adalah 1040, yang merupakan counter dari sensor ping antara transmitter dan receiver terhadap bidang datar, yang apabila dikonversikan dalam ketinggian pada saat uji coba adalah 0,4 meter.



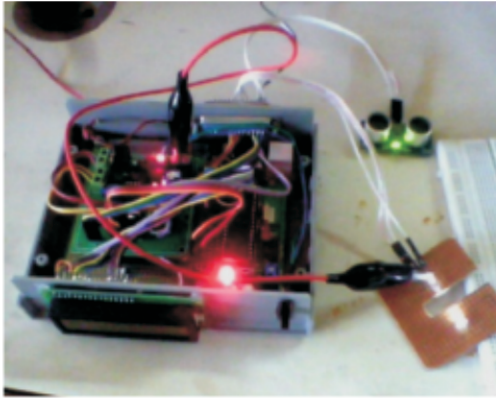
Gambar 4. Sensor ping

Kemudian dari kedua sensor digabungkan dengan menggunakan *mikrokontroller*, dalam pengaturan data *input* dan *output*. Prinsip kerjanya adalah dengan me-*lock* sistem dan membunyikan alarm apabila salah satu sensor telah mencapai nilai maksimal yang sudah di-*setting* sesuai dengan ketinggian dan jaraknya. Dan nilai tersebut akan ditampilkan dalam layar LCD untuk mengetahui letak kesalahan dari pengukuran dan pembacaan (konversi).



Gambar 5. *Mikrokontroller*

Sehingga dari alarm yang berbunyi keras dan kontinyu, yang merupakan tanda peringatan dini dari tindakan pencurian kendaraan bermotor, bisa mencegah dan mengurangi pencurian kendaraan bermotor serta memberikan rasa aman pada masyarakat.



Gambar 8. Rangkaian Uji coba 2 sensor

Percobaan dilakukan sebanyak 4 kali, dalam pengambilan data jarak (meter) dan ketinggian (meter) dari kedua sensor yang terpasang pada sepeda motor. Dan menentukan letak yang ideal dalam desain.

Tabel 1. Data percobaan (konversi)

| Percob | Encoder | Sensor ping |
|--------|---------|-------------|
| 1 | 4.92 | 0.39 |
| 2 | 4.92 | 0.40 |
| 3 | 4.93 | 0.41 |
| 4 | 4.91 | 0.40 |

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain rangkaian sensor minimalis, mudah ditempatkan, dirakit dan mampu bekerja dengan maksimal.
2. Sensor encoder (jarak) dapat bekerja untuk membunyikan alarm pada saat jumlah ketukan 35 titik (lubang cakram) atau sejauh 4,92 meter.
3. Sensor ping (tinggi) dapat bekerja untuk membunyikan alarm pada *counter* data 1040 atau ketinggian 0,4 meter dari permukaan/jalan.

Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan berbagai variasi bunyi alarm yang nyaring dan kontinyu, dalam penerapan/ produksinya nanti sesuai kehendak konsumen.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut dengan variasi

keluaran yang bisa mematikan sistem pengapian bahan bakar (busi) ataupun memutus arus CDI.

3. Melakukan kerjasama dengan produsen sepeda motor, supaya disediakan tempat khusus untuk desain sensor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siddiq, ahmad. 2010. *Perancangan dan Pembuatan Pengaman Sepeda Motor Menggunakan Remot control Inframerah*.
- [2] Teguh.M, Rizal.A. 2011. *Rancang Bangun Sistem Pengaman Sepeda Motor anti Maling*.
- [3] anonim^a. 2006. *PING)))™ Ultrasonic Distance Sensor*.
- [4] anonim^b. _____. *PING)))™ Ultrasonic Range Finder*.
- [5] Hendrik. 2011. *Perancangan dan implementasi sistem keamanan pada sepeda motor menggunakan teknologi rfid*.
- [6] Daryanto.2011. *Teknik Mekatronika*. Bandung: Satu Nusa.

ANALISIS PENGARUH VARIASI MASSA LPG SEBAGAI REFRIGERAN TERHADAP PRESTASI KERJA DARI LEMARI ES

Alfons Erick Perkasa¹, Nasrul Ilminnafik², Digdo Listyadi²

¹ Alumni Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jln. Kalimantan 37, Jember 68121

E-mail: nasrul.unej@gmail.com

ABSTRACT

Refrigerant is a fluid acting on a cooling machine that plays an important role in a carnot cycle cooling engine. In study was done by looking at the effect of adding refrigerant mass variation of the COP (Coefficient of Performance) by using a refrigerant-based non-Freon refrigerant that use LPG (Petroleum Liquefied Gas). In this study using the LPG mass variations 50 grams, 80 grams and 90 grams and use R-12 refrigerant. From the research conducted, the results obtained from the performance engine cooling using refrigerant 80 grams times higher than that using the mass 50 grams and 90 grams, the highest coefficient of performance that is equal to 6,30 The result of research conducted, the result that the COP of the vapor compression machine (fridge) with a variation of the mass is the mass composition 80 grams is best used to obtain the greatest COP.

Keyword : carnot's siklus, COP (Coefficient of Performance), LPG(Liquefied Petroleum Gas),

PENDAHULUAN

Refrigerasi menjadi suatu kebutuhan kehidupan terutama bagi masyarakat perkotaan. Refrigerasi dapat berupa lemari es pada rumah tangga, mesin pembeku (freezer), pendingin sayuran dan buah-buahan pada supermarket dan sebagainya. Mesin refrigerasi kulkas ini perkembangan sangat pesat yang didalamnya terjadi pergeseran pasar yang berkaitan dengan penerapan baru untuk mendukung kestabilannya. Tantangan keteknikan bagi para ahli teknik secara individu yaitu langkah mendesain membaharui serta menginovasi untuk meningkatkan efisiensi mesin refrigerasi tersebut [1].

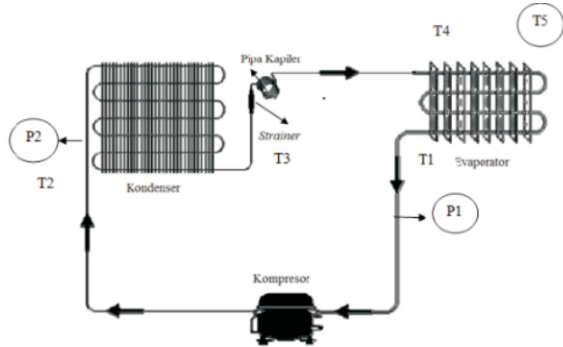
Refrigeran merupakan fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi. Refrigeran adalah fluida kerja yang bersirkulasi dalam siklus refrigerasi karena dialah yang menggunakan efek pendinginan dan pemanasan pada mesin refrigerasi. Namun pada dasarnya refrigerasi merupakan salah satu penyebab timbulnya masalah kontemporer terhadap adanya pemanasan global (global warming) [2]. Terkait dengan hal ini, Protokol Kyoto tahun 1997 tentang perubahan iklim bumi telah mengatur penggunaan refrigerant yang termasuk dalam gas rumah kaca, yakni HFCs (Hidro Fluoro Carbons). Gas-gas yang memiliki potensi efek rumah kaca dikategorikan dalam zat GWP (Global Warming Potential), sedangkan zat perusak lapisan ozon disebut sebagai ODS (Ozon Depleting Substance) [3].

Terdapat tiga hal yang mempengaruhi perkembangan mesin refrigerasi saat ini, yakni: (1) Penghematan energi, (2) Tuntutan refrigerant non-ODS, dan (3) Tuntutan refrigerant non-GWP. Perlu diketahui bahwa efek GWP dan ODS pada zat refrigeran hanya terjadi bila zat tersebut terlepas ke atmosfer yang disebabkan kebocoran pada mesin refrigerasi ataupun penggantian dan recycling refrigerant.[4] Di luar sistem refrigerasi, CFC juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti zat pendorong (propellant), aerosol, zat pengembang, dll [5]. Guna menjawab tiga kebutuhan terkait dengan perkembangan teknologi refrigerasi di atas, ilmuwan dan teknologi melakukan berbagai inovasi yang pada umumnya terkategori dalam tiga hal: (1) Perbaikan prestasi dan karakteristik mesin refrigerasi yang telah eksis, (2) Penelitian guna menghasilkan refrigeran non-ODS dan non-GWP, dan (3) Pencarian teknologi refrigerasi alternatif[6].

Tujuan dari penelitian ini adalah mencoba memberikan solusi dengan mengangkat suatu percobaan pengembangan mesin refrigerasi dengan menggunakan LPG sebagai refrigeran pada sistem refrigerasi tersebut. Diharapkan penelitian ini dapat meningkatkan prestasi kerja mesin LPG dapat menghasilkan refrigeran non-ODS dan non-GWP, dan dapat mengembangkan perbaikan koefisien prestasi dan penghematan energi dengan komposisi LPG yang berbeda sesuai dengan standar produk yang ada dalam pasar di Indonesia [7].

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimen pada system refrigerasi berupa kulkas satu pintu. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah refrigeran R12 dan LPG produk PT Pertamina Indonesia. Untuk mengukur temperatur digunakan termokopel dan *thermometer reader*, dan untuk mengukur tekanan digunakan *pressure gauge*. Rangkaian sistem pendingin di dalam kulkas ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat uji rangkaian

Keterangan gambar:

- P₁ : Tekanan masukan kompresor (bar)
- P₄ : Tekanan masukan kompresor (bar)
- T₁ : Suhu masukan kompresor (°C)
- T₂ : Suhu keluaran kompresor (°C)
- T₃ : Suhu masukan evaporator (°C)
- T₄ : Suhu keluaran evaporator (°C)
- T₅ : Suhu ruangan kulkas (°C)

Penelitian dilakukan dengan variabel bebas berupa massa refrigeran dimana variasi massa LPG adalah 50 gram, 80 gram dan 90 gram dalam keadaan sistem yang sama. Adapun massa refrigeran R12 yang digunakan adalah 80 gram. Variabel terikat yang digunakan adalah tekanan dan temperatur pada beberapa posisi. Penempatan alat ukur ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan data-data hasil pengujian pada refrigeran dilakukan perhitungan untuk mendapatkan kerja kompresi, dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi dan koefisien prestasi mesin pada sistem untuk setiap variasi massa LPG yang digunakan.

HASIL PENELITIAN

Hasil pengujian pada beberapa variasi refrigeran diperoleh data berupa data temperatur pada variasi massa 50 gram, 80 gram dan 90 gram. seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Tekanan Refrigeran

| WAKTU (MENT) | TEKANAN (Bar) | | | | | | | |
|--------------|---------------|----|-----|-----|---------------|----|-----|----|
| | LPG (gram/s) | | | | R-12 (gram/s) | | | |
| | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 | P1 | P2 |
| | 50 | 80 | 90 | 50 | 80 | 90 | 80 | 80 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 8 | 9 | 9 | 0 | 9 |
| 10 | 0 | 0 | 0 | 9 | 10 | 10 | 0 | 10 |
| 15 | 0 | 0 | 0,1 | 9,5 | 10 | 11 | 0,1 | 11 |
| 30 | 0 | 0 | 0,1 | 10 | 10 | 11 | 0,1 | 11 |
| 120 | 0 | 0 | 0 | 11 | 11 | 11 | 0 | 12 |

Tabel 2. Hasil Temperatur Refrigeran LPG

| WAKTU (ment) | TEMPERATUR (°C) | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | T1 | | | T2 | | | T3 | | |
| | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) |
| | 50 | 80 | 90 | 50 | 80 | 90 | 50 | 80 | 100 |
| 5 | 27 | 30 | 28 | 43 | 46 | 52 | 32 | 33 | 32 |
| 10 | 28 | 30 | 28 | 45 | 50 | 54 | 32 | 32 | 32 |
| 15 | 28 | 30 | 28 | 58 | 58 | 58 | 33 | 32 | 33 |
| 30 | 28 | 31 | 30 | 59 | 58 | 59 | 32 | 32 | 32 |
| 120 | 30 | 31 | 30 | 59 | 60 | 62 | 34 | 32 | 32 |

Tabel 2. (lanjutan)

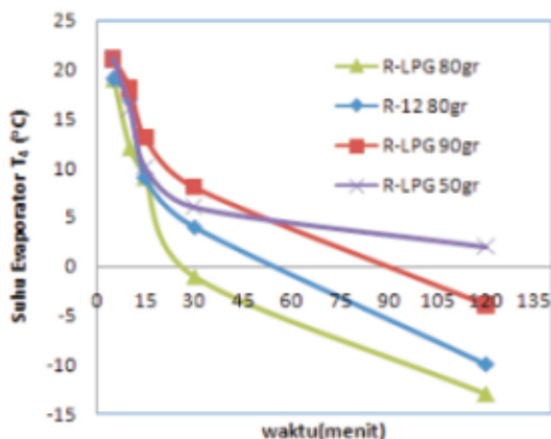
| WAKTU (ment) | TEMPERATUR (°C) | | | | | |
|--------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | T4 | | | T5 | | |
| | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) | LPG (gram) |
| | 50 | 80 | 90 | 50 | 80 | 90 |
| 5 | 21 | 19 | 21 | 28 | 27 | 27 |
| 10 | 16 | 12 | 18 | 26 | 25 | 25 |
| 15 | 10 | 9 | 13 | 25 | 23 | 23 |
| 30 | 6 | -1 | 8 | 15 | 5 | 19 |
| 120 | 2 | -13 | -4 | 10 | 4 | 13 |

Dari data hasil pengujian ini kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan kerja kompresi, dampak refrigerasi, kapasitas refrigerasi, dan koefisien refrigerasi dari sistem refrigerasi. Hasilnya ditampilkan pada grafik dan dilakukan analisa dan pembahasan.

PEMBAHASAN

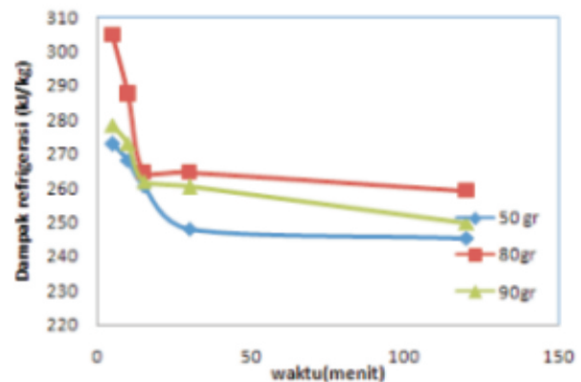
Dari penelitian yang diperoleh pada pengisian R-12 sebanyak 80 gram diperoleh hasil suhu pada pendingin (suhu evaporator) yaitu suhu pendingin akan bertambah rendah terhadap selang waktu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. suhu pada pendingin tersebut mengalami penurunan yang signifikan setelah menit ke 15 sampai dengan menit ke 30 dan selang waktu antara menit 30 ke menit ke 120. Besar temperatur antara selang waktu pada menit ke 30 yaitu 4°C ke menit 120 mencapai -10°C.

Dari penelitian yang diperoleh pada pengisian R-LPG sebanyak 50, 80 dan 90 gram diperoleh hasil suhu pada pendingin (temperatur freezer) yaitu suhu pendingin akan bertambah rendah terhadap selang waktu [9] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Gambar 3 menunjukan bahwa refrigeran LPG dengan massa 80gram mampu menurunkan suhu lebih rendah dari pada pengisian 50 maupun 90 gram. Pada pengisian 80gram LPG pada menit ke 120, suhu pendinginan mencapai -13°C dari pada pengisian pada massa 50 gram dan 90 gram yang hanya mampu menurunkan suhu pendinginan sebesar 2°C dan -4°C.



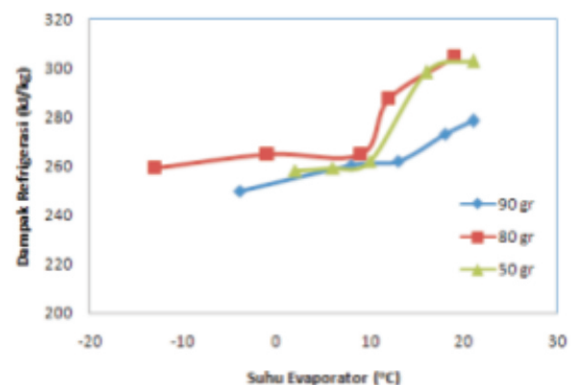
Gambar 3. Hasil Suhu Evaporator T_e terhadap Perubahan Waktu

Dari nilai entalpi dapat diperoleh dampak refrigerasi, kerja kompresi dan koefisien prestasi mesin kompresi dengan rumus : Dampak Refrigerasi : $q_e = h_1 - h_4$; Kerja kompresi : $W = h_2 - h_1$; Kapasitas Refrigerasi: $q = q_e \cdot m$; Koefisien prestasi : $COP = q_e / W$ Dari hasil perhitungan terhadap refrigeran yang menggunakan LPG dengan variasi massa yang berbeda dan dari grafik yang diperoleh disimpulkan bahwa dampak refrigerasi pada tiap aliran massa berbeda. Dampak refrigerasi yang tertinggi pada refrigeran yang menggunakan LPG ini adalah pada pengisian yang menggunakan massa sebesar 80 gram ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Dampak Refrigerasi terhadap waktu

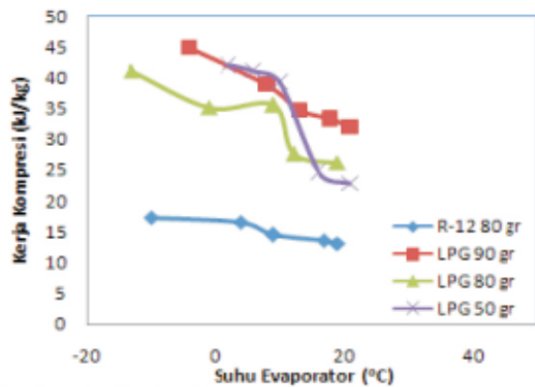
Dari hasil perhitungan terhadap refrigeran yang menggunakan LPG dengan variasi massa yang berbeda dan dari grafik yang diperoleh disimpulkan bahwa dampak refrigerasi pada tiap aliran massa berbeda. Dampak refrigerasi yang tertinggi pada refrigeran yang menggunakan LPG ini adalah pada pengisian yang menggunakan massa sebesar 80 gram ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5 Dampak Refrigerasi terhadap temperatur Evaporator

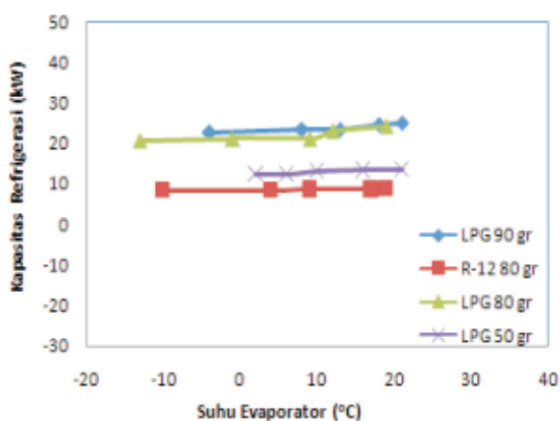
Pada massa tersebut refrigeran mampu menurunkan suhu evaporator lebih dingin yaitu sebesar -13°C dan mampu mengevaporasi uap yang mampu ke evaporator dengan suhu yang lebih tinggi yaitu sebesar 31°C dari posisi dengan variasi massa yang lain. Dampak refrigerasi tertinggi pada menit ke 5 yaitu sebesar 304.7 Joule pada pengisian massa refrigeran sebanyak 80 gram dibandingkan dampak refrigerasi pada pengisian massa sebesar 50 dan 90 gram yang besarnya 302.7 Joule dan 278.3 Joule. Jumlah dampak refrigerasi pada tiap aliran massa akan konstan atau tidak akan berubah bertambah besar secara signifikan karena kondisi sistem sudah pada kondisi steady sepanjang aliran [10].

Pada Gambar 5 terlihat pada menit ke 15 sampai menit ke 120 sistem menunjukan tren konstan sepanjang aliran dan pada Gambar 4 juga demikian, suhu evaporator yang mulai rendah dan mulai stabil pada suhu evaporator dibawah 10°C menunjukan tren konstan sepanjang aliran.



Gambar 6 Kerja kompresi terhadap temperatur evaporator

Dari grafik mengenai kerja kompresi sistem yang diperoleh bahwa kondisi pada variasi massa refrigeran sebesar 90 gram sedikit lebih besar dari pada variasi massa 50 gram, 80 gram serta R-12 80 gram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Hal ini berarti kondisi kerja kompresi pada refrigeran LPG yang menggunakan massa 90 gram lebih mampu mengkompresi sampai suhu lebih tinggi dari pada variasi massa yang lain, yaitu besar keluar suhu di T_1 yang tertinggi sebesar 62°C dengan suhu kondensasi yang stabil sebesar 32°C sama seperti variasi massa yang lain. Kerja kompresi variasi massa 50 gram LPG besarnya 41,95 Joule lebih besar dari LPG 80 gram yang nilainya 41,12 Joule. Sedangkan R-12 dengan massa 80 gram memiliki kerja kompresi yang paling rendah dibandingkan dengan refrigeran LPG yang nilainya 17,35 Joule. Jumlah Kerja kompresi ini setelah menit ke 120 tidak akan berubah bertambah besar maupun bertambah kecil secara signifikan karena kondisi sistem sudah pada kondisi *steady* sepanjang aliran [11].

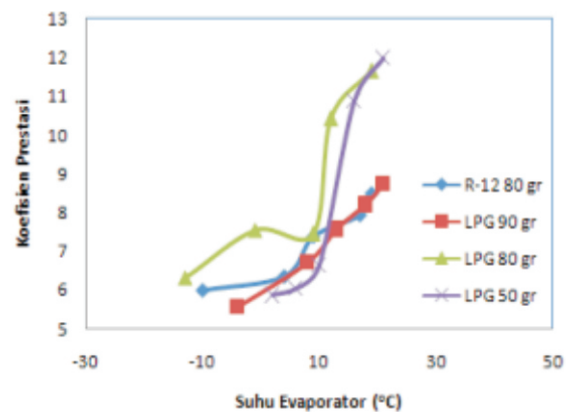


Gambar 7 Kapasitas Refrigerasi terhadap temperatur Evaporator

Dari hasil kapasitas refrigeran pada Gambar 6 dapat terlihat bahwa kapasitas refrigeran menunjukkan tren stabil terhadap perubahan suhu

evaporator. Pada pengisian refrigeran LPG massa 90 gram mempunyai kapasitas yang lebih tinggi dari variasi laju aliran massa yang lain. Pada variasi massa 90 gram kapasitas refrigerasinya mencapai 25.04 kW pada suhu evaporator -4°C . Pada variasi laju aliran massa 80 gram/detik sedikit lebih rendah dari kapasitas refrigerasi yang menggunakan massa 90 gram yaitu kapasitasnya bernilai 24.37 kW pada suhu -13°C . Kapasitas refrigerasi yang paling rendah adalah refrigeran R-12 dengan variasi laju aliran 80 gram/detik. Besar nilai kapasitas refrigerasi yang tertinggi nilainya 10.61 kW pada suhu evaporator -12°C [12].

Dari hasil koefisien prestasi yang diperoleh bahwa pada kondisi awal setelah pengisian koefisien prestasi berubah sepanjang perubahan suhu evaporator setelah sistem terisi refrigeran. Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa koefisien prestasi mesin tertinggi pada variasi massa 80 gram LPG yang ditunjukkan oleh kurva berwarna hijau. Koefisien prestasi pada variasi pada 80 gram mencapai 11.05 pada suhu evaporator menit ke 5. Koefisien prestasi ini berbanding terbalik terhadap suhu evaporator dan akan turun ketika terjadi penurunan suhu evaporator dan pada menit ke 120 koefisiennya mencapai 6.30.



Gambar 7 Koefisien Prestasi terhadap temperatur evaporator

Koefisien prestasi pada variasi massa 50 gram ada pada posisi ke 2 ditunjukkan pada kurva berwarna ungu, dengan koefisien prestasi suhu awal evaporator sebesar 11.59 dan koefisien prestasi pada posisi suhu evaporator akhir sebesar 5,85. Pada variasi massa 90 gram besar koefisien prestasi pada suhu awal evaporator adalah 8.73 ditunjukkan oleh kurva berwarna merah. Koefisien koefisien prestrasi R-12 dengan variasi massa 80 gram yang besarnya 5.99 pada suhu awal evaporator dan 8,48 pada suhu -12°C pada waktu 120 menit. Perubahan menurunnya koefisien prestasi ini disebabkan oleh kerja kompresi yang mulai bertambah besar dan dampak refrigerasinya yang menurun. Dalam selang waktu 15 menit sampai 120 menit terjadi penurunan koefisien

prestasi dari masing-masing variasi massa yang tidak terlalu signifikan dan cenderung stabil. Posisi koefisien sudah menunjukkan kestabilan karena pada sistem sudah dalam kondisi yang *steady* [13]. Dari hasil grafik koefisien prestasi mesin kompresi uap tersebut dapat disimpulkan bahwa refrigeran yang menggunakan LPG dengan variasi massa sebesar 80gram mempunyai koefisien prestasi terbesar daripada variasi massa yang lain. Dibandingkan dengan Refrigeran R-12 dengan variasi massa yang sama refrigeran yang menggunakan LPG koefisien prestasi mesin juga lebih baik daripada yang menggunakan R-12. Secara keseluruhan bahwa prestasi kerja akan stabil terhadap selang waktu pada posisi tersebut tidak akan berubah bertambah besar maupun bertambah kecil secara signifikan karena kondisi sistem sudah pada kondisi *steady* sepanjang aliran.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas pada bab 4 dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Penggunaan LPG sebagai refrigeran terbukti dapat digunakan sebagai refrigeran yang aman dan dapat digunakan sebagai refrigeran pada mesin pendingin kompresi uap.
2. Refrigeran yang menggunakan LPG lebih mampu mendinginkan evaporator lebih cepat daripada menggunakan R-12 sebagai refrigeran.
3. Dampak refrigerasi yang menggunakan refrigeran LPG dengan variasi massa sebesar 80 gram adalah yang tertinggi yaitu sebesar 259,3 Joule daripada dampak refrigerasi variasi massa 50 gram dan 90 gram yang dampak refrigerasinya besarnya 249.81 Joule dan 245.4 Joule.
4. Kerja kompresi yang menggunakan refrigeran LPG dengan variasi massa sebesar 90 gram adalah yang tertinggi yaitu sebesar 44,88 Joule daripada variasi massa 50 gram dan 80 gram yang kerja kompresinya 41,95 Joule dan 41,12 Joule.
5. Prestasi kerja dari mesin pendingin yang menggunakan masa 80gram refrigeran lebih tinggi daripada yang menggunakan massa 50 gram dan 90gram, koefisien prestasi yang tertinggi yaitu sebesar 6,30.

Saran

Dari hasil penelitian mengenai analisis pengaruh variasi massa LPG sebagai refrigeran terhadap prestasi kerja dari mesin pendingin kompresi uap, maka disarankan beberapa hal berikut :

1. Hasil penelitian ini merupakan data pendukung yang dapat digunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan untuk optimasi pemilihan refrigeran serta pemilihan massa refrigeran yang digunakan, dimana untuk meningkatkan besarnya koefisien kerja mesin pendingin kompresi uap.
2. Kajian ini masih terbatas pada analisa menggunakan satu variasi yang dilakukan dalam variasi massa refrigeran. Oleh karena itu, analisa dan penelitian lanjutan yang memvariasikan komponen lain dalam suatu mesin pendingin kompresi uap dapat dilakukan untuk memperoleh hasil yang lebih baik guna meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aziz, Azridjal. Studi Eksperimental Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R22 Pada Kondisi Transient. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 6 No. 2 Desember 2009.
- [2] Baolian Niu ,Yu Feng Zhang (2007) *Experimental; study of the refrigeration cycle performance for the R744/R290 mixtures.*
- [3] Bilal A. Akash a, Salem A. (2003) Said *Assessment of LPG as a possible alternative to R-12 in domestic refrigerators.*
- [4] Heinz Jürgensen, Danfos Compressors GmbH 2009 *Propane as R12 Replacement in Commercial Appliances Thermodynamic Comparison of R290 to Other Refrigerants, Flensburg*
- [5] Ju Hyok Kima, Jin Min Chob, Min Soo Kimb,* 2008 *Cooling performance of several CO2/propane mixtures and glide matching with secondary heat transfer fluid, International journal of refrigeration, Digital Appliance Research Laboratory, LG Electronics Inc., Seoul 153-802, Republic of Korea*
- [6] L. Maclaine-cross, E. Leonardi (1997) *Why Hydrocarbons Save Energy School of Mechanical and Manufacturing Engineering The University of New South Wales Sydney NSW, Australia 2052*
- [7] M. Fatouh, M.E. Kafafy (2006) *Applied Thermal Engineering- Experimental evaluation of a domestic refrigerator working with LPG .*
- [8] Pramacakrayuda, I Gusti Agung, dkk. *Analisis Performansi Sistem Pendingin Ruangan Dikombinasikan dengan Water Heater. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 4 No.1. April 2010 (57-61).*
- [9] Rasta, I made 2011 Kaji Eksperimental Aplikasi Katup EPR Terhadap Temperatur Mesin

- Refrigeran Multievaporator. Jurnal Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali
- [10] Salem A. Said *Assessment of LPG as possible alternative to R-12 in domestic refrigerator* 7 Februari 2002.
- [11] Silalahi, Santi Roselinda. 2006. Analisis Eksergi dan Karakteristik Termodinamik Sejumlah Refrigeran Pada Sistem Kompresi Uap. Skripsi. Departemen Teknik Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- [12] Stoecker, WJ. 1992. *Refrigeran dan Pengkondisian Udara*. Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- [13] Suwono ,Aryadi 2008 Experience In Conversion Of Various HFCF 22 Systems To Hydrocarbon. Thermodynamics Laboratory, Division of Energy Conversion Faculty of Mechanical and Aeronautical Engineering.

ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI PIPA PEMANAS AIR SURYA TERHADAP EFISIENSI

Darwin

Departement Of Mechanical Engineering, Syiah Kuala University
Jl. Tgk. Syeh Abdurrafuf No. 7 Darussalam - Banda Aceh 23111, Indonesia
Phone/Fax:+62-651-7428069 e_mail : darwinmtir@yahoo.com

ABSTRACT

In order to reduce or replace the use of wood fuel, oil and natural gas to heat water, has a lot of research being done to find alternative energy sources. Solar energy is one alternative energy that can be used to heat water. Solar collector is a device that serves to collect the incoming solar energy and convert it into heat energy which in turn forwarded to the working fluid. The purpose of this study solar water heater is to compare the influence of the configuration of pipes and pipe parallel series with the addition of the collector absorber plate honeycomb shaped the performance of solar energy water heater so that it can be efficiency. From research result obtained temperature irrigate in parallel pipe collector tank at angle 5° equal to 52°C and also reached efficiency that is 46,16%, at angle 10° equal to 54°C reached efficiency 48,15%, at angle 15° equal to 51°C reached efficiency 45,10% and at angle 20° equal to 48°C and also reached efficiency that is 39,60% while the water temperature inside the tank to the collector pipe series at angle 5° equal to 48°C reached efficiency is 41,67%, the angle at 10° equal to 49°C reached efficiency is 42,86%, angle 15° equal to 47°C reached efficiency is 40,43% and at an angle 20° equal to 46°C and also reached efficiency that is 39,14%. In general, the obtained results indicate that the solar collector with parallel pipe configuration has better efficiency compared to solar collector with series pipe configuration.

Keywords: Solar Energy, Solar Collectors, Series Pipe, Parallel Pipe, Efficiency

PENDAHULUAN

Energi radiasi dari matahari merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan guna menggantikan energi yang dihasilkan oleh minyak bumi. Indonesia adalah negara yang terletak di daerah equator yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun dengan fluks rata-rata pada siang hari di musim kemarau mencapai harga di atas 1000 W/m², dengan lama penyinaran rata-rata 12 jam/hari, suatu nilai yang cukup tinggi untuk dimanfaatkan. Energi matahari merupakan energi yang tidak terhabiskan, kondisi ini sangatlah penting untuk melakukan berbagai hal dalam bentuk yang baru sehingga dapat digunakan oleh masyarakat Indonesia secara khusus dan masyarakat internasional secara umum.

Letak astronomis Banda Aceh yaitu pada 05°16' 15" - 05° 36' 16" Lintang Utara dan 95° 16' 15" - 95° 22' 35" Bujur Timur serta beriklim tropis, sehingga berpotensi besar dalam penggunaan energi yang berasal dari matahari.

Potensi penggunaan energi matahari ini dapat kita manfaatkan untuk penyinaran, pemanas air, pengering hasil pertanian dan perikanan, sebagai bahan bakar, penghasil tenaga listrik dan lain-lain. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini akan memanfaatkan energi surya sebagai pemanas air yang populer dinamakan kolektor surya plat datar.

Sutrisno (2002) melakukan pengujian kolektor surya pemanas air dengan menggunakan plat absorber gelombang dengan dan tanpa *honeycomb*. Plat absorber

yang digunakan adalah plat seng yang mempunyai sudut = 129°. Pengujian dilakukan dengan variasi laju aliran massa air 300 cc/menit, 400 cc/menit dan 500 cc/menit dan temperature inlet 35 °C, 40 °C, dan 45 °C dengan mengabaikan bayangan yang terbentuk oleh plat gelombang itu sendiri. Dari hasil pengujian maka diketahui kolektor dengan menggunakan plat absorber gelombang dengan *honeycomb* lebih efisien dibandingkan dengan kolektor tanpa *honeycomb*.

Praba Chand dan S. P. Sharma (2009) melakukan percobaan dengan menambahkan luas permukaan absorber disisi dalam *ducting* dan memvariasikan jarak antara *cover* dan *plat absorber* dengan luas permukaan kolektor yang dibuat konstan. Hasil percobaan ini menunjukkan peningkatan temperatur udara, efisiensi dan *heat removal factor* terhadap penambahan *aspect ratio*.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membandingkan pengaruh konfigurasi pipa seri dan pipa paralel dengan penambahan plat absorber pada kolektor yang berbentuk *Honeycomb* terhadap performance pemanas air energi surya.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pembuatan dan pengujian. Pembuatan alat dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, sedangkan pengujian pemanas air energi surya dilaksanakan di halaman Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh pada bulan

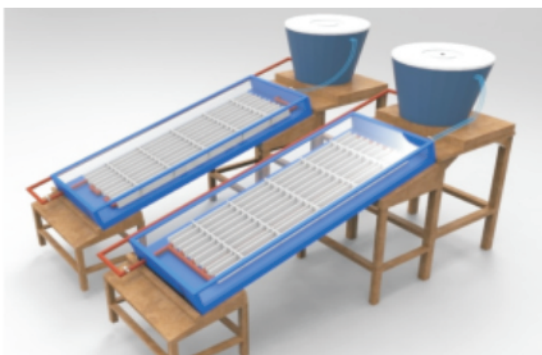
Januari sampai dengan Maret 2013. Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pipa
 - a. Di dalam kolektor : pipa besi dengan diameter 0.5 inch, sebagai pipa absorber.
 - b. Di luar kolektor : pipa PVC dengan diameter 0,5 inch, untuk mengalirkan air masuk dan keluar kolektor.
- 2) Kaca yang digunakan kaca transparan, dengan panjang 1900 mm dan lebar 750 mm dengan ketebalan 5 mm.
- 3) Fluida yang digunakan adalah air.
- 4) Tangki air berfungsi sebagai tempat penampungan.
- 5) Isolasi menggunakan busa dengan panjang 1900 mm, lebar 750 mm dan tebal 3 mm.
- 6) Material absorber menggunakan plat aluminium berbentuk *honeycomb* dengan ketebalan 0.6 mm.
- 7) Thermokopel adalah alat untuk mengukur suhu pada pipa atau dinding kolektor surya.
- 8) Thermometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu ruang atau fluida.
- 9) Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang berhembus di sekitar kolektor.
- 10) Katup adalah sebuah alat untuk mengatur laju aliran suatu fluida dengan menutup, membuka atau menghambat sebagian dari jalannya aliran.
- 11) Kerangka kolektor terbuat dari kayu dan papan.

Prosedur Pengujian

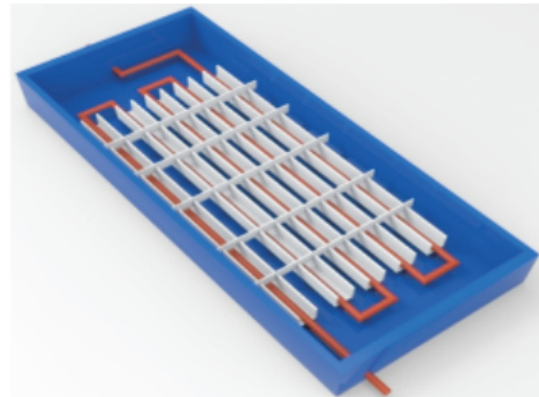
Prosedur pengujian pemanas air energi surya dilakukan dengan membandingkan efisiensi pemanas air antara kolektor surya pipa seri dengan kolektor surya pipa paralel, yang sama-sama menggunakan plat absorber berbentuk *honeycomb*, dimensi sama, dan diteliti pada waktu yang bersamaan.

Pengambilan data dilakukan setiap setengah jam, dengan mengukur temperatur lingkungan, temperatur kaca, temperatur pada plat absorber (*honeycomb*), temperatur pipa-pipa, temperatur air masuk, temperatur air keluar dan temperatur air dalam tangki pada masing-masing kolektor.

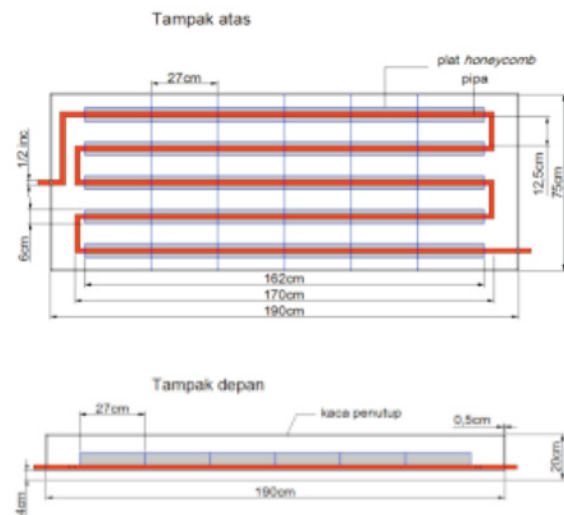


Gambar 1. Skema Pelaksanaan Pengujian

Kolektor Surya Pipa Seri

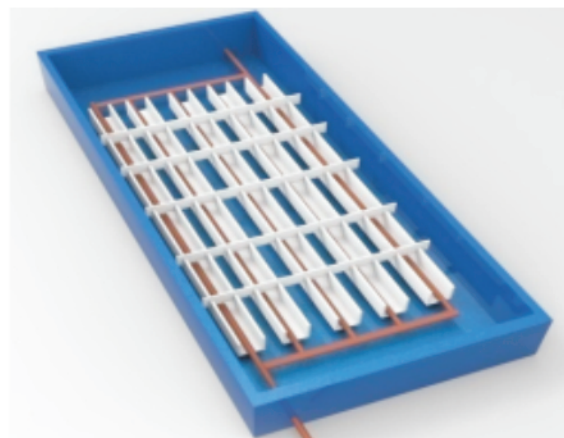


Gambar 2. Kolektor surya Pipa Seri

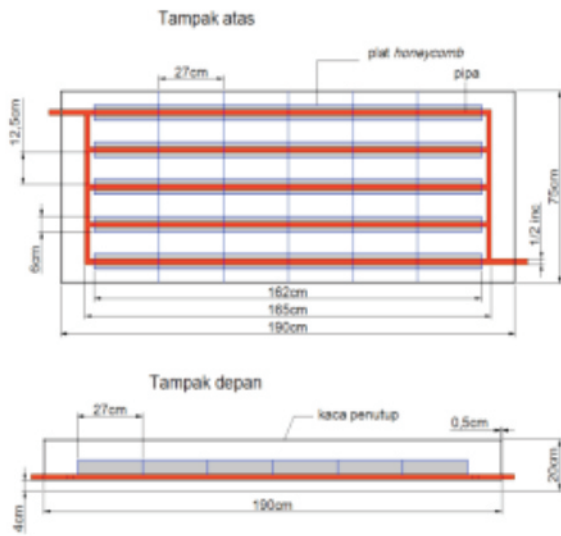


Gambar 3. Penampang Kolektor Surya Pipa Seri

Kolektor Surya Pipa Paralel

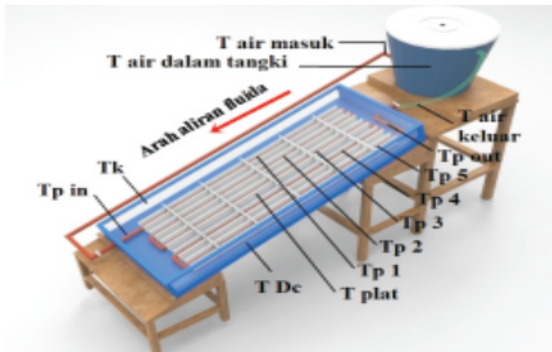


Gambar 4. Kolektor Surya Pipa Paralel

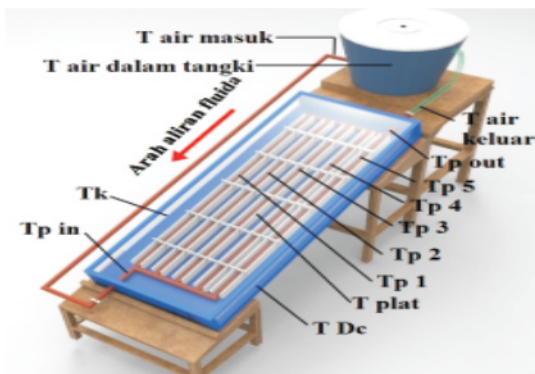


Gambar 5. Penampang Kolektor Surya Pipa Paralel

Penempatan Alat Ukur



Gambar 6. Skema Penempatan Alat Ukur Kolektor Surya Pipa Seri



Gambar 7. Skema Penempatan Alat Ukur Kolektor Surya Pipa Paralel

Keterangan gambar :

- $T_{p\ in}$ = Temperatur pipa masuk
- $T_{p\ out}$ = Temperatur pipa keluar
- T_{p1} = Temperatur pipa 1
- T_{p2} = Temperatur pipa 2
- T_{p3} = Temperatur pipa 3

- T_{p4} = Temperatur pipa 4
- T_{p5} = Temperatur pipa 5
- T_{plat} = Temperatur plat absorber (*honeycomb*)
- T_k = Temperatur permukaan kaca penutup
- T_{Dc} = Temperatur dinding kolektor
- T_{Re} = Temperatur ruang kolektor
- T_{\sim} = Temperatur lingkungan (ambient)

HASIL DAN PEMBAHASAN

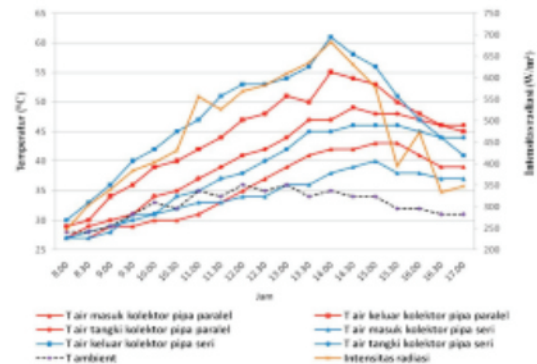
Data Hasil Pengujian

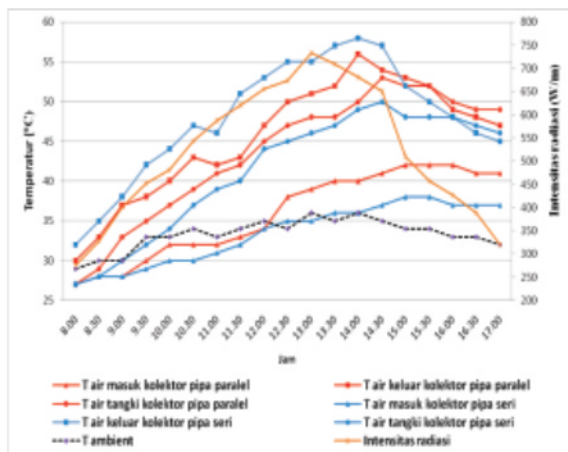
Pada penelitian ini, dilakukan pengambilan data lapangan beberapa hari pada satu kondisi sudut yang sama, ini dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat dari setiap pengujian yang dilakukan. Pada bab ini penulis akan membahas dan membandingkan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian pemanas air energi surya pada kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel. Pengujian juga dilakukan pada beberapa variasi sudut kemiringan kolektor, yaitu pada kemiringan kolektor 5°, 10°, 15° dan 20°. Temperatur yang diamati dan diukur adalah temperatur pipa air masuk ($T_{p\ in}$), temperatur pipa air keluar ($T_{p\ out}$), temperatur pipa 1 (T_{p1}), temperatur pipa 2 (T_{p2}), temperatur pipa 3 (T_{p3}), temperatur pipa 4 (T_{p4}), temperatur pipa 5 (T_{p5}), temperatur plat honeycomb (T_{plat}), temperatur kaca (T_k), temperatur dinding kolektor (T_{Dc}), temperatur air masuk ($T_{F\ in}$), temperatur air keluar ($T_{F\ out}$), temperatur air dalam tangki ($T_{air\ tangki}$) dan temperatur lingkungan (T_{\sim}) yang diukur disekitar kolektor.

Perbandingan Distribusi Temperatur Pada Kolektor Pipa Seri dan Paralel

Pengamatan pada dua jenis kolektor surya yang berbeda yaitu kolektor dengan pipa seri dan kolektor dengan pipa paralel, maka dilakukan pengukuran temperatur pada masing-masing kolektor tersebut, hal ini bertujuan untuk mengetahui jenis kolektor mana yang kemampuan menyerap panas matahari lebih tinggi.

Distribusi Temperatur Kolektor Pipa Seri dan Paralel dengan Kemiringan Sudut 5°

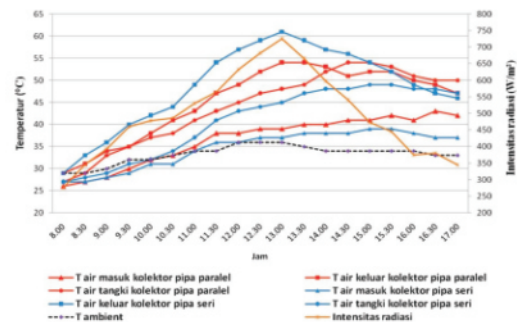




Gambar 8. Grafik distribusi temperatur air masuk, temperatur air keluar, temperatur air dalam tangki, temperatur ambient terhadap waktu

Dari Gambar 8 di atas dapat dilihat bahwa, temperatur air keluar masing masing kolektor (kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel) terjadi peningkatan setiap jamnya sejak pukul 08.00 WIB, tapi pada jam 11.00 WIB mengalami sedikit penurunan temperatur, hal ini diakibatkan terjadinya penurunan suhu lingkungan, kemudian pada jam 11.30 WIB temperatur kembali naik sampai jam 14.00 WIB, setelah itu temperatur turun sampai jam 17.00 WIB. Dari Grafik 4.1 di atas dapat dilihat bahwa temperatur air dalam tangki kolektor pipa paralel lebih tinggi dibandingkan temperatur air dalam tangki kolektor pipa seri, sehingga temperatur air masuk pada kolektor pipa paralel juga lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada kolektor pipa seri karena siklus tertutup. Tetapi temperatur air keluar kolektor pipa seri lebih tinggi dibanding kolektor pipa paralel dari pagi sampai jam 15.00 WIB, menjelang sore dari jam 15.00 WIB sampai jam 17.00 WIB temperatur air keluar kolektor pipa paralel yang lebih besar dibandingkan kolektor pipa seri. Temperatur air keluar tertinggi pada kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel dengan kemiringan sudut 5° adalah pada pukul 14.00 WIB. Temperatur air keluar tertinggi kolektor pipa seri mencapai 58 °C sedangkan temperatur air keluar kolektor pipa paralel tertinggi mencapai 56 °C. Temperatur air dalam tangki pada kolektor pipa paralel dari waktu ke waktu lebih tinggi dibandingkan pada kolektor pipa seri, kemungkinan besar hal ini disebabkan laju aliran massa air yang mengalir dalam pipa-pipa sirkulasi dalam kolektor pipa paralel lebih besar dibanding pipa seri, kesimpulan bahwa banyak sedikitnya laju aliran massa air yang mengalir dalam sistem dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi pipa atau besar kecilnya head loss (rugi tekanan)

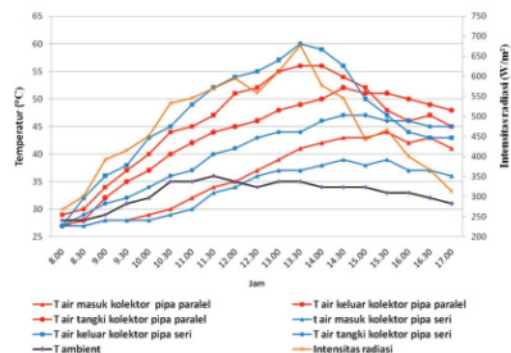
Distribusi Temperatur Kolektor Pipa Seri dan Paralel dengan Kemiringan Sudut 10°



Gambar 9. Grafik distribusi temperatur air masuk, temperatur air keluar, temperatur air dalam tangki, temperatur ambient terhadap waktu

Dari Gambar 9 di atas dapat dilihat bahwa, temperatur air keluar masing masing kolektor (kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel) terjadi peningkatan setiap waktu sejak pukul 08.00 WIB. Dari Grafik 4.2 di atas dapat dilihat bahwa temperatur air dalam tangki kolektor pipa paralel lebih tinggi dibandingkan temperatur air dalam tangki kolektor pipa seri. Temperatur air keluar kolektor pipa seri lebih tinggi dibanding kolektor pipa paralel dari pagi sampai jam 15.00 WIB, tetapi menjelang sore dari jam 15.30 WIB sampai jam 17.00 WIB temperatur air keluar kolektor pipa paralel yang lebih besar dibandingkan kolektor pipa seri. Dalam hal ini pipa seri sangat dipengaruhi oleh kondisi intensitas cahaya matahari, begitu intensitas matahari turun maka temperatur di pipa seri langsung turun. Dapat disimpulkan bahwa jumlah air atau laju air di dalam pipa seri kecil dibanding pipa paralel. Temperatur air keluar tertinggi kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel dengan kemiringan sudut 10° adalah pada pukul 13.00 WIB. Temperatur air keluar tertinggi kolektor pipa seri mencapai 61 °C sedangkan temperatur air keluar kolektor pipa paralel mencapai 54 °C.

Distribusi Temperatur Kolektor Pipa Seri dan Paralel dengan Kemiringan Sudut 15°

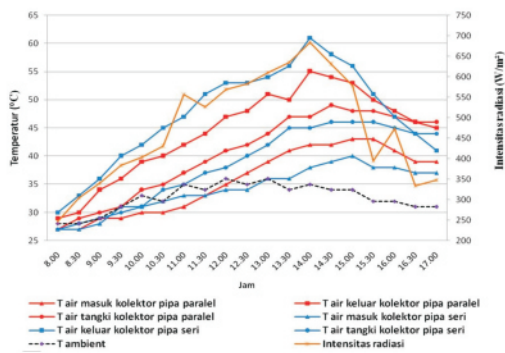


Gambar 10. Grafik distribusi temperatur air masuk, temperatur air keluar, temperatur air dalam tangki, temperatur ambient terhadap waktu

Dari Gambar 10 di atas dapat dilihat bahwa, temperatur air keluar masing masing kolektor (kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel) terjadi peningkatan setiap waktu mulai pukul 08.00 WIB. Dari Grafik pada Gambar 10 di atas dapat dilihat bahwa temperatur air dalam tangki kolektor pipa paralel lebih tinggi dibandingkan temperatur air dalam tangki kolektor pipa seri. Temperatur air keluar kolektor pipa seri lebih tinggi dibanding kolektor pipa paralel dari pagi sampai jam 14.30 WIB, tetapi menjelang sore dari jam 15.00 WIB sampai jam 17.00 WIB temperatur air keluar kolektor pipa paralel yang lebih besar dibandingkan kolektor pipa seri. Temperatur air keluar tertinggi pada kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel dengan kemiringan sudut 15° adalah pada pukul 13.30 WIB. Pada pukul 13.30 selisih antara temperatur air dalam tangki kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel hanya 5 °C. Temperatur air keluar tertinggi kolektor pipa seri mencapai 60 °C sedangkan temperatur air keluar kolektor pipa paralel mencapai 56 °C.

Distribusi Temperatur Kolektor Pipa Seri dan Paralel dengan Kemiringan Sudut 20°

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa temperatur air dalam tangki kolektor pipa paralel lebih tinggi dibandingkan temperatur air dalam tangki kolektor pipa seri, sehingga temperatur air masuk pada kolektor pipa paralel juga lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur pada kolektor pipa seri. Tetapi, temperatur air keluar kolektor pipa seri



Gambar 11. Grafik distribusi temperatur air masuk, temperatur air keluar, temperatur air dalam tangki, temperatur ambient terhadap waktu

lebih tinggi dibanding kolektor pipa paralel dari pagi sampai jam 15.30 WIB, tetapi menjelang sore dari jam 15.30 WIB sampai jam 17.00 WIB temperatur air keluar kolektor pipa paralel yang lebih besar dari kolektor pipa seri. Temperatur air keluar tertinggi kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel dengan kemiringan sudut 20° berada pada pukul 14.00 WIB. Temperatur air keluar tertinggi kolektor pipa seri mencapai 61 °C sedangkan temperatur air keluar kolektor pipa paralel mencapai 55 °C. Temperatur tertinggi air dalam tangki kolektor pipa

seri mencapai 47 °C pada jam 15.00 WIB sedangkan temperatur air dalam tangki kolektor pipa paralel mencapai 49 °C pada jam 14.30 WIB.

Perhitungan Efisiensi Termal

Untuk perhitungan nilai efisiensi masing-masing kolektor surya yaitu pada kolektor pipa seri dan kolektor pipa paralel.

Perhitungan Nilai Efisiensi Termal Kolektor Pipa Seri pada Sudut 5°, 10°, 15° dan 20°

Untuk hasil perolehan efisiensi termal dari beberapa variasi sudut yang diuji pada pipa seri dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Efisiensi kolektor surya pipa seri dengan variasi sudut kemiringan kolektor pada rentang waktu pukul 09.00 – 15.00 WIB.

| No | Tanggal Pengujian | Kemiringan sudut | T tangki jam 09.00 WIB (°C) | T tangki jam 15.00 WIB (°C) | ΔT (°C) | η (%) |
|----|-------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|-------|
| 1 | 05/03/2013 | Sudut 5° | 28 | 48 | 20 | 41,67 |
| 2 | 23/02/2013 | Sudut 10° | 28 | 49 | 21 | 42,86 |
| 3 | 19/02/2013 | Sudut 15° | 28 | 47 | 19 | 40,43 |
| 4 | 24/01/2013 | Sudut 20° | 28 | 46 | 18 | 39,14 |

Perhitungan Nilai Efisiensi Termal Kolektor Pipa Paralel pada Sudut 5°, 10°, 15° dan 20°

Untuk hasil perolehan efisiensi termal dari beberapa variasi sudut yang diuji pada pipa paralel dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Efisiensi kolektor surya pipa paralel dengan variasi sudut kemiringan kolektor pada rentang waktu pukul 09.00 – 15.00 WIB.

| No | Tanggal Pengujian | Kemiringan sudut | T tangki jam 09.00 WIB (°C) | T tangki jam 15.00 WIB (°C) | ΔT (°C) | η (%) |
|----|-------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|-------|
| 1 | 05/03/2013 | Sudut 5° | 28 | 52 | 24 | 46,16 |
| 2 | 23/02/2013 | Sudut 10° | 28 | 54 | 26 | 48,15 |
| 3 | 19/02/2013 | Sudut 15° | 28 | 51 | 23 | 45,10 |
| 4 | 24/01/2013 | Sudut 20° | 28 | 48 | 20 | 39,60 |

Perolehan nilai efisiensi dari pengujian kolektor pipa seri dan pipa paralel dengan beberapa variasi sudut dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Perbandingan nilai efisiensi antara kolektor pipa seri dengan pipa paralel

| No | Tanggal Pengujian | Kemiringan sudut | T (°C) | | η (%) | |
|----|-------------------|------------------|---------|------|------------|-------|
| | | | Paralel | Seri | Paralel | Seri |
| 1 | 05/03/2013 | Sudut 5° | 24 | 20 | 46,16 | 41,67 |
| 2 | 23/02/2013 | Sudut 10° | 26 | 21 | 48,15 | 42,86 |
| 3 | 19/02/2013 | Sudut 15° | 23 | 19 | 45,10 | 40,43 |
| 4 | 24/01/2013 | Sudut 20° | 20 | 18 | 39,60 | 39,14 |

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian pada pemanas air energy surya dengan membandingkan pipa seri dan paralel, dengan luas kolektor dan panjang pipa yang sama, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Efisiensi pada kolektor pipa paralel dengan kemiringan sudut 10° mencapai 48,15 % dan pada kolektor pipa seri mencapai 42,06 %.
2. Selisih efisiensi pada kolektor pipa paralel dan pipa seri pada sudut 5° adalah 4,49 %.
3. Efisiensi termal tertinggi adalah 48,15 % pada kolektor pipa paralel dengan kemiringan sudut 10°.
4. Pengujian kolektor surya pada beberapa variasi kemiringan sudut kolektor, diperoleh bahwa temperatur air dalam tangki kolektor pipa paralel lebih tinggi dibandingkan pipa seri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, Wiranto, 1995, *Teknologi Rekayasa Surya. Flat Plate Solar Collector Performance*, Jakarta:PT Pradnya Paramita;
- [2] Bergman, T. L., DeWitt, D. P., Incropera, F. P., 2007, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Edisi ke-6, John Wiley and Sons, USA;
- [3] Duffie A.John, Beckman A. William, 2005, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, USA;
- [4] Astuti, Puji, 2010, *Desain sistem pemanas air menggunakan radiasi sinar matahari, skripsi*, Jurusan Fisika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang;
- [5] Kalogirou, Soteris A., 2009, *Solar Energy Engineering Process and Systems*, Academic Press, USA;
- [6] Arbi. Achmad. Harahap, 2009, *Pemanfaatan*

energi matahari untuk memanaskan air, Karya Akhir Program Studi Teknologi Mekanik Industri, Universitas Sumatra Utara, Medan;

- [7] Tirtotmodjo Rahardjo, Handoyo Anggraini Ekadewi, 1999, *Unjuk Kerja Pemanas Air Jenis Kolektor Surya Pelat Datar dengan Satu dan Dua Kaca Penutup*, Jurnal Teknik Mesin vol. 1, no. 2, Universitas Kristen Petra;
- [8] Maskur, Iswadi M.Basir, 2009, *Pengaruh diameter pipa penyerap terhadap efisiensi kolektor pemanas air surya plat datar*, Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri, Ujung Pandang;
- [9] Srukmann, Fabio, 2008, *Analisis of A Flat-plate Solar Collector*, *Project Report*, Lund University, Sweden.

ANALISIS PENGARUH VARIASI *GRADE* BIOETANOL TERHADAP DISTRIBUSI TEMPERATUR NYALA API DAN UNJUK KERJA PADA KOMPOR BIOETANOL TANPA SUMBU TIPE *TOP BURNER*

Adhitia Yanuar Pratama¹, Andi Sanata², Hary Sutjahjono²

¹ Alumni Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

ABSTRACT

Top burner cotton less bioethanol stove is one of the appliances that apply the use of renewable fuels for domestic capacity. Application of this stove burner is a solution for scarcity of fossil fuel supplies. This study focused on variations in the distribution of flame temperature and performance on the top burner as grade of bioethanol varies at value of 55%, 70%, 85%, and 97%. Flame temperature distribution measured at of their hot spots and then simulated using Matlab R2011a to obtain isothermal contour flame shape and determine the flame temperature distribution of the flame. Performance testing used Standard International Water Boiling Test version 4.1.2 to determine the power, thermal efficiency, specific fuel consumption, and heat transfer. Results obtained that the flame temperature distribution, in the form of profiles and contours isothermal flame, reached its optimum when using bioethanol grade of 97%. Optimal performance on a stove burner using bioethanol 97% with power stove equal to 1.85 kW, the thermal efficiency of 72.21%, specific fuel consumption (Sfc) 0.512 kg_{oil}/kg_{top}, and heat transfer at value of 2,959 kW was also achieved at the same grade. The higher grade bioethanol used to increase the flame temperature distribution and performance of the stove.

Keywords: Bioethanol, Stove, Temperature Distribution, Performance

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap energi merupakan hal mendasar yang dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Seiring dengan meningkatnya taraf hidup serta kuantitas dari masyarakat, maka semakin meningkat juga kebutuhan akan energi. Hal ini didukung oleh pernyataan Badan Energi Dunia (*International Energy Agency-IEA*), yang menyatakan bahwa hingga tahun 2032 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan sebesar 1,6% per tahun. Sebagaimana besar atau sekitar 80% kebutuhan energi dunia tersebut dipasok dari bahan bakar fosil [1]. Hal ini tentu saja menjadi suatu permasalahan besar yang harus segera dicarikan solusinya.

Kebutuhan energi dari sektor rumah tangga sendiri menyumbang sekitar 13,08 persen [2]. Kebutuhan energi rumah tangga biasanya digunakan untuk memasak dan kebutuhan elektronik, serta untuk memasak yang merupakan kegiatan rutin yang dilakukan sehari-hari.

Sebagai Negara agraris Indonesia sangat potensial mengembangkan industri biofuel nya sendiri. Pertama, bahan baku berupa tanaman energi tersebar di seluruh wilayah Indonesia dari Sabang sampai Merauke. Produksi tanaman energi dari tahun ke tahun juga cenderung meningkat sehingga kita tidak perlu khawatir kekurangan sumber energi nabati ini. Sebagai contoh luas perkebunan tebu dan ubi kayu dari. Kedua jenis tanaman tersebut merupakan bahan baku pembuatan bioetanol.

Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar

kompor untuk memasak dan solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan mulai banyak dikembangkan di Indonesia. Penggunaan bioetanol sendiri, tidak langsung dapat digunakan sehingga membutuhkan *perlakuan* khusus agar didapatkan hasil yang optimum. *Perlakuan* yang dilakukan dapat berupa modifikasi *firewall*, kubung, tangki, mekanisme pemasukan bahan bakar, model api, dan lain sebagainya.

Penelitian-penelitian terdahulu mengenai modifikasi kompor bioetanol telah banyak dilakukan. Anil k. *Rajvanshi dari India* meneliti bioetanol dengan grade bioetanol yang rendah untuk mengaplikasikannya dalam kompor skala rumah tangga [3] dan Dioha *dari Jerman* meneliti keunggulan etanol sebagai energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar kerosen [4]. Di dalam Negeri ada juga penelitian tentang kinerja kompor bioetanol tipe *side burner* dengan variasi diameter *firewall* yang bertujuan mengembangkan potensi energi alternatif dalam penggunaan untuk skala rumah tangga [5] dan juga penelitian dengan pemakaian variasi *grade* bioetanol pada Kompor uji yang digunakan ber dinding api ganda, lubang udara sebaris untuk diameter dinding api 3 inch dan lubang udara susun untuk diameter dinding api 1,5 inch [6]. Dari beberapa penelitian dapat dikembangkan mengenai variasi lubang burner, model burner, dan sampai mekanisme kompor bioetanol agar didapat pemakaian bioetanol yang hemat energi dan bisa dimanfaatkan oleh masyarakat luas.

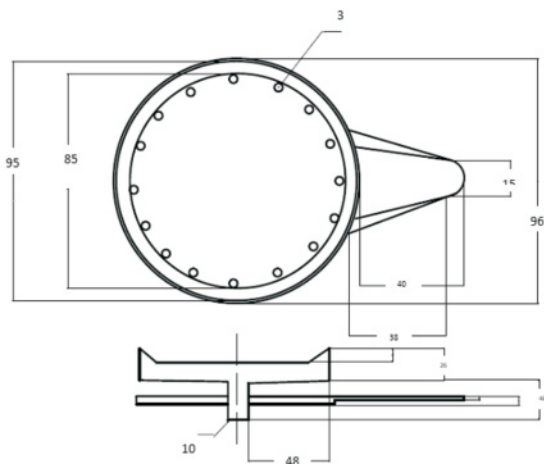
Berangkat dari pemikiran di atas, maka timbul ide untuk berinovasi mengaplikasikan energi alternatif dari bioetanol dan diaplikasikan pada desain kompor bioetanol dengan tipe *top burner* yang diadopsi dari model kompor gas. Sehingga dalam penelitian ini ingin mengetahui pengaruh variasi *grade* bioetanol terhadap distribusi temperatur nyala api dan unjuk kerja kompor bioetanol pada kompor bioetanol tipe *top burner*.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode pengujian distribusi temperatur nyala api dilakukan dengan mengukur temperatur titik api dan kemudian disimulasi menggunakan *tools Matlab R2011a* untuk membantu analisa distribusi nyala api dalam bentuk kontur isothermal nyala api dan mengetahui kecenderungan pemerataan nyala api yang dihasilkan oleh bahan bakar bioetanol. Metode pengujian kinerja kompor menggunakan metode Standart Internasional (*Water Boiling Test*) versi 4.1.2 [7]. Untuk mengetahui daya kompor yang dihasilkan, efisiensi termal, *specific fuel consumption* (sfc), dan perpindahan kalor (*heat transfer*) pada kompor uji. Pengujian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember selama kurang lebih 3 bulan pada bulan Januari - Maret 2013.

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

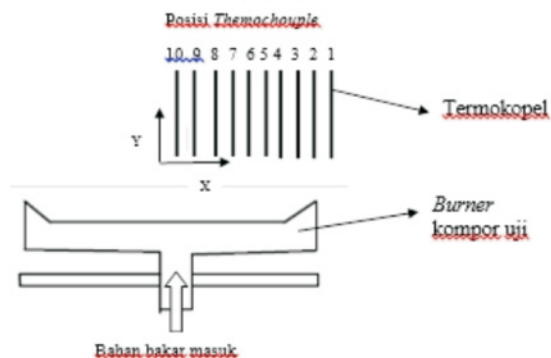
- *Thermocouple* tipe *K MI D.3x100mm* dan *thermochouple reader*.
- Alat bantu eksperimen, seperti obeng, tang, dan lain sebagainya.
- Timbangan digital dan gelas ukur.
- Kompor tanpa sumbu tipe *top burner* dengan desain *burner* disajikan pada Gambar 1.
- *Stop watch* untuk menentukan waktu *water boiling test*.
- Bioetanol dengan dengan kadar 55%, 70%, 85%, dan 97%.



Gambar 1. Desain *burner* kompor uji.

Prosedur pengujian distribusi temperatur nyala api:

- Meletakkan benda kerja yang sesuai di atas
- Menyiapkan dan memeriksa peralatan untuk pengujian temperatur api.
- Menyalakan api pada kompor dan membuka kran aliran bahan bakar hingga api yang dihasilkan maksimal serta stabil.
- Memulai pengujian distribusi temperatur nyala api dengan tanpa menggunakan beban (tanpa proses pendidihan air) pada kompor bioetanol dengan *grade* bioetanol 55%.
- Mengukur temperatur api menggunakan *thermocouple* dengan jarak antar pengukuran *thermocouple* arah vertikal sebesar 5 mm dengan posisi radial atau searah dengan nyala api. Pengukuran dimulai dari ketinggian 150 mm sampai 0 mm atau tepat dipermukaan *burner*, dilanjutkan sampai titik pusat *burner* atau pada tengah burner dengan ketinggian 0 mm, skema pengujian bisa dilihat pada Gambar 2.
- Mencatat perubahan temperatur setiap posisi pengambilan titik api.
- Mengulangi langkah 1 s/d 5 dengan variasi *grade* bioetanol 70%, 85%, dan 97%.



Gambar 2. Skema pengujian pada distribusi temperatur nyala api kompor uji

Prosedur pengujian unjuk kerja kompor:

- Menimbang dahulu air beserta panci pada timbangan dan menyiapkan alat uji yang dibutuhkan yaitu timbangan digital, termokopel, termokopel *reader* dan kompor uji.
- Memasukan bahan bakar (bioetanol) kedalam botol bahan bakar dan meletakkan pada timbangan digital.
- Menyiapkan dan menjalankan alat pengukur waktu pada skala 00:00 untuk menghitung waktu *start up*, dimana alat pengukur waktu tersebut dimatikan pada saat lidah api stabil mulai terbentuk.
- Meletakkan panci yang berisi air dan termokopel yang telah dicelupkan ke dalamnya di atas kompor. Meletakkan termokopel yang lain ke bagian tengah api yang terbentuk.

- c) Memulai pengujian *water boiling test* pada kompor bioetanol dengan kadar bioethanol 55% untuk mengukur kinerja kompor.
- f) Memulai pengujian *water boiling test* tahap I *high power (cold start)* dengan mendidihkan air 2500 ml.
- g) Mencatat waktu tiap pengukuran kenaikan temperatur air sampai mendidih atau 100°C.
- h) Persiapan uji WBT tahap II dan tahap III, dengan menggantikan air yang akan dididihkan dengan air yang baru atau *fresh water* sebanyak 2500 ml.
- i) Memulai pengujian *water boiling test* tahap II *high power (hot start)*.
- j) Mencatat waktu tiap pengukuran kenaikan temperatur air sampai mendidih atau 100°C.
- k) Memulai pengujian *water boiling test* tahap III *high power (hot start)*. Dengan menggunakan bejana dan air pada WBT tahap II, kemudian air dipertahankan suhunya dibawah temperatur didih atau 100°C selama 45 menit.
- l) Mencatat konsumsi bahan bakar selama proses WBT.
- m) Menimbang kembali air beserta panci, untuk mengetahui uap air yang terbuang selama proses pendidihan.
- n) Mengulangi langkah a/s/d n dengan variasi *grade* bioetanol 70%, 85%, dan 97%.
- o) Mematikan kompor bioetanol dan membersihkan peralatan uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penelitian ini akan menjelaskan tentang pengaruh variasi *grade* bioetanol untuk penggunaan pada kompor tanpa sumbu tipe *top burner* terhadap distribusi temperatur nyala api dan unjuk kerja kompor. Untuk distribusi temperatur nyala api membahas tentang profil nyala api, kontur isothermal nyala api, dan temperatur rata-rata nyala. Untuk unjuk kerja kompor membahas tentang daya kompor, efisiensi thermal kompor, *specific fuel consumption* (sfc), dan perpindahan panas (*heat transfer*) pada proses kerja kompor.

Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian distribusi temperatur nyala api pada dapat dibandingkan distribusi temperatur api berupa posisi temperatur tertinggi yang dihasilkan dengan adanya variasi *grade* bioetanol. Perbandingannya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. perbandingan posisi temperatur api tertinggi

| Grade bioetanol | Temperatur tertinggi (°C) | Letak temperatur tertinggi | |
|-----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| | | Posisi termokopel (mm) | Ketinggian (mm) |
| 55% | 769 | 20 | 30 |
| 70% | 872 | 25 | 10 |
| 85% | 886 | 25 | 20 |
| 97% | 912 | 25 | 10 |

Dari hasil pengujian pengujian kinerja kompor metode WBT tahap I atau uji *high power (cold start)* dan catatan hasil uap air yang terbuang selama proses pendidihan. Didapatkan konsumsi bahan bakar dan waktu yang dibutuhkan selama air mendidih hingga mencapai suhu 100°C dengan penggunaan variasi *grade* bioetanol pada kompor bioetanol tanpa sumbu tipe *top burner*. hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji WBT tahap I

| Grade bioetanol | Konsumsi bahan bakar (gram) | Waktu (s) |
|-----------------|-----------------------------|-----------|
| 55% | 471 | 3032 |
| 70% | 289 | 2025 |
| 85% | 159 | 1707 |
| 97% | 110 | 1352 |

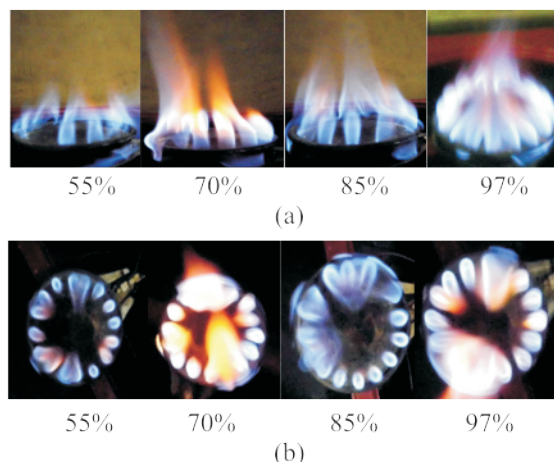
Dari pengambilan data pengujian kinerja kompor metode WBT tahap II dilanjutkan langsung dengan uji WBT tahap III menggunakan air sebanyak 2500 ml. Diperoleh data konsumsi bahan bakar dan uap terbuang yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi bahan bakar dan uap terbuang hasil uji WBT tahap II dan III

| Grade bioetanol | Konsumsi bahan bakar (gram) | Uap air terbuang (gram) |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------|
| 55% | 446 | 1182 |
| 70% | 414 | 920 |
| 85% | 322 | 674 |
| 97% | 242 | 464 |

Profil Nyala Api

Pengamatan profil api dimaksudkan untuk mengetahui kontur nyala api stabil yang terbentuk pada penggunaan variasi *grade* bioetanol. Profil nyala api kompor ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

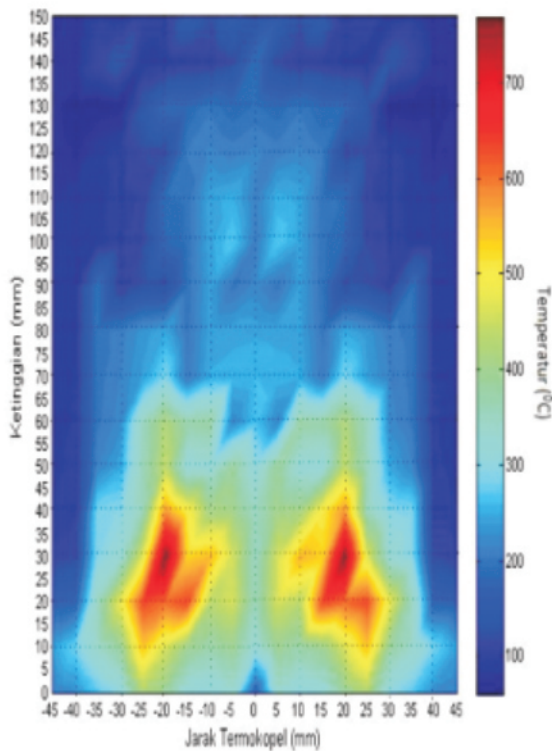


Gambar 3. Profil nyala api pada kompor bioetanol (a) tampak samping, (b) tampak atas

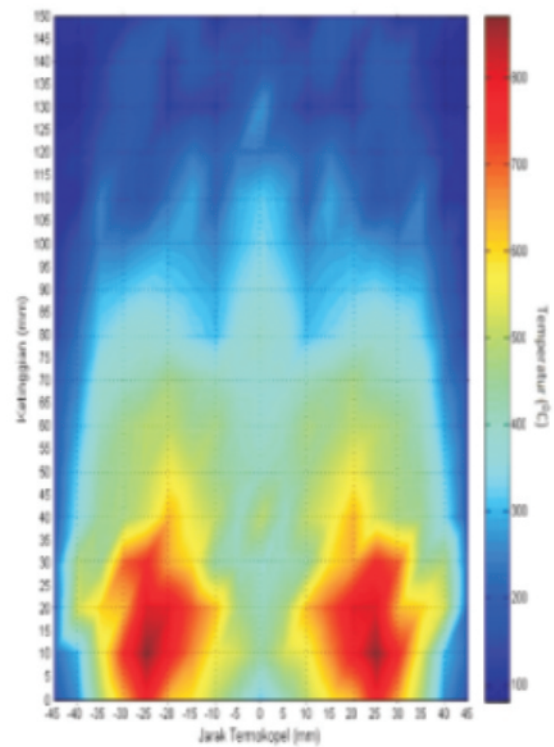
Dari Gambar 3 di atas tampak penggunaan variasi *grade* bioetanol pada kompor uji mampu menampilkan api yang stabil dan berwarna biru. Meskipun untuk kompor uji dengan *grade* bioetanol 70% didapatkan model api yang tidak hanya berwarna biru tetapi juga berwarna kuning pada ujung apinya. Warna kuning ini diakibatkan karena radiasi jelaga. Pada daerah berwarna kuning disebut juga daerah non-stoikiometri dimana pada daerah non-stoikiometri ini rasio campuran antara bahan bakar dan udara kurang dari 1 ($\phi < 1$) [8]. Akibat adanya radiasi karbon yakni jelaga mengakibatkan kecilnya kesempatan bahan bakar dan udara yang berperan sebagai oksidator untuk.

Distribusi Temperatur Nyala Api

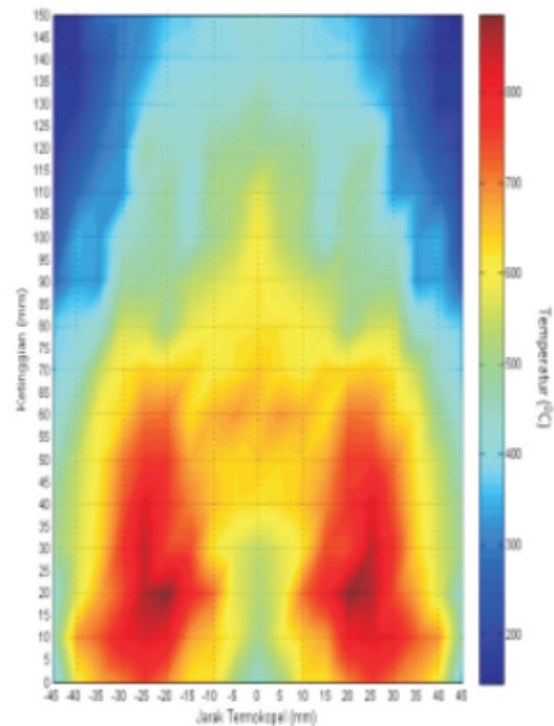
Data temperatur nyala api diolah menjadi grafik kontur isothermal temperatur nyala dengan bantuan *tools* MATLAB® R2011a, kontur isothermal nyala api



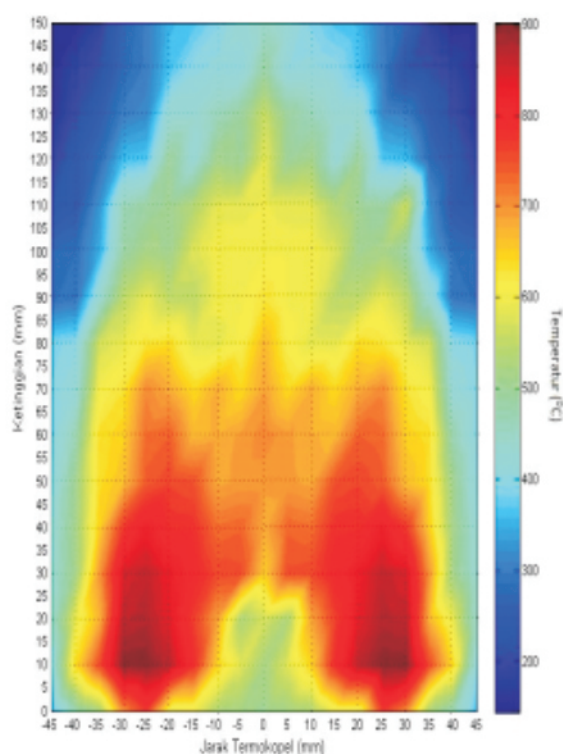
Gambar 4. Kontur isothermal temperatur nyala api kompor dengan *grade* bioetanol 55%



Gambar 5. Kontur isothermal temperatur nyala api kompor dengan *grade* bioetanol 70%



Gambar 6. Kontur isothermal temperatur nyala api kompor dengan *grade* bioetanol 85%



Gambar 7. Kontur isothermal temperatur nyala api kompor dengan *grade* bioetanol 97%

Dari Gambar 4 dapat diamati bahwa kontur isothermal nyala api bioetanol 55%, temperatur tertingginya masih di bawah temperatur 800°C dan area nyala api yang bertemperatur tinggi relatif sempit serta berada di bawah ketinggian 45 mm. Dari Gambar 5 dapat diamati bahwa kontur isothermal nyala api kompor dengan penggunaan bioetanol 70%, area yang bertemperatur tinggi terlihat lebih luas dari kompor dengan bioetanol 55% yaitu pada jarak 10 mm sampai 35 mm dari tengah *burner*, dan juga ketinggian temperatur tingginya dibawah 50 mm.

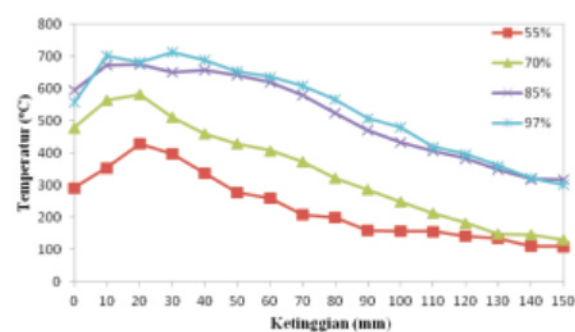
Dari Gambar 6 dan 7 dapat diamati bahwa kontur nyala api kompor dengan bioetanol 85% temperatur isothermalnya hampir sama dengan kompor bioetanol 97% dilihat dari temperatur tinggi yang mencapai ketinggian 90 mm dari permukaan *burner*, tetapi temperatur tertinggi pada nyala apinya masih dibawah kompor bioetanol 97% dan luas area temperatur isothermal nyala api lebih sempit dari nyala api kompor bioetanol 97%. Untuk kompor dengan bioetanol 97% terlihat dari daerah isothermal temperatur apinya yang berwarna merah gelap lebih luas, ditandai dengan area yang bertemperatur tinggi semakin luas daripada kompor bioetanol 85%, dan juga temperatur tertingginya dapat terjadi diatas 900°C. Pada kontur isothermal temperatur nyala api keempat variasi *grade* bioetanol ini tergolong dalam nyala api difusi. Hal tersebut dikarenakan nyala api yang terbentuk merupakan nyala api yang timbul sewaktu udara

berdifusi atau masuk ke dalam aliran uap bahan bakar tidak terjadi pencampuran bahan bakar dan udara terlebih dahulu sehingga oksidator berasal dari udara luar. Udara luar pada nyala api difusi ini sangat berpengaruh terhadap temperatur nyala api yang timbul, selain itu juga besarnya penguapan bahan bakar dan kecepatan aliran uap bahan bakar akan mempengaruhi luasan area kontur isothermal nyala api.

Dapat disimpulkan bahwa kontur *isothermal* atau temperatur api yang paling baik adalah kompor dengan menggunakan *grade* bioetanol 97%, dilihat dari luasan temperatur tertingginya yang lebar dan mencapai ketinggian 90 mm dari permukaan *burner*. Untuk kontur *isothermal* atau temperatur api yang paling buruk adalah kompor dengan menggunakan *grade* bioetanol 55%, dilihat dari luasan temperatur tertingginya yang sempit dan area bertemperatur tinggi di bawah ketinggian 45 mm dari permukaan *burner*.

Temperatur Nyala Api

Untuk mengetahui temperatur nyala api yang dihasilkan pada tiap variasi *grade* bioetanol digunakan untuk membandingkan kualitas distribusi temperatur dengan menggunakan perbandingan temperatur rata-rata tiap ketinggian nyala api. Temperatur rata-rata pada tiap ketinggian nyala api dapat disajikan pada Gambar 8.

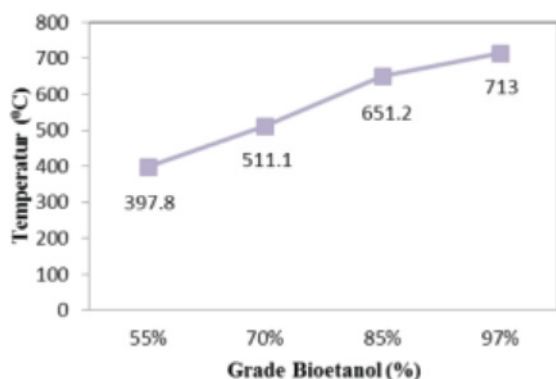


Gambar 8. Grafik perbandingan temperatur nyala api rata-rata pada variasi *grade* bioetanol

Dari gambar 8 dapat diamati bahwa kompor *bioetanol* 97% memiliki temperatur rata-rata yang terdistribusi lebih besar dibandingkan dengan kompor dengan menggunakan variasi *bioetanol* yang lain. Hal tersebut dikarenakan kompor *bioetanol* 97% memiliki nyala api yang dominan berwarna biru yakni nyala api stoikiometri. Sementara kompor *bioetanol* 70% nyala apinya masih kekuningan atau nyala api yang non-stoikiometri. Dari data temperatur rata-rata yang diperoleh didapatkan untuk kompor *bioetanol* 97% posisi temperatur rata-rata terbesar terdapat pada ketinggian 30 mm dari *burner* kompor. Untuk kompor *bioetanol* 85% yang memiliki temperatur rata-rata terbesar adalah ketinggian 20 mm dari *burner* kompor.

Untuk kompor *bioetanol* 70% posisi temperatur rata-rata terbesar terdapat pada ketinggian 20 mm dari *burner* kompor. Untuk kompor *bioetanol* 55% posisi temperatur rata-rata terbesar terdapat pada ketinggian 20 mm dari *burner* kompor.

Temperatur rata-rata tertinggi pada posisi ketinggian tertentu dapat diasumsikan sebagai acuan untuk peletakan beban pendidihan. Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk ketinggian api atau jarak peletakan beban pendidihan 30 mm hanya cocok digunakan pada kompor *bioetanol* 97%. Untuk kompor *bioetanol* 55%, 70%, serta 85% lebih cocok menggunakan jarak pembebanan atau pada ketinggian api 20 mm dari permukaan *burner* kompor, hal ini mengacu dari analisis temperatur rata-rata tertinggi pada ketiga variasi tersebut terletak pada jarak pembebanan atau ketinggian api 20 mm. Temperatur rata-rata yang dihasilkan pada kompor tanpa sumbu tipe *top burner* dengan variasi *grade* *bioetanol* dengan jarak pembebanan tetap 30 mm disajikan pada Gambar 9.

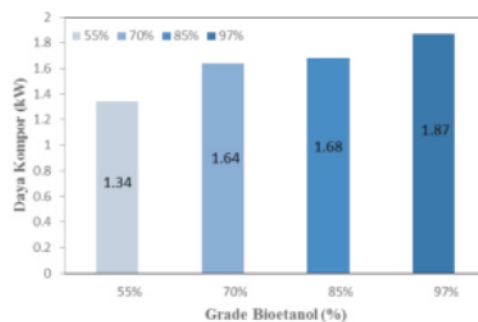


Gambar 9. Grafik Perbandingan temperatur rata-rata nyala api pada jarak ketinggian sama

Dari Gambar 9 di atas dapat dilihat bahwa temperatur rata-rata pada jarak pembebanan yang tetap didapat temperatur rata-rata tertinggi pada jarak 30 mm adalah kompor dengan menggunakan *grade* *bioetanol* 97%. Dapat disimpulkan bahwa pertimbangan jarak peletakan beban pendidihan dapat ditentukan lebih dahulu dari analisa temperatur rata-rata tertinggi pada nyala api dengan ketinggian tertentu dan semakin tinggi *grade* *bioetanol* yang digunakan temperatur rata-ratanya akan semakin tinggi.

Daya Kompor

Analisis daya memerlukan properties bahan bakar *bioetanol*. Dalam penelitian ini untuk properti *bioetanol* didapat dari data skunder yaitu data hasil pengujian properti *bioetanol* pada penelitian sebelumnya mengenai kompor berbahan bakar *bioetanol*, yang sesuai standart ASTM (*America Standart Test Methods*) [6]. Grafik yang dihasilkan pada analisis daya disajikan pada Gambar 10.



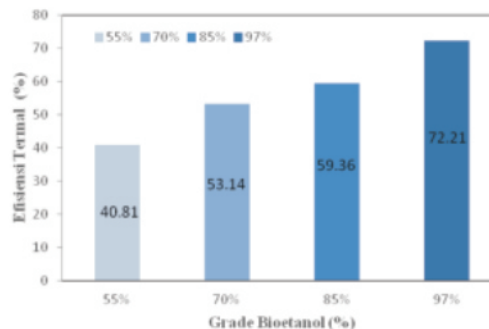
Gambar 10. Grafik daya kompor uji dengan variasi *grade* *bioetanol*nya

Pada Gambar 10 terlihat dari daya kompor semakin tinggi *grade* *bioetanol* yang digunakan maka daya kompor yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan bahan bakar *bioetanol* dengan *grade* tinggi lebih mudah menguap dan terbakar dibandingkan dengan air yang terkandung didalam *bioetanol*, semakin sedikit air yang terkandung dalam *bioetanol* membuat tingkat penguapan dan terbakarnya *bioetanol* semakin meningkat.

Sedangkan pada penggunaan *bioetanol* dengan *grade* yang lebih rendah membuat daya yang dihasilkan juga semakin kecil disebabkan konsumsi bahan bakarnya tinggi, tetapi waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air lebih lama. Selain itu persentase *bioetanol* yang sedikit menyebabkan uap air yang dihasilkan waktu proses pendidihan lebih sedikit dan kandungan air yang ada dalam *bioetanol* menghambat pembentukan uap *bioetanol*. Sehingga daya kompor serta temperatur yang dihasilkan menjadi turun.

Efisiensi Thermal Pembakaran

Pada analisis efisiensi thermal pada kompor uji mengacu pada data hasil pengujian dengan metode WBT (*Water Boiling Test*) tahap II dilanjut dengan tahap WBT III. Data yang diperlukan adalah konsumsi bahan bakar, temperatur bejana ketika air sudah mendidih atau suhu air mencapai 100°C, uap air yang terbuang, massa air, dan massa bejana yang digunakan. Perbandingan efisiensi thermal variasi *grade* *bioetanol* disajikan pada Gambar 11.



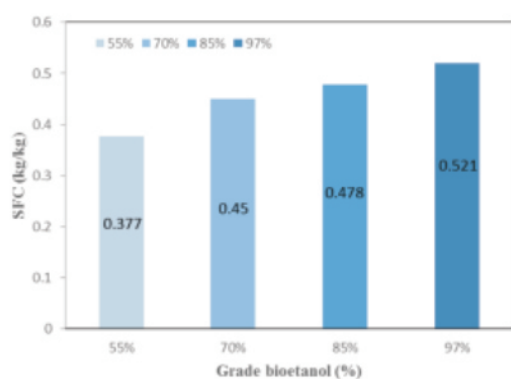
Gambar 11. Grafik efisiensi thermal kompor uji dengan variasi *grade* *bioetanol*nya

Pada Gambar 11 dapat dilihat semakin tinggi pemakaian *grade* bioethanol efisiensi pembakaran pada kompor juga semakin meningkat. Pada grafik hasil penelitian didapat efisiensi tertinggi pada *grade* bioethanol 97% yaitu sebesar 72,21%. Hal ini bisa terjadi karena tingkat konsumsi bahan bakar pada kompor yang menggunakan bioethanol 97% berbanding terbalik dengan tingkat penguapan air yang diterjadi pada proses pendidihan. Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada kompor dengan bioethanol 55% yaitu sebesar 40,81%. Hal ini terjadi karena konsumsi bahan bakar bioethanolnya sangat tinggi dan panas api yang dihasilkan terhambat dengan adanya air yang terdapat pada bioethanol. Jumlah air akan semakin banyak jika *grade* bioethanol yang digunakan turun dan dapat menyebabkan terhambatnya panas yang dilepaskan oleh bahan bakar serta membuat waktu proses pendidihan air lebih lama.

Dapat disimpulkan efisiensi thermal pembakaran akan meningkat jika semakin tinggi *grade* bioethanol yang digunakan pada kompor uji. Efisiensi thermal dipengaruhi persentase air pada bioethanol, tingkat konsumsi bahan bakar, jumlah air yang menguap selama proses pendidihan dan panas api yang dihasilkan. Jika semakin sedikit bahan bakar yang dikonsumsi dan panas api yang dihasilkan diasumsikan tetap maka efisensinya akan meningkat.

Specific Fuel Consumption

Analisis *specific fuel consumption* diperoleh dari perbandingan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi dibagi dengan jumlah uap air yang terbuang pada proses pendidihan. Dengan analisis *specific fuel consumption* menggunakan metode di atas, maka dapat disajikan grafik *specific fuel consumption* (sfc) pada Gambar 12.



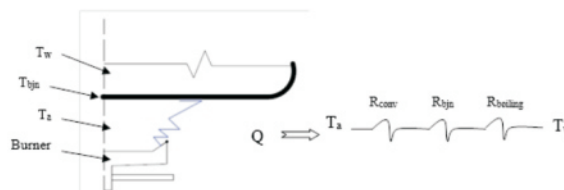
Gambar 12. Grafik *specific fuel consumption* pada kompor uji dengan variasi *grade* bioethanolnya.

Dari Gambar 12 dapat dilihat dari perbandingan *specific fuel consumption* diperoleh yang tertinggi adalah kompor dengan bioethanol 97% dan yang paling rendah menggunakan bioethanol 55%.

specific fuel consumption sebagai acuan tingkat efektifitas penggunaan bahan bakar dalam hal pendidihan air. Semakin tinggi *grade* bioethanol yang digunakan pada kompor maka *specific fuel consumption* akan semakin meningkat. Hal ini dipengaruhi konsumsi bahan bakar yang lebih hemat pada penggunaan bahan bakar dengan *grade* bioethanol yang lebih tinggi. Sedangkan uap air yang terbuang juga semakin sedikit, karena waktu proses pendidihan air sangat cepat sehingga waktu yang diperlukan air untuk menguap juga lebih singkat.

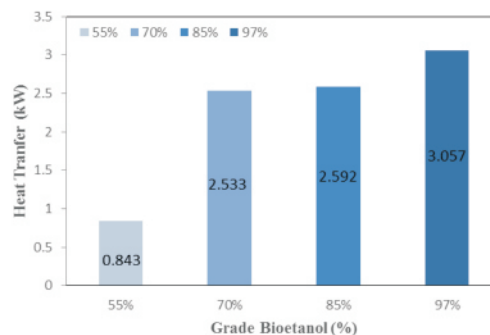
Analisis Tranfer Panas (Heat Tranfer)

Pada proses pendidihan air terdapat proses *heat transfer* dengan adanya transfer energi yang terjadi dari temperatur awal hingga menjadi temperatur akhir yang terpengaruh panas dibagi jumlah reaktan atau rambatan yang terjadi. Dimana rambatan yang dilalui perpindahan kalor ini dari konveksi nyala api ke bejana aluminium mempengaruhi hasil proses pendidihan air. Rambatan yang ada antara lain aliran konveksi api, konduksi pada bejana Aluminium, dan aliran konveksi pada proses penguapan air. Serta luas penampang kontak juga berpengaruh pada hasil *heat tranfer* [9]. Skema *heat transfer* dapat disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Skema *heat transfer* pada kompor uji

Dari skema Gambar 13 digunakan untuk menentukan *heat transfer* yang terjadi pada kompor dengan memvariasikan *grade* bioethanolnya. Perbandingan besarnya *heat transfer* dapat disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik perpindahan kalor (*heat transfer*).

Dari Gambar 14 dapat diamati bahwa perpindahan kalor (*heat transfer*) tertinggi terdapat pada kompor dengan *grade* bioethanol 97 % yaitu

sebesar 3,057 kW dan yang terendah pada kompor dengan *grade* bioetanol 55% sebesar 0,843 kW. Serta pada *heat transfer* pada kompor bioetanol 70% dan 85% perbedaannya sangat kecil dikarenakan luasan kontak panasnya sama. Hal ini terjadi karena semakin tinggi *grade* bioetanol yang digunakan semakin besar kalor yang dihasilkan, luas kontak area, bahan konduktivitas panas dan panas api waktu kontak transfer panas berpengaruh pada energi panas yang dikonversikan.

Dapat disimpulkan bahwa *heat transfer* yang terjadi akan semakin meningkat jika *grade* bioetanol yang digunakan semakin tinggi dan luas kontak api yang dipengaruhi jarak peletakan beban pendidihan ditingkatkan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian Kontur isothermal nyala api yang optimal untuk digunakan pada penggunaan kompor untuk aplikasi rumah tangga adalah dengan menggunakan bioetanol 97% dengan temperatur maksimumnya mencapai 912°C dan temperatur rata-rata tertingginya terdapat pada jarak beban 30 mm adalah 713°C. Semakin tinggi *grade* bioetanol menyebabkan kontur isothermal nyala api akan semakin baik dan temperatur apinya semakin tinggi. Demikian juga dengan unjuk kerja kompor semakin tinggi *grade* bioetanolnya semakin tinggi kinerjanya dan kinerja kompor terbaik pada penggunaan bioetanol 97%.

SARAN

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, yaitu: Pengecekan alat uji seperti termokopel sangat diperlukan sebelum penelitian dilakukan pengujian, karena kondisi pengukuran pada temperatur tinggi. Pertimbangan jarak beban pendidihan air, penambahan jumlah dan variasi lubang *burner* dan variasi bentuk *burner* pada kompor bioetanol tanpa sumbu dapat diteliti lebih lanjut agar kinerja kompor lebih optimal, hemat energi, dan dapat digunakan walaupun dengan *grade* bioetanol yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fatimah, Nur. 2011. "Bioetanol Molase Tebu" Hasil Sampung Industri Tebu yang Menguntungkan. Artikel. PBT Pertama BBP2TP Surabaya.
- [2] Nuryanti, S. 2007. *Analisis Karakteristik Konsumsi Energi Pada Sektor Rumah Tangga di Indonesia*. Disampaikan pada Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir di Surabaya. 21-22 November 2007.
- [3] Rajvanshi, Anil K. et al. 2007. "Low-concentration ethanol stove for rural areas in India". *Articles. Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), Maharashtra, India*.
- [4] Dioha, et al. 2012. "Comparative Studies of Ethanol and Kerosene Fuels and Cook Stoves Performance". *Journal of Natural Sciences Research* ISSN 2224-3186 (Paper) Vol.2, No.6, 2012. Department of Applied Geology, George August Universitas Göttingen. Germany.
- [5] Andika, Rizka P.2012. "Perbandingan Unjuk Kerja Kompor Bioetanol Tipe Side Burner dengan Variasi Diameter Firewall 3 Inchi dan 2.5 Inchi". Tugas Akhir. Teknik Mesin ITS, Surabaya
- [6] Ririn. 2013. *Pengaruh Kadar Bioetanol 50% sampai dengan 95% pada Unjuk Kerja Kompor Etanol*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya.
- [7] International Standards, Water Boiling Test, version 4.1.2. *Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled Laboratory Setting*. revised December 2009.
- [8] Turns, S.R. 1996. *An Introduction To Combustion Concepts and Application*. Mc Graw Hill.
- [9] Lienhard, John H. 2003. *A Heat Transfer Textbook Third Edition*. Department of mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. Amerika Serikat.

PEMANFAAT FREKUENSI BUNYI MATERIAL SEBAGAI DASAR PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS PADA PENGUJIAN TANPA MERUSAK (NON DESTRUCTIVE TEST)

M. Fahrur Rozy H.¹, Abdul Hadi Djaelani², Moch. Agus Choiron²

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang

Email: fahrur.rozy.hentihu@gmail.com

ABSTRACT

Elastic modulus of material are usually obtained from tensile test. Tensile test categorized as destructive test. One of destructive test weakness is the testing specimen can not be reused. So we need alternative on elastic modulus test without damaging the specimen (non destructive test). This research aims to determine whether the sound frequency of material can be used as a basic for elastic modulus test as a non destructive test. On this research, two different test performed on the same specimen. First test is testing elastic modulus using sound frequency test (non destructive test) and second test is testing elastic modulus using tensile test (destructive test). Percentage error obtained from comparing percent error between those two tests. The results showed, in testing the elastic modulus of brass specimen has an error percentage of 10.33%, in testing the elastic modulus of aluminium specimen has an error percentage of 4.39%, and in testing the elastic modulus of steel specimen has an error percentage of 1.89%.

Keywords: Elastic modulus, Non destructive test, Sound frequency

PENDAHULUAN

Modulus elastis atau modulus Young dinyatakan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan dalam batas elastis. Modulus elastis merupakan karakteristik suatu logam tertentu, karena setiap logam mempunyai modulus elastis yang berbeda. Makin besar modulus elastis makin kecil regangan elastik yang dihasilkan akibat pemberian tegangan. Makin besar gaya tarik menarik antara atom logam makin tinggi pula modulus elastisnya. Gaya-gaya ini tidak dapat berubah tanpa terjadi perubahan yang mendasar sifat bahannya.

Modulus elastis suatu material biasanya didapat dari proses uji tarik. Uji tarik sendiri dikategorikan sebagai pengujian merusak (*destructive test*). Kelemahan pengujian yang merusak adalah spesimen pengujian tidak dapat digunakan kembali karena telah mengalami kerusakan pada saat proses pengujian.

Pengujian tanpa merusak (*non destructive test*) untuk mendapatkan modulus elastis material dapat dilakukan dengan cara mengukur frekuensi getaran dari suatu benda padat. Penghitungan modulus elastis menggunakan persamaan yang digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh McIntyre and Woodhouse [2], yaitu suatu metode untuk mengestimasi modulus elastis (E), poisson rasion (ν) dan modulus geser (G) suatu material.

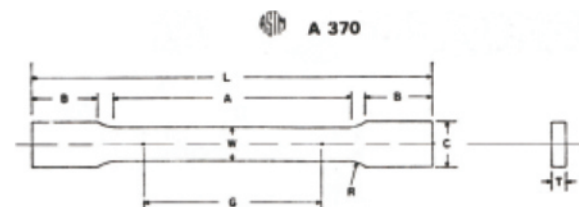
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar prosentase kesalahan pada

pengujian modulus elastis menggunakan frekuensi bunyi dibandingkan dengan menggunakan uji tarik.

METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian modulus elastis menggunakan uji tarik dan uji frekuensi bunyi. Untuk pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Laboratorium Uji Bahan Universitas Brawijaya Malang. Sedangkan untuk pengujian frekuensi bunyi dilakukan di GZZ Musik Studio Malang.

Pembuatan spesimen pengujian dilakukan di Laboratorium Produksi Universitas Brawijawa Malang. Seluruh ukuran spesimen menggunakan standar ASTM [1]. ASTM A 370 untuk spesimen baja, ASTM B 557 untuk spesimen tembaga, dan ASTM E 8 untuk spesimen aluminium.

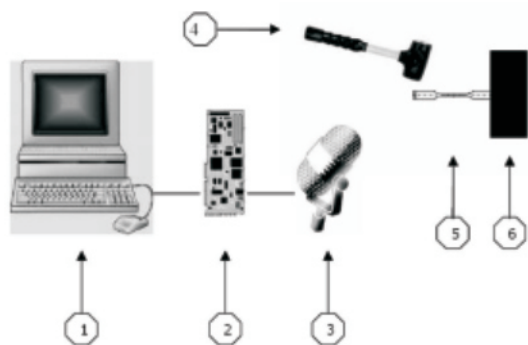


Gambar 1. Spesimen Uji Tarik Baja ASTM A 370
Sumber: ASTM Handbook

Dalam penelitian, dilakukan 2 pengujian tambahan untuk mengetahui pengaruh perbedaan

tumpuan dan perbedaan pemukul terhadap frekuensi bunyi yang digunakan sebagai dasar pengujian modulus elastis.

Secara keseluruhan, instalasi penelitian dalam pengujian frekuensi bunyi seperti Gambar 2.

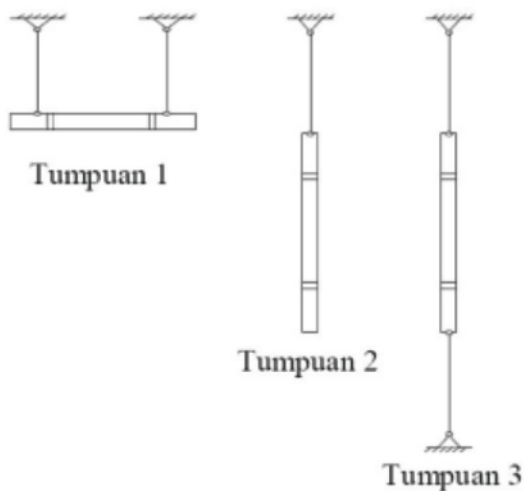


Gambar 2. Instalasi pengujian frekuensi bunyi

Keterangan :

1. 1 Unit Komputer
2. ADC Soundcard
3. Microphone
4. Pemukul
5. Spesimen
6. Dudukan specimen

Bunyi yang dihasilkan oleh spesimen ditangkap oleh *microphone* kemudian di konversikan menjadi data digital oleh ADC *Soundcard* dan data disimpan ke dalam komputer. Untuk perbedaan tumpuan, instalasinya seperti Gambar 3.



Gambar 3. Instalasi 3 tumpuan yang berbeda

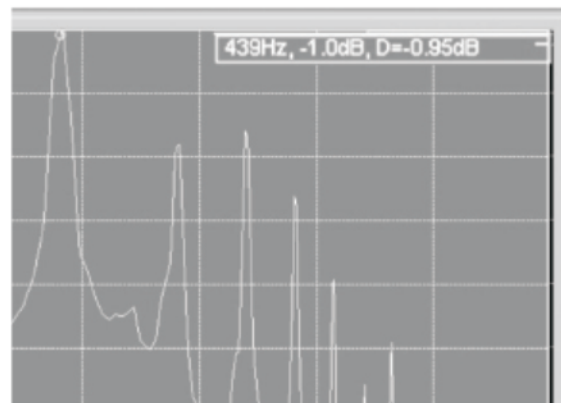
Sedangkan perbedaan pada pemukul terdapat pada bahan dari pemukul. Bahan pemukul terbuat dari kayu, plastik dan bahan spesimen itu sendiri. Sebelum penelitian dilakukan terlebih dahulu dilakukan proses kalibrasi terhadap alat ukur frekuensi. Proses kalibrasi dilakukan dengan membandingkan frekuensi yang ditangkap oleh alat ukur frekuensi dengan frekuensi

yang dihasilkan oleh nada *keyboard*. Hasil pengukuran frekuensi bunyi dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 1. Frekuensi hasil pengukuran

| Nada | Frekuensi (Hz) | Frekuensi terukur (Hz) | | | | | Rata rata |
|------|----------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------|
| | | Pengujian ke | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| A5 | 880 | 879 | 879 | 879 | 879 | 879 | 879 |
| A4 | 440 | 439 | 439 | 439 | 439 | 439 | 439 |

Dengan melihat Tabel 1 dapat kita simpulkan bahwa hasil pengukuran frekuensi memiliki perbedaan 1 Hz dibandingkan dengan frekuensi *keyboard*. Sehingga untuk pengujian-pengujian berikutnya, frekuensi hasil pengukuran ditambah 1 Hz.



Gambar 4. Hasil pengukuran frekuensi bunyi proses kalibrasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penghitungan Massa Jenis Spesimen

Proses penghitungan massa jenis spesimen dilakukan dengan mengukur massa dan volume dari spesimen terlebih dahulu. Pengukuran massa spesimen dilakukan dengan menggunakan timbangan digital dan pengukuran volume spesimen menggunakan *software* AutoCad. Massa jenis spesimen didapat dari pembagian massa dengan volume spesimen. Hasil penghitungan massa jenis spesimen terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Massa jenis spesimen

| Bahan | Massa (gram) | Volume (cm ³) | Massa Jenis (kgram/m ³) |
|-----------|--------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Baja | 50,62 | 6,47 | 7823,8 |
| Aluminium | 27,07 | 9,68 | 2796,49 |
| Kuningan | 96,96 | 12,89 | 7522,11 |

Proses selanjutnya adalah pengujian frekuensi bunyi pada tumpuan yang berbeda. Hasil pengukuran frekuensi bunyi pada 3 tumpuan yang berbeda tersebut tertulis pada Tabel 3.

Tabel 3. Frekuensi bunyi pada tumpuan berbeda

| Bahan | Frekuensi (Hz) | | |
|-----------|----------------|-----------|-----------|
| | Tumpuan 1 | Tumpuan 2 | Tumpuan 3 |
| Baja | 281 | 281 | 281 |
| Aluminium | 342 | 342 | 342 |
| Kuningan | 119 | 119 | 119 |

Hasil pengukuran frekuensi bunyi pada 3 pemukul yang berbeda ternyata tidak ada perbedaan pada frekuensi bunyi yang dihasilkan. Hasil pengukuran sama persis dengan pengukuran frekuensi bunyi pada 3 tumpuan yang berbeda. Hasil pengukuran tersebut tertulis pada tabel 4.

Tabel 4. Frekuensi bunyi dengan pemukul berbeda

| Bahan | Frekuensi (Hz) | | |
|-----------|----------------|-----------|-----------|
| | Pemukul 1 | Pemukul 2 | Pemukul 3 |
| Baja | 281 | 281 | 281 |
| Aluminium | 342 | 342 | 342 |
| Kuningan | 119 | 119 | 119 |

Dua pengujian diatas menunjukkan bahwa perbedaan tumpuan dan perbedaan pemukul tidak menyebabkan perubahan pada frekuensi bunyi yang dihasilkan oleh spesimen. Tidak adanya perbedaan frekuensi bunyi pada perbedaan tumpuan disebabkan oleh redaman yang terjadi sangat kecil sehingga getaran spesimen hampir tak teredam sama sekali. Redaman yang sangat kecil disebabkan oleh sistem tumpuan yang menggunakan sistem gantung. Sistem gantung membuat spesimen dapat bergerak bebas, sehingga faktor redaman nya sangat kecil. Pada sistem Pada instalasi ke dua seharusnya memiliki redaman paling kecil. Akan tetapi karena redaman yang terjadi sangat kecil sekali sehingga tidak ada perbedaan frekuensi bunyi yang dihasilkan baik pada tumpuan 1, 3 dan tumpuan 2. Pada pemukul dengan bahan yang berbeda, juga tidak terdapat perbedaan pada frekuensi yang diukur. Bunyi hasil tumbukan dari pemukul dengan spesimen, ternyata kalah dominan dibandingkan dengan bunyi spesimen hasil pemukulan. Sehingga alat pengukuran hanya menangkap frekuensi bunyi

spesimen yang lebih dominan dibandingkan bunyi hasil tumbukan pemukul dan spesimen.

Pengujian berikutnya adalah pengujian frekuensi bunyi untuk pengujian modulus elastis. Penghitungan modulus elastis menggunakan persamaan McIntyre and Woodhouse[2]:

$$\nu = 1.48 \left[\frac{f_o^2 - f_n^2}{f_o^2 + f_n^2} \right]$$

$$E = 0.46(1 - \nu^2)(f_o^2 + f_n^2)\rho \frac{\ell^4}{h^2}$$

Keterangan:

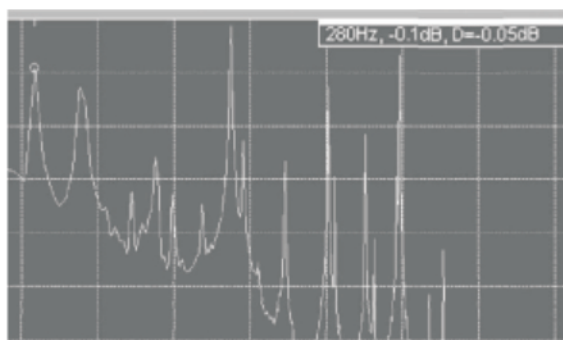
- ν = bilangan poisson
- f_o = frekuensi ring vibrational mode (Hz)
- f_n = frekuensi natural / frekuensi bunyi (Hz)
- E = modulus elastis (Pa)
- ρ = massa jenis (kg/m^3)
- ℓ = panjang spesimen (m)
- h = tebal spesimen (m)

Dari persamaan di atas, bilangan poisson (ν) didapat dari tabel, frekuensi ring vibrational mode (f_o) didapat dari perhitungan, frekuensi natural / frekuensi bunyi (f_n) didapat dari pengujian, E dari perhitungan, massa jenis (ρ) dari perhitungan, ℓ dan h dari pengukuran.

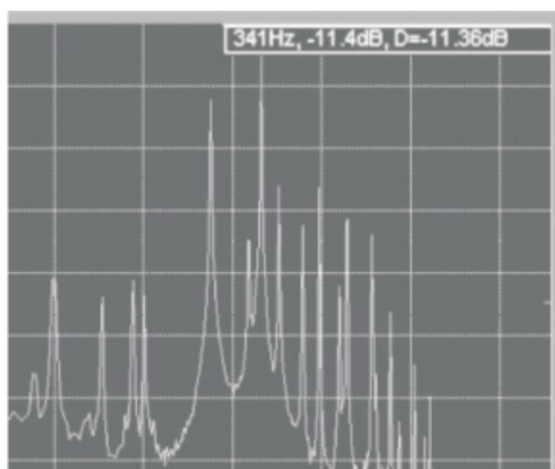
Gambar pengukuran frekuensi bunyi dari baja, aluminium dan kuningan terlihat pada Gambar 5, 6 dan 7. Hasil penghitungan modulus elastis spesimen dengan tumpuan yang berbeda dituliskan pada tabel 5.

Tabel 5. Modulus elastis (uji frekuensi dengan tumpuan berbeda

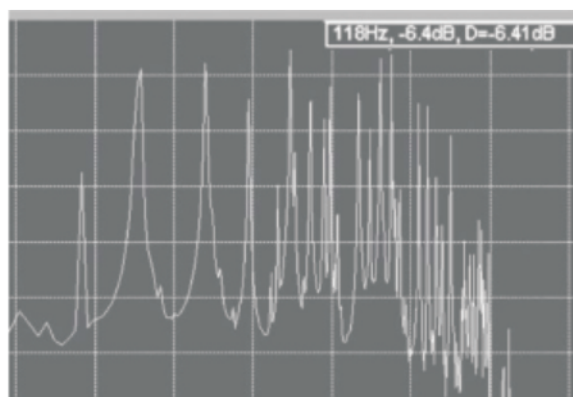
| Bahan | Tumpuan | ρ | ℓ | h | ν | f | E |
|-----------|---------|---------|--------|-----|-------|-----|--------|
| Baja | 1 | 7823,8 | 183 | 2 | 0,27 | 281 | 190,08 |
| | 2 | 7823,8 | 183 | 2 | 0,27 | 281 | 190,08 |
| | 3 | 7823,8 | 183 | 2 | 0,27 | 281 | 190,08 |
| Aluminium | 1 | 2796,49 | 201 | 3 | 0,33 | 342 | 71,77 |
| | 2 | 2796,49 | 201 | 3 | 0,33 | 342 | 71,77 |
| | 3 | 2796,49 | 201 | 3 | 0,33 | 342 | 71,77 |
| Kuningan | 1 | 7522,11 | 203 | 2 | 0,33 | 119 | 90,36 |
| | 2 | 7522,11 | 203 | 2 | 0,33 | 119 | 90,36 |
| | 3 | 7522,11 | 203 | 2 | 0,33 | 119 | 90,36 |



Gambar 5. Hasil pengukuran frekuensi bunyi spesimen baja



Gambar 6. Hasil pengukuran frekuensi bunyi spesimen aluminium



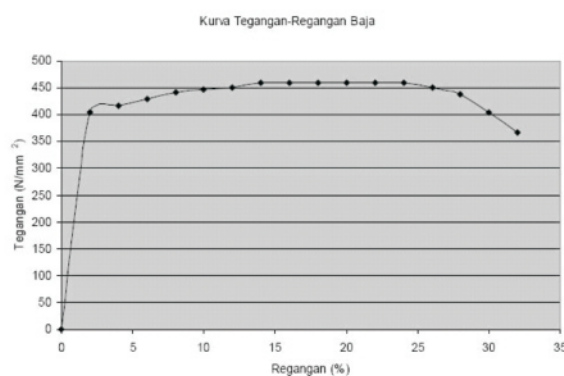
Gambar 7. Hasil pengukuran frekuensi bunyi spesimen kuningan

Setelah spesimen diuji frekuensi bunyi (*non destructive test*) dan kemudian dihitung modulus elastis, pada spesimen tersebut dilakukan uji tarik untuk mendapatkan nilai modulus elastis dari uji tarik (*destructive test*). Hasil uji tarik baja dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Uji Tarik Spesimen Baja

| No | ΔF (kN) | ΔL (mm) | σ (N/mm ²) | ϵ (%) |
|----|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|
| 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 9.7 | 1 | 404.17 | 2.00 |
| 3 | 10 | 2 | 416.67 | 4.00 |
| 4 | 10.3 | 3 | 429.17 | 6.00 |
| 5 | 10.6 | 4 | 441.67 | 8.00 |
| 6 | 10.7 | 5 | 445.83 | 10.00 |
| 7 | 10.8 | 6 | 450.00 | 12.00 |
| 8 | 11 | 7 | 458.33 | 14.00 |
| 9 | 11 | 8 | 458.33 | 16.00 |
| 10 | 11 | 9 | 458.33 | 18.00 |
| 11 | 11 | 10 | 458.33 | 20.00 |
| 12 | 11 | 11 | 458.33 | 22.00 |
| 13 | 11 | 12 | 458.33 | 24.00 |
| 14 | 10.8 | 13 | 450.00 | 26.00 |
| 15 | 10.5 | 14 | 437.50 | 28.00 |
| 16 | 9.7 | 15 | 404.17 | 30.00 |
| 17 | 8.8 | 16 | 366.67 | 32.00 |

Dari Tabel 6 dapat dibuat kurva tegangan-regangan seperti terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva tegangan-regangan spesimen baja

Pada pengujian juga didapatkan tegangan *yield* σ_y sebesar 387,5 kN/mm², sehingga modulus elastis spesimen baja dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$E = \frac{\sigma_y}{\epsilon_y} \times 100\%$$

Keterangan:

- E = modulus elastis (Pa)
- σ_y = tegangan *yield* kN/mm²
- ϵ_y = regangan *yield* (%)

Dari persamaan tersebut, didapatkan modulus elastis spesimen baja sebesar 193,75 G Pa. Dengan pengujian yang sama, modulus elastis spesimen aluminium sebesar 72,22 G Pa dan modulus elastis spesimen kuningan sebesar 108,335 G Pa.

Dari pengujian modulus elastis menggunakan uji frekuensi bunyi dan uji tarik, dapat kita lihat besarnya prosentase kesalahan pada pengujian tersebut. Prosentase kesalahan yang terjadi dapat kita lihat pada Tabel 7

Tabel 7. Tingkat kesalahan pengujian modulus elastis

| Bahan | Modulus Elastis (G Pa) | | | Prosentase Kesalahan (%) |
|-----------|------------------------|-----------|---------|--------------------------|
| | Uji Frekuensi | Uji Tarik | Selisih | |
| Baja | 190,08 | 193,75 | 3,67 | 1,89 |
| Aluminium | 69,05 | 72,22 | 3,17 | 4,39 |
| Kuningan | 97,14 | 108,335 | 11,195 | 10,33 |

Pada Tabel 7 dapat kita lihat bahwa pengujian modulus elastis menggunakan uji frekuensi bunyi memiliki prosentase kesalahan yang bervariasi. Pada pengujian modulus elastis kuningan memiliki prosentase kesalahan hingga 10,33%, tetapi pada pengujian modulus elastis baja memiliki prosentase kesalahan hanya 1,89%. Prosentase kesalahan yang terjadi pada pengujian pengujian modulus elastis (uji frekuensi bunyi) disebabkan oleh asumsi pada persamaan yang dipakai pada pengujian tersebut. Spesimen yang dipakai diasumsikan homogen. Tingkat akurasi alat ukur juga dapat menyebabkan tingginya prosentase kesalahan. Alat ukur frekuensi tidak dapat menunjukkan hasil dengan angka dibelakang koma.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian modulus elastis menggunakan uji tarik dan uji frekuensi bunyi, dapat disimpulkan bahwa frekuensi bunyi dapat digunakan sebagai dasar untuk pengujian modulus elastisitas pada pengujian tanpa merusak (*non destructive test*). Penggunaan variasi tumpuan dan pemukul tidak mempengaruhi hasil uji frekuensi bunyi.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya antara lain adalah dengan menggunakan alat ukur frekuensi yang lebih akurat dengan harapan dapat mendapatkan hasil yang lebih baik. Juga dapat dilakukan dengan menggunakan tumpuan yang berbeda dan ukuran spesimen yang bervariasi untuk mendapatkan hasil yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM Handbook Comitee. 1982. *1982 Annual Book of ASTM Standarts Part 9*. Philadelphia American Society for Testing Material
- [2] McIntyre, M.E., Woodhouse, J., 1988. *On measuring the elastic and damping constants of orthotropic sheet materials*. Acta Metall. Vol 36, No 6. Great Britain.

PENGARUH VARIASI BEBAN PENDINGIN TERHADAP PRESTASI KERJA MESIN PENDINGIN DENGAN REFRIGERAN R12 DAN LPG

Moch. Rizal A.Y, Nasrul Ilminnafik, Digdo Listyadi
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: nasrul.unej@gmail.com

ABSTRACT

In this research discusses the influence of the cooling load variations on job performance refrigeration includes refrigeration capacity, coefficient of performance and cooling time, the compressor, the impact of refrigeration and compression work with refrigerants R12 and LPG. This study uses a variation of the load is light 20watt, 40Watt, 60Watt, and 80watt at the time of the study for 30 minutes for each of the cooling load, the file retrieval is done use the cooling machine refrigerator sanyo type with dimensions of 90 cm x 45 cm x 45 cm. The results showed the optimum value of COP (coefficient of Performance) of the fridge that I use on the refrigerant R12 and LPG with a load of 40 watts and 30 minutes was 4.75 for R12 and 5.00 for LPG, Obtained that use LPG refrigerant temperature produced less than R12 at the same time that is 30 minutes, the temperature on LPG without cooling load is 10°C, the load is 11°C 20 watt, 40 watt load by 12°C, 60 watt load of 15°C, and for a load of 80 watts by 17°C and R12 produced no load temperature is 12°C, 20 watt load as big as 13°C, 40°C as a 15 watt, 60 watt load of 16°C, and for a load of 80 watts of 18 °C it is seen that the use of LPG refrigerants better because it has a pretty good engine performance compared to R12 views of COP obtained from the same load.

Key word: Cooling load, COP, LPG, refrigerant

PENDAHULUAN

Pada saat ini tidak hanya di industri-industri besar kita jumpai yang menggunakan alat pendingin hampir setiap orang memiliki alat pendingin di rumahnya, ada macam-macam alat pendingin yang ada, seperti *Refrigerator*, *AC (air conditioner)*, *freezer*, serta *chiller* [1]. Penggunaan sistem pengkondisian udara pada saat ini bukan lagi merupakan suatu kemewahan, namun telah menjadi kebutuhan yang harus dipenuhi. Tanpa adanya peralatan ini banyak kegiatan yang tidak dapat dilakukan dengan baik, apalagi kegiatan yang dilakukan dalam ruangan, misalnya didalam kantor dan kendaraan, bahkan untuk beristirahatpun kebanyakan orang memerlukan penggunaan alat ini untuk kenyamanan [2]. Ironisnya, banyak AC dan lemari es yang menggunakan pendingin (*refrigerant*) berbahan HCFC dan CFC yang justru mempercepat proses penipisan ozon dan pemanasan global. Penipisan ozon dan pemanasan global dapat mengganggu perubahan iklim, merusak mata, menyebabkan kanker kulit, menurunkan kekebalan tubuh, dan lain-lain. Bahan-bahan pendingin buatan atau syntetic refrigerant mengandung H (*Hydro*), C (*Chloro*), F (*Fluoro*) dan C (*Carbon*). Di Indonesia, pendingin sintetis ini lebih dikenal dengan istilah freon. Kelemahan pendingin sintetis ini antara lain dapat merusak lapisan ozon, meyebabkan pemanasan global, serta beracun. Sejak 2007 lalu, pemerintah Indonesia secara tegas telah

melarang penggunaan ketiga jenis *refrigerant* ini. Melihat kondisi tersebut, para pecinta lingkungan hidup mulai menggalakkan penggunaan *refrigerant hydrocarbon*, sebagai pengganti freon. Pada dasarnya *hydrocarbon* sama dengan gas LPG yang ada di rumah, hanya dalam bentuk yang masih murni dan tak berbau [3]

Bahan bakar gas cair (LPG), yang terdiri dari propana (R290), iso-butana (R600a) dan n-butana (R600), juga digunakan sebagai fluida kerja pada lemari es. Alsaad dan Hammad [4] menggunakan LPG sebesar 24,4% propana, 56,4% n-butana dan 17,2% iso-butana sebagai pengganti refrigeran R12 pada lemari es. Dihasilkan suhu evaporator 15 °C dan koefisien kinerja yang dicapai 3.4 dari suhu kondensor 27 °C dengan menggunakan refrigeran LPG. Hammad dan Alsaad [5] meneliti parameter kinerja lemari es domestik dimodifikasi dengan 100% propana, 75% propana, butana 19,1%, 5,9% isobutana, 50% propana, butana 38,3%, 11,7% iso-butana [6].

Mayoritas ilmuwan dunia meyakini bahwa pemanasan global yang terjadi belakangan ini diakibatkan oleh gas-gas rumah kaca yang dihasilkan oleh aktivitas manusia (Oreskes, 2002). Selain berkontribusi pada produksi CO₂ melalui sistem pembangkit energi untuk suplai listrik mesin refrigerasi, teknologi refrigerasi juga berkontribusi langsung pada pemanasan global melalui kebocoran dan buangan refrigeran (yang bersifat gas rumah kaca) ke lingkungan. Terkait dengan hal ini, Protokol Kyoto

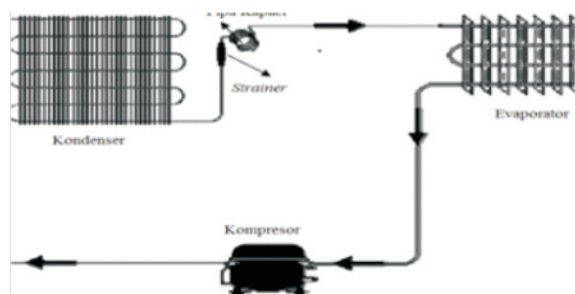
tahun 1997 tentang perubahan iklim bumi telah mengatur penggunaan refrigerant yang termasuk dalam gas rumah kaca, yakni HFCs (Hidro Fluoro Carbons). Gas-gas yang memiliki potensi efek rumah kaca dikategorikan dalam zat GWP (Global Warming Potential), sedangkan zat perusak lapisan ozon disebut sebagai ODS (Ozon Depleting Substance) [7].

Beban pendinginan sebenarnya adalah jumlah panas yang dipindahkan oleh sistem pengkondisian udara setiap waktu. Beban pendinginan terdiri atas panas yang berasal dari ruang dan tambahan panas. Jumlah panas setiap saat yang masuk kedalam ruang melalui kaca secara radiasi maupun melalui dinding akibat perbedaan temperature, pengaruh penyimpanan energy pada struktur bangunan, serta peralatan-peralatan listrik seperti lampu dan peralatan elektronik lainnya [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek beban pendingin terhadap kinerja sistem mesin pendingin, sehingga diharapkan penggunaan mesin pendingin dapat lebih efektif dan efisien. Bilal dan Salem [9], untuk menunjukkan bahwa liquefied petroleum gas (LPG) dapat menggantikan R-12 dalam kulkas. Karena LPG itu lebih murah, tersedia secara komersial di pasar lokal, dan umumnya digunakan dalam pemanas gas dan kompor memasak.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimen pada sistem refrigerasi berupa kulkas satu pintu. Skema sistem refrigerasi di kulkas ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat uji rangkaian

Keterangan gambar:

- T1 : temperatur masukan kompresor (°C),
- T2 : temperatur keluaran kompresor (°C),
- T3 : temperature masukan evaporator (°C)
- T4 : temperatur keluaran evaporator (°C),
- T5 : temperatur ruangan lemari es (°C),
- P1 : tekanan masukan kompresor (kJ/kg)
- P2 : Tekanan keluaran kompresor (kJ/kg)

Alat yang digunakan adalah kulkas satu pintu dan bahan yang digunakan sebagai refrigerant adalah LPG dan R12. Sebagai variabel bebas digunakan variasi beban pendingin dengan memasang lampu di dalam

ruang pendingin dengan daya yang berbeda yaitu 20 Watt, 40 Watt, 60 Watt, dan 80 Watt. Berdasarkan data tersebut dapat ditentukan kondisi refrigeran setiap titik pada siklus. Selanjutnya berdasarkan kondisi refrigeran dapat dihitung kapasitas refrigerasi dan COP sistem untuk setiap variasi beban pendingin..

Teknik pengambilan data pada penelitian ini dengan menggunakan termokopel yang dihubungkan dengan terminal yang kemudian dihubungkan kembali dengan display pembaca termokopel (termometer).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh pada pengujian ini ditampilkan dalam Tabel 1 sampai Tabel 4.

Tabel 1 Data Temperatur pada R12 (waktu 30 menit)

| No. | Beban (watt) | Temperatur pada waktu 30 menit (° C) | | | |
|-----|--------------|--------------------------------------|----|----|-----|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 |
| 1 | 0 | -7 | 33 | 29 | -13 |
| 2 | 20 | -9 | 34 | 32 | -12 |
| 3 | 40 | -6 | 34 | 30 | -11 |
| 4 | 60 | -8 | 35 | 31 | -11 |
| 5 | 80 | -9 | 35 | 32 | -12 |

Tabel 2 Hasil perhitungan percobaan R12 pada waktu 30 menit

| No. | Beban (watt) | Waktu 30 menit | | | | |
|-----|--------------|----------------|-----------|---------|-----|--------|
| | | qe (kJ/kg) | W (kJ/kg) | Qe (kW) | COP | P (kW) |
| 1 | 0 | 114,3 | 24,8 | 9,1 | 4,6 | 1,99 |
| 2 | 20 | 113,7 | 24,7 | 9,1 | 4,6 | 1,97 |
| 3 | 40 | 114,2 | 24,1 | 9,1 | 4,7 | 1,93 |
| 4 | 60 | 113,2 | 24,5 | 9,1 | 4,6 | 1,96 |
| 5 | 80 | 112,7 | 25,2 | 9,0 | 4,5 | 2,01 |

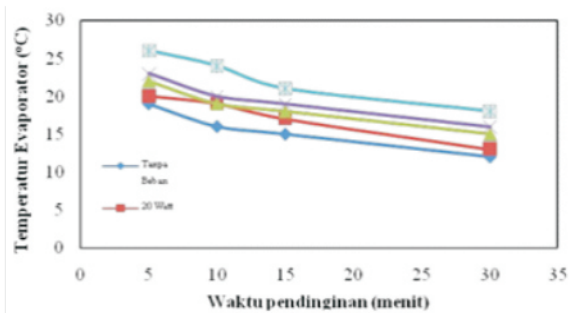
Tabel 3 Data Entalpi pada LPG (waktu 30 menit)

| No. | Beban (watt) | Temperatur pada waktu 30 menit (°C) | | | | h1 (kJ/kg) | | h2 (kJ/kg) | | h3 (kJ/kg) | |
|-----|--------------|-------------------------------------|----|----|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 | C ₁ H ₁ | C ₂ H ₁ | C ₁ H ₂ | C ₂ H ₂ | C ₁ H ₃ | C ₂ H ₃ |
| 1 | 0 | -9 | 32 | 28 | -13 | 599 | 563 | 619 | 623 | 283 | 276 |
| 2 | 20 | -9 | 32 | 30 | -11 | 561 | 566 | 618 | 624 | 283 | 276 |
| 3 | 40 | -6 | 33 | 33 | -10 | 562 | 568 | 619 | 624 | 285 | 279 |
| 4 | 60 | -3 | 33 | 29 | -11 | 561 | 566 | 618 | 624 | 283 | 279 |
| 5 | 80 | -8 | 35 | 34 | -9 | 564 | 569 | 621 | 626 | 291 | 285 |

Tabel 4 Hasil perhitungan pada LPG (waktu 30 menit)

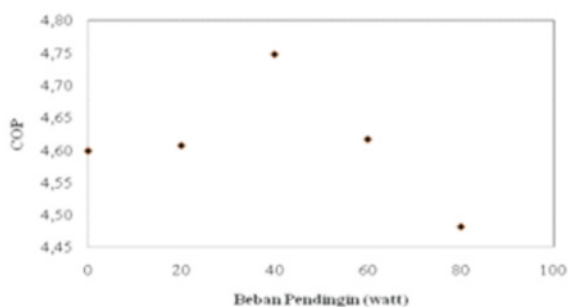
| No. | Beban (watt) | h1 (kJ/kg) | h2 (kJ/kg) | h4 (kJ/kg) | qe (kJ/kg) | W (kJ/kg) | Qe (kW) | COP | P (kW) |
|-----|--------------|------------|------------|------------|------------|-----------|---------|-------|--------|
| 1 | 0 | 561,3 | 621,4 | 279,5 | 281,7 | 60,11 | 4,7 | 2,35 | 0,48 |
| 2 | 20 | 563,8 | 621,4 | 279,5 | 284,3 | 57,57 | 4,9 | 2,27 | 0,46 |
| 3 | 40 | 565,2 | 621,7 | 282,9 | 282,9 | 56,61 | 5,0 | 2,26 | 0,45 |
| 4 | 60 | 563,8 | 621,4 | 283,06 | 283,1 | 57,57 | 4,92 | 2,265 | 0,461 |
| 5 | 80 | 566,3 | 623,7 | 279,01 | 279,1 | 57,37 | 4,86 | 2,232 | 0,459 |

Data dari Tabel 1 dan 2 kemudian ditampilkan dalam grafik hubungan antara waktu pendinginan terhadap temperatur di dalam ruang pendingin, untuk setiap variasi beban pendingin yaitu 20watt, 40watt, 60watt, 80watt. Pengujian ini dicatat setiap 5 menit, 15 menit, 20 menit hingga menit ke-30 yang ditunjukkan pada Gambar 2.



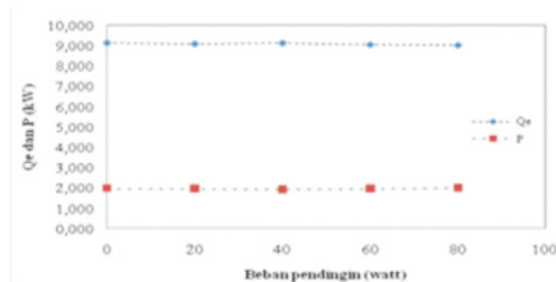
Gambar 2. Grafik hubungan waktu pendinginan terhadap temperatur evaporator untuk pada beberapavariasi beban pendingin pada R12

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan temperatur untuk setiap variasi beban pendingin pada hitungan waktu yang sama selama 30 menit pada evaporator, temperatur yang dicapai pada pengujian tanpa beban adalah 12°C, beban 20 watt sebesar 13°C, 40 watt sebesar 15°C, beban 60 watt sebesar 16°C, dan untuk beban 80 watt sebesar 18°C. Hal ini disebabkan karena dengan beban pendingin yang sangat besar maka sistem akan melepaskan kalor ke udara yang lebih besar juga sehingga temperatur ruangan menjadi lebih tinggi dari tiap beban pendingin sebelumnya.



Gambar 3 Grafik hubungan beban pendinginan terhadap COP pada R12

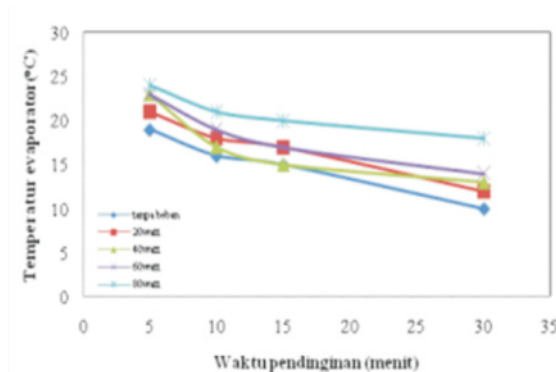
Dari Gambar 3 terlihat bahwa hubungan antara beban pendingin dengan COP, dimana posisi COP terbesar pada penelitian ini ada pada beban 40 watt yaitu 4,75 dan selanjutnya COP mengalami penurunan pada setiap beban pendingin yang lebih besar. Penurunan koefisien prestasi terjadi karena adanya kenaikan daya kompresor dibandingkan kapasitas refrigerasi (Q_e) setelah melebihi beban 40 watt seperti terlihat pada Gambar 4, ini dikarenakan sistem belum pada kondisi yang steady sepanjang alirannya.



Gambar 4 Grafik hubungan beban pendingin terhadap kapasitas refrigerasi (Q_e) dan daya kompresor (P) pada R12

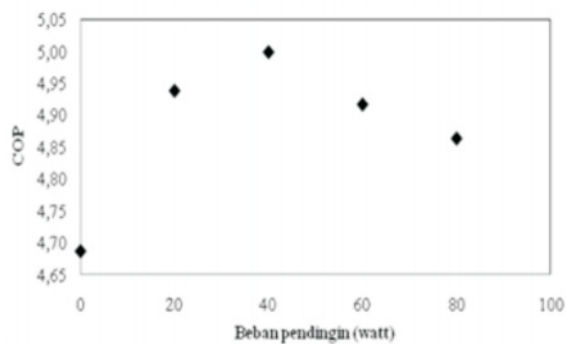
Sementara dari Gambar 4 terlihat bahwa daya kompresor (P) dan kapasitas refrigerasi (Q_e) cenderung stabil ada sedikit selisih nilai kapsitas dan daya kompresor untuk setiap beban pendinginan yang ada. Hal ini disebabkan sistem belum bekerja dalam kondisi stabil akibat beban yang masih rendah yaitu 80 watt yang masih memenuhi syarat dari daya kompresor mesin pendingin yaitu 86 watt, (Q_e) sedikit mengalami penurunan, karena disuatu sisi terjadi peningkatan temperatur dan tekanan pada kompresor sehingga menyebabkan tingkat kenaikan daya kompresor akan bertambah.

Berdasarkan Tabel 3 sampai Tabel 4 diperoleh grafik waktu pendinginan terhadap temperatur evaporator seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



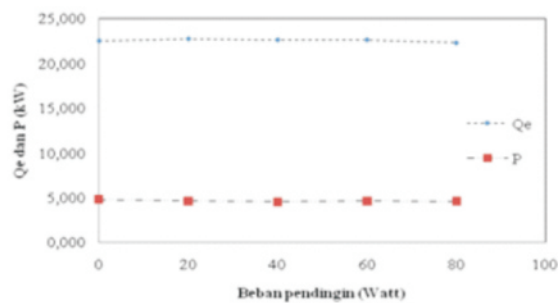
Gambar 5 Grafik hubungan waktu pendinginan terhadap temperatur evaporator untuk setiap variasi beban pendingin pada LPG

Pada Gambar 5 terlihat mengalami penurunan temperatur dalam setiap variasi beban pendinginan. Pada waktu yang sama yaitu menit 30, temperatur yang dicapai pengujian tanpa beban adalah 10°C, beban 20 watt sebesar 11°C, beban 40 watt sebesar 12°C, beban 60 watt sebesar 15°C, dan untuk beban 80 watt sebesar 17°C. Hal ini disebabkan karena dengan beban pendinginan yang lebih besar maka sistem melepaskan kalor yang lebih besar juga sehingga temperatur ruangan menjadi tinggi. Dengan demikian menyebabkan temperatur evaporator lebih rendah.



Gambar 6 Grafik Hubungan beban pendinginan terhadap COP pada LPG

Pada Gambar 6 grafik hubungan antara beban pendingin terhadap COP (*coefficient of performance*) yaitu COP tertinggi terlihat ketika diberi beban 40 watt yaitu 5,00 selanjutnya COP mengalami penurunan. Penurunan koefisien prestasi terjadi karena adanya kenaikan daya kompresor dibandingkan kapasitas refrigerasi (Q_c) setelah melebihi beban 40 watt seperti terlihat pada Gambar 7, ini dikarenakan sistem belum pada kondisi yang steady sepanjang alirannya

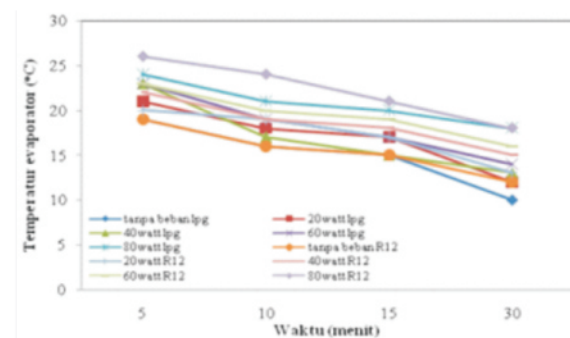


Gambar 7 Grafik hubungan beban pendingin terhadap kapasitas refrigerasi (Q_c) dan daya kompresor (P) pada LPG

Pada Gambar 7 terlihat daya kompresor dan kapasitas refrigerasi cenderung stabil dari mulai beban 40 watt pendingin sampai beban 80 watt. Hal ini disebabkan sistem belum bekerja dalam kondisi stabil akibat beban yang masih rendah yaitu 80 watt yang masih memenuhi syarat dari daya kompresor mesin pendingin yaitu 86 watt, disatu sisi terjadi peningkatan temperatur dan tekanan pada kompresor, sebagaimana yang diungkapkan stoecker [10], bahwa terdapat nilai beban pendingin tertentu yang memungkinkan terjadi kesetimbangan antara pipa kapiler dan kompresor. Bila perpindahan kalor pada evaporator tidak dipenuhi pada titik kesetimbangan kompresor – pipa kapiler, akan dihasilkan kondisi yang tidak seimbang yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi kerja.

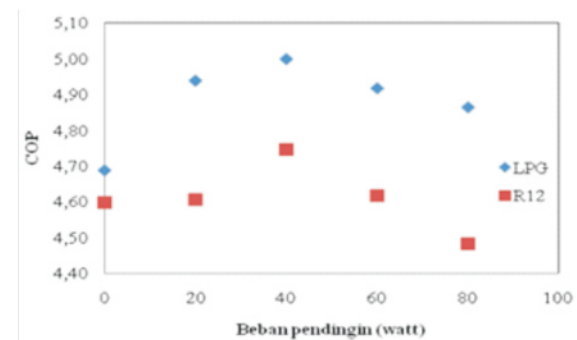
Untuk lebih jelasnya pengaruh dari beban pendingin menggunakan refrigeran R12 dan LPG dapat dilihat pada Gambar 8 sampai Gambar 10 analisis grafik keseluruhan dari temperatur evaporator, COP

(*coefficient of performance*), kapasitas kefrigerasi, dan daya kompresor.



Gambar 8 Grafik temperatur evaporator terhadap waktu pada LPG dan R12

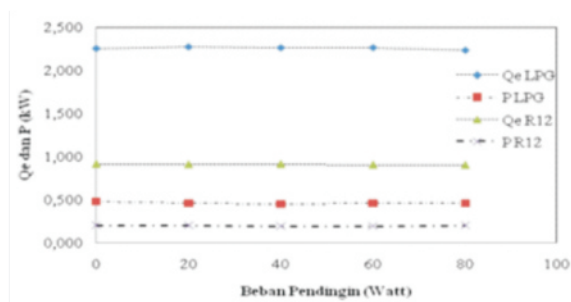
Dari hasil analisis grafik hubungan temperatur evaporator dengan waktu pada Gambar 8 terlihat penurunan temperatur evaporator di dalam lemari es seiring dengan bertambahnya waktu, dalam waktu yang sama dan jenis refrigeran yang berbeda, terlihat bahwa menggunakan refrigeran LPG pada setiap beban pendinginan temperatur evaporatornya lebih rendah daripada menggunakan refrigeran R12.



Gambar 9 Grafik COP terhadap beban pendinginan pada LPG dan R12

Pengaruh beban pendingin terhadap kinerja mesin pendingin menggunakan refrigeran R12 dan LPG ditunjukkan pada Gambar 9 dengan hasil penelitian menggunakan R12 koefisien kinerja (COP) tertinggi adalah 4,75 ketika beban sebesar 40 watt setelah itu COP mengalami penurunan, pada refrigeran LPG koefisien kinerja (COP) tertinggi adalah 5,00 ketika beban 40 watt dari sini terlihat bahwa penggunaan refrigeran LPG lebih baik karena memiliki kinerja mesin yang cukup baik dibandingkan R12 dilihat dari COP yang didapat dari beban yang sama.

Pada Gambar 10 ditunjukkan grafik daya kompresor (P) dan kapasitas refrigerasi (Q_c) yang diperoleh bahwa kapasitas refrigerasi dan daya kompresor yang dihasilkan pada LPG lebih besar daripada R12, hal ini disebabkan karena adanya nilai dampak refrigerasi dan kerja kompresor yang lebih besar dari LPG dibandingkan dengan R12.



Gambar 10 Grafik Qe dan P terhadap beban pendingin pada LPG dan R12

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas pada pembahasan mengenai efek beban pendingin pengaruh beban pendingin terhadap kinerja mesin pendingin menggunakan refrigeran R12 ditunjukkan pada koefisien kinerja (COP) tertinggi adalah 4,75 ketika beban sebesar 40 watt, pada refrigeran LPG koefisien kinerja (COP) tertinggi adalah 5,00 ketika beban 40 watt dari sini terlihat bahwa penggunaan refrigeran LPG lebih baik karena memiliki kinerja mesin yang cukup baik dibandingkan R12 dilihat dari COP yang didapat dari beban yang sama. Diperoleh bahwa menggunakan refrigeran LPG temperatur yang dihasilkan lebih rendah daripada R12 pada waktu yang sama yaitu 30 menit, temperatur pada LPG tanpa beban pendingin adalah 10 °C, beban 20 watt sebesar 11 °C, beban 40 watt sebesar 12 °C, beban 60 watt sebesar 15 °C, dan untuk beban 80 watt sebesar 17 °C dan R12 temperatur yang dihasilkan tanpa beban adalah 12 °C, beban 20 watt sebesar 13 °C, 40 watt sebesar 15 °C, beban 60 watt sebesar 16 °C, dan untuk beban 80 watt sebesar 18 °C.

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan bisa mevariasikan beban pendingin dengan menggunakan perbandingan massa refrigeran atau jenis refrigeran yang berbeda. Dalam penelitian selanjutnya waktu pendinginan yang dipakai lebih rinci lagi karena berpengaruh terhadap data yang dihasilkan, sistem harus benar-benar terkendali dari alat ukur, media penelitian, serta komponen-komponen yang mendukung lainnya untuk data yang lebih valid lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Helmi, R. 2010. *Perbandingan COP Pada Refrigerator dengan Refrigeran CFC R12 Dan HC R134a untuk Panjang Pipa Kapiler yang Berbeda*. Jurnal. Fakultas Industri, jurusan Teknik Mesin, Universitas Gunadarma
- [2] Wibowo, D.B. dkk. 2006. *Pengaruh Variasi Massa Refrigeran R-22 dan Putaran Blower Evaporator terhadap COP Pada Sistem Pengkondisian Udara Mobil*. Traksi. Vol. 4. No. 1

- [3] Aziz, A. 2009 *Studi Eksperimental Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R22 Pada Kondisi Transient*. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 6 No. 2.
- [4] M.A. Alsaad, M.A. Hammad, *The application of propane/butane mixture for domestic refrigerators*, Appl. Therm. Eng. 18 (1998) 911–918.
- [5] M.A. Hammad, M.A. Alsaad, *The use of hydrocarbon mixtures as refrigerants in domestic refrigerators*, Appl. Therm. Eng. 19 (1999) 1181–1189.
- [6] Fatouh, M, Kafafy (2006). *Applied Thermal Engineering-Experimental evaluation of a domestic refrigerator working with LPG*.
- [7] <http://www.kamusilmiah.com>
- [8] Anwar, K. 2010. *Efek Beban Pendingin Terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin*. Jurnal SMARTek, Vol.8 No.3. Agustus 2010: 203-214
- [9] Salem A.S. 2002. *Assessment of LPG as possible alternative to R-12 in domestic refrigerator*.
- [10] Stoecker, W.J. 1992. *Refrigeran dan Pengkondisian Udara*. Edisi kedua, Erlangga, Jakarta. 246-248

PENGARUH *MICROEXPLOSION* TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BAHAN BAKAR MINYAK JARAK PAGAR (*JATHROPA CURCAS L.*) PADA BERBAGAI DIAMETER *DROPLET*

AHMAD ADIB ROSYADI

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

ABSTRACT

Insights to develop alternative energy sources comes as the depletion of fossil fuel reserves . One is the use of Jatropha or Jatropha curcas Linnaeus . Plants that can be grown on degraded land and does not require much water and fertilizer proved to be extremely effective if the fruit or seeds developed into biodiesel as an alternative energy to replace diesel oil, fuel oil, even kerosene. Jatropha oil has properties that approach the characteristics of liquid fuel especially diesel oil . This prompted the researchers conducted a study of castor oil to find alternative fuels as a substitute for petroleum. In this study the method used is a true experimental research, by comparing one or more test groups with treatment and without treatment . This study uses a variation of the independent variable droplet diameter to the size of 1.75 mm, 1.88 mm, and 1.98 mm . Dependent variable is the temperature of combustion, burning time, the sound frequency fluctuations and flame visualization. The results showed that the larger the droplet diameter greater likelihood microexplosion . From observation of the flame burning with microexplosion found that the larger the droplet diameter, the height and width of the flame will tend to increase. Microexplosion make a bigger flame. Burning castor oil to produce ignition delay time microexplosion sooner. Microexplosion castor oil combustion also generates burning with a good rate . It is approaching the character of diesel oil, the ignition delay time is fast but the diesel combustion temperature is lower than pure castor oil.

Keywords : microexplosion, burningrate, castor oil

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat. Seperti yang telah diketahui sebagian besar pemenuhan energi tersebut berasal dari bahan bakar fosil yang ketersediaannya tidak dapat diperbarui dan keberadaannya semakin menipis. Kondisi ini mendorong kita untuk mengganti, menemukan dan mengembangkan sumber energi baru.

Berbagai upaya telah dilakukan oleh para peneliti untuk mencari alternatif pengganti bahan bakar minyak tersebut, salah satunya dengan menggunakan bahan bakar alternatif dari tumbuh-tumbuhan dalam hal ini minyak jarak pagar. Minyak jarak pagar memiliki sifat yang mendekati karakteristik dari bahan bakar cair khususnya minyak diesel. Hal ini mendorong para peneliti melakukan penelitian terhadap minyak jarak untuk menemukan bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak bumi. Bahan bakar alternatif harus bersifat dapat diperbarui dan ramah lingkungan. Sedangkan tanaman jarak pagar mudah dibudidayakan dengan demikian tanaman jarak pagar mudah diperbarui. Selain itu minyak jarak tidak dikonsumsi oleh manusia sehingga tidak mengalami persaingan dengan minyak untuk pangan.

Salah satu karakteristik pembakaran yang dapat meningkatkan efisiensi pembakaran adalah *microexplosion*. Pada perkembangan selanjutnya Agung Sudrajat (mahasiswa program doktor di Kobe University Faculty of Maritime Sciences) menemukan bahwa *microexplosion* dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi nitrogen oksida akibat pembakaran pada suhu tinggi. Manfred Aigner dkk (2006) menyatakan bahwa *Microexplosion* terjadi bila terdapat perbedaan titik didih komposisi penyusun bahan bakar, yaitu air dan bahan bakar. *Microexplosion* menyebabkan terbentuknya butiran bahan bakar yang sangat kecil, sehingga menyebabkan makin mudahnya pembakaran pada suhu tinggi. Pada minyak jarak dapat terjadi *microexplosion* karena perbedaan titik didih antara *fatty acid* dan *glycerol*nya. Hojat Ghassemi dkk (2006) mendapatkan bahwa perubahan diameter *droplet* berpengaruh terhadap karakteristik *microexplosion*. Dalam penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah campuran air dan *normal heptane* dan *normal hexadecane*. Diameter *droplet* yang digunakan adalah 1,1mm hingga 1,3mm. *Microexplosion* pada *droplet* yang memiliki diameter besar lebih sering terjadi daripada *droplet* yang berdiameter kecil.

Berdasarkan penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa *microexplosion* berpengaruh

terhadap karakteristik pembakaran minyak jarak pagar dengan diameter *droplet* yang bervariasi. Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh *microexplosion* terhadap karakteristik pembakaran bahan bakar minyak jarak pagar pada berbagai diameter *droplet*.

METODOLOGI PENELITIAN

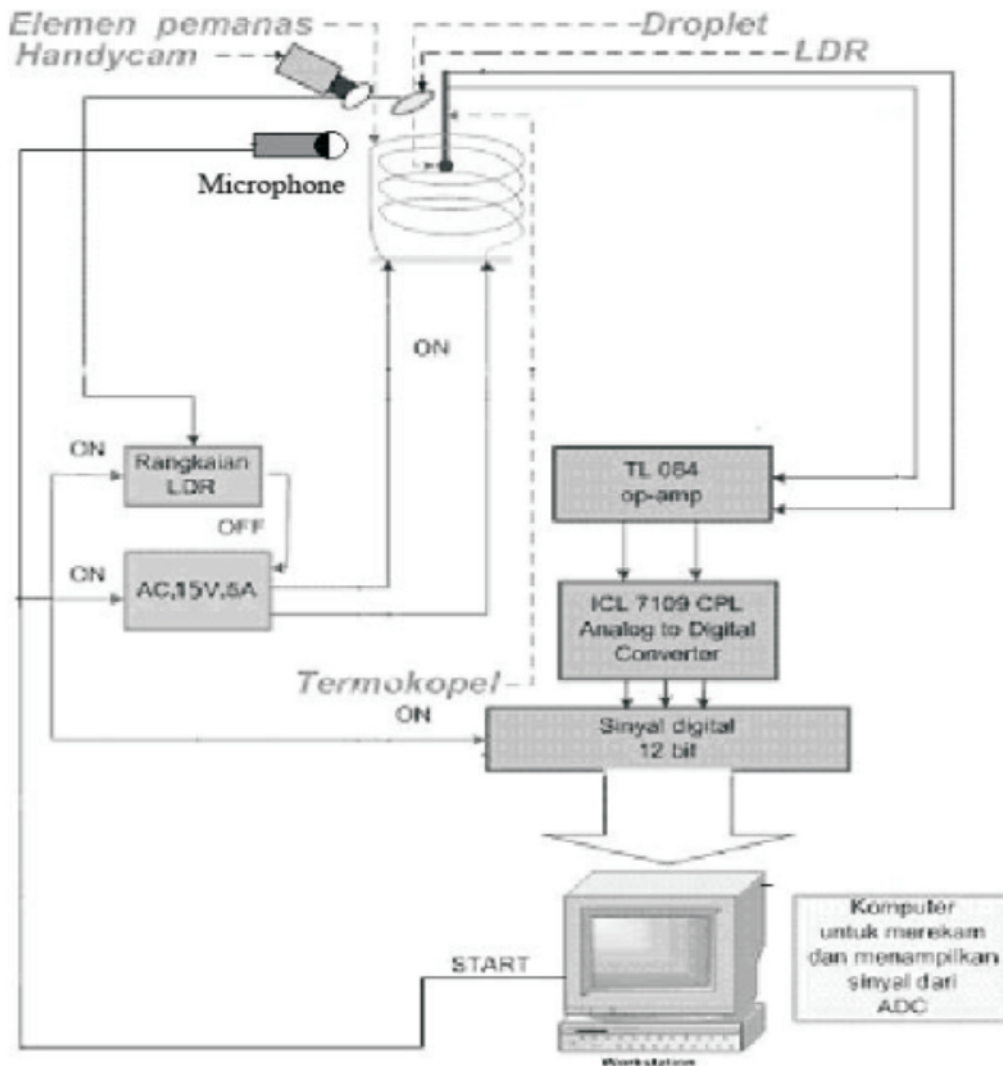
Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah *true experimental research*, yaitu dengan membandingkan satu atau lebih kelompok pengujian dengan perlakuan dan tanpa perlakuan. Penelitian ini menggunakan variabel bebas berupa variasi diameter *droplet* dengan ukuran 1,75 mm; 1,88 mm; dan 1,98mm. Variabel terikatnya adalah temperatur

pembakaran, waktu pembakaran, fluktuasi frekuensi dan visualisasi nyala api

Alat-alat yang digunakan :

1. Botol Elemen
2. Alat Pembentuk *Droplet*.
3. *Thermo Couple*
4. Stavolt
5. Power Supply
6. Elemen Pemanas
7. Perangkat Sensor
8. Perangkat Sistem Kontrol
9. Komputer
10. *Microphone*
11. *Handycam*
12. Kamera digital

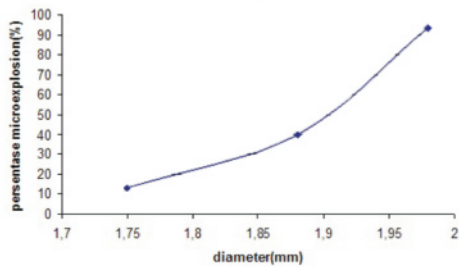
Instalasi penelitian



Gambar 1 Rangkaian Alat Uji Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan antara intensitas *microexplosion* terhadap variasi diameter *droplet*



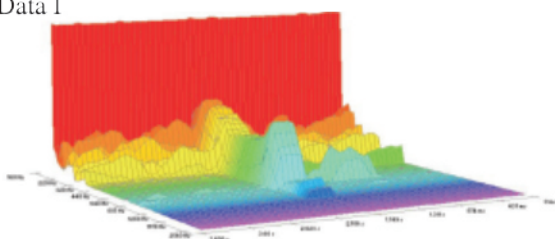
Gambar 2 Grafik hubungan intensitas *microexplosion* terhadap diameter *droplet* pada pembakaran minyak jarak pagar.

Pada grafik hubungan intensitas *microexplosion* terhadap diameter *droplet* dapat diketahui karakteristik *microexplosion* pada diameter *droplet* yang berbeda. Semakin besar diameter *droplet* maka intensitas *microexplosion* yang terjadi semakin banyak. Pada diameter 1,75mm *microexplosion* yang terjadi hanya 2 kali dari 15 kali pengujian (13,333%). Sedangkan pada diameter yang lebih besar (1,88mm) *microexplosion* yang terjadi meningkat menjadi 6 kali dari 15 kali pengujian (40%). Pada diameter 1,98mm intensitas *microexplosion* yang terjadi semakin banyak, yaitu 14 kali dari 15 kali pengujian (93,333%). Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar diameter *droplet* maka intensitas *microexplosion* yang terjadi semakin banyak. Hal ini dikarenakan dengan diameter *droplet* yang besar menyebabkan laju pembakaran yang lambat sehingga memberikan waktu bagi *fatty acid* untuk menyusup ke dalam *glycerol* dan menciptakan *microexplosion*. Sedangkan pada diameter *droplet* yang kecil maka laju pembakaran menjadi cepat sehingga *fatty acid* habis terbakar dahulu sebelum sempat menyusup ke dalam *glycerol* untuk menciptakan *microexplosion*. Hal ini juga disebabkan karena viskositas dari *glycerol* yang lebih tinggi dari *fatty acid*. Semakin besar diameter *droplet* maka komposisi *glycerol* akan semakin banyak pula. Semakin banyak jumlah *glycerol* maka memberi ruang *fatty acid* untuk menyusup dan menimbulkan *microexplosion*. Pada diameter *droplet* yang kecil kadar *glycerol* juga sangat kecil sehingga tidak terdapat tempat bagi *fatty acid* untuk melakukan *microexplosion*.

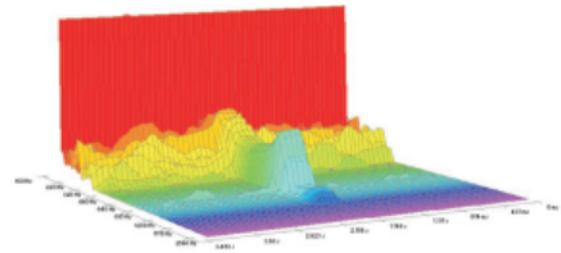
Hubungan antara waktu pembakaran terhadap frekuensi suara pada beberapa variasi diameter *droplet* dengan dan tanpa *microexplosion*.

1,75mm

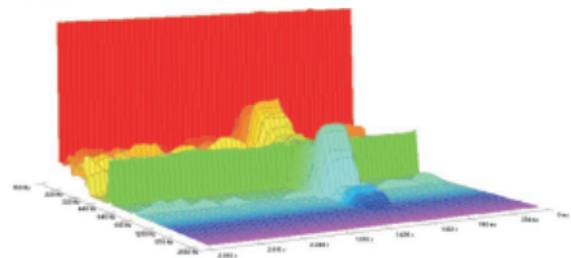
Data 1



Data 2

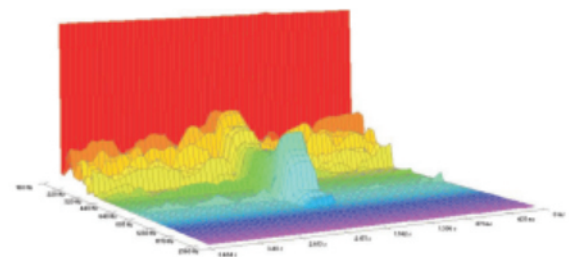


Data 3

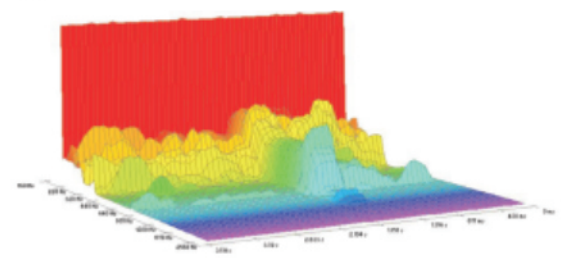


1.88mm

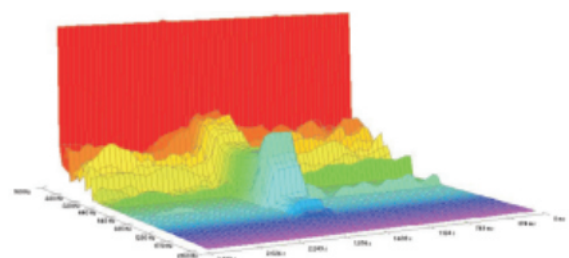
Data 1



Data 2

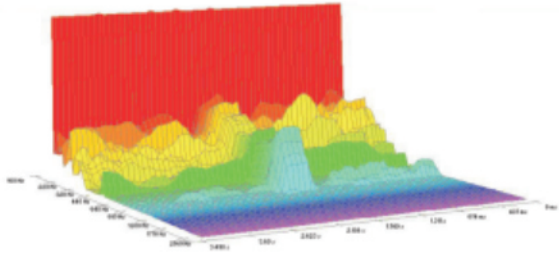


Data 3

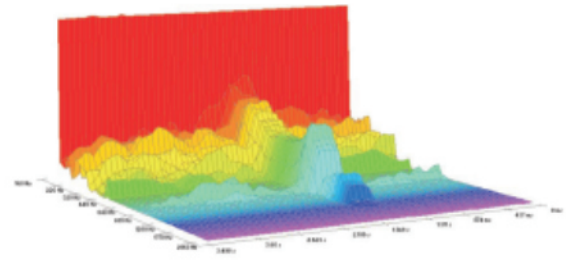


1,98mm

Data 1



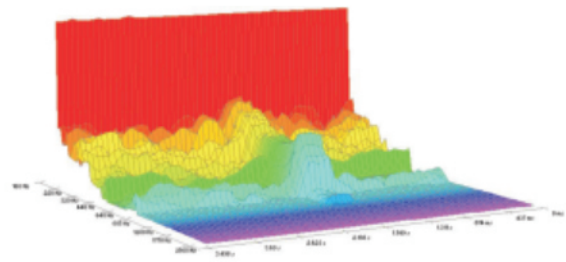
Data 3



Gambar 3 Masing-Masing grafik hubungan waktu pembakaran terhadap frekuensi suara pada pembakaran minyak jarak tanpa *microexplosion*.

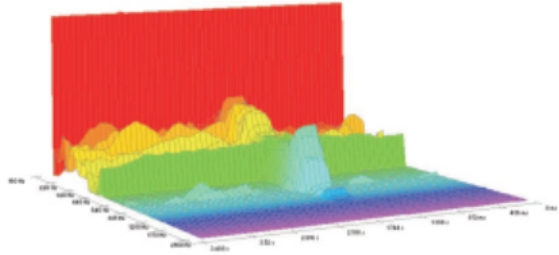
1.98mm

Data 1

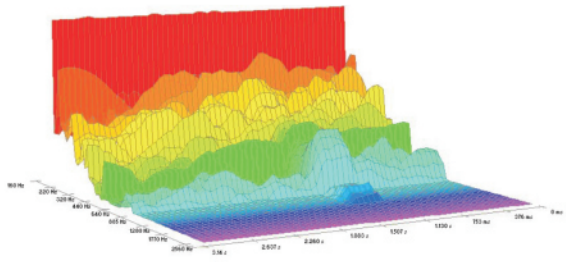


1.75mm

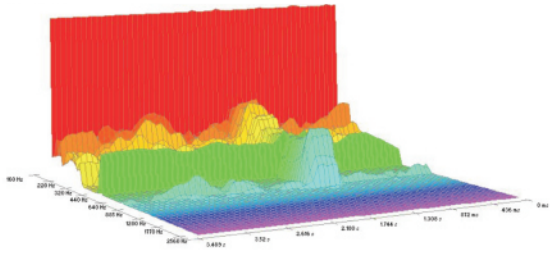
Data 1



Data 2

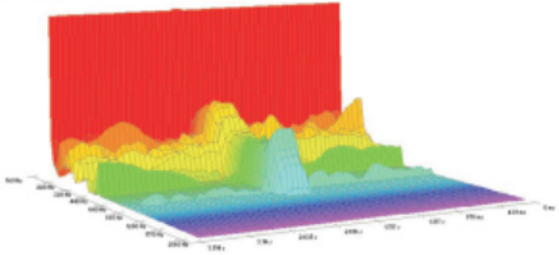


Data 2

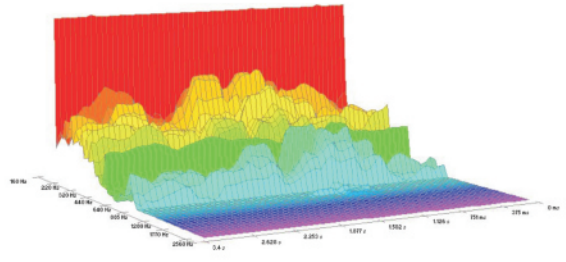


1,88mm

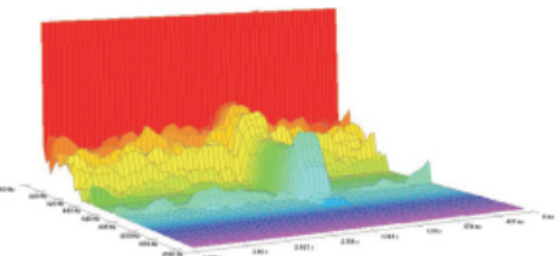
Data 1



Data 3



Data 2



Gambar 4 Masing-Masing grafik hubungan waktu pembakaran terhadap frekuensi suara pada pembakaran minyak jarak dengan *microexplosion*.

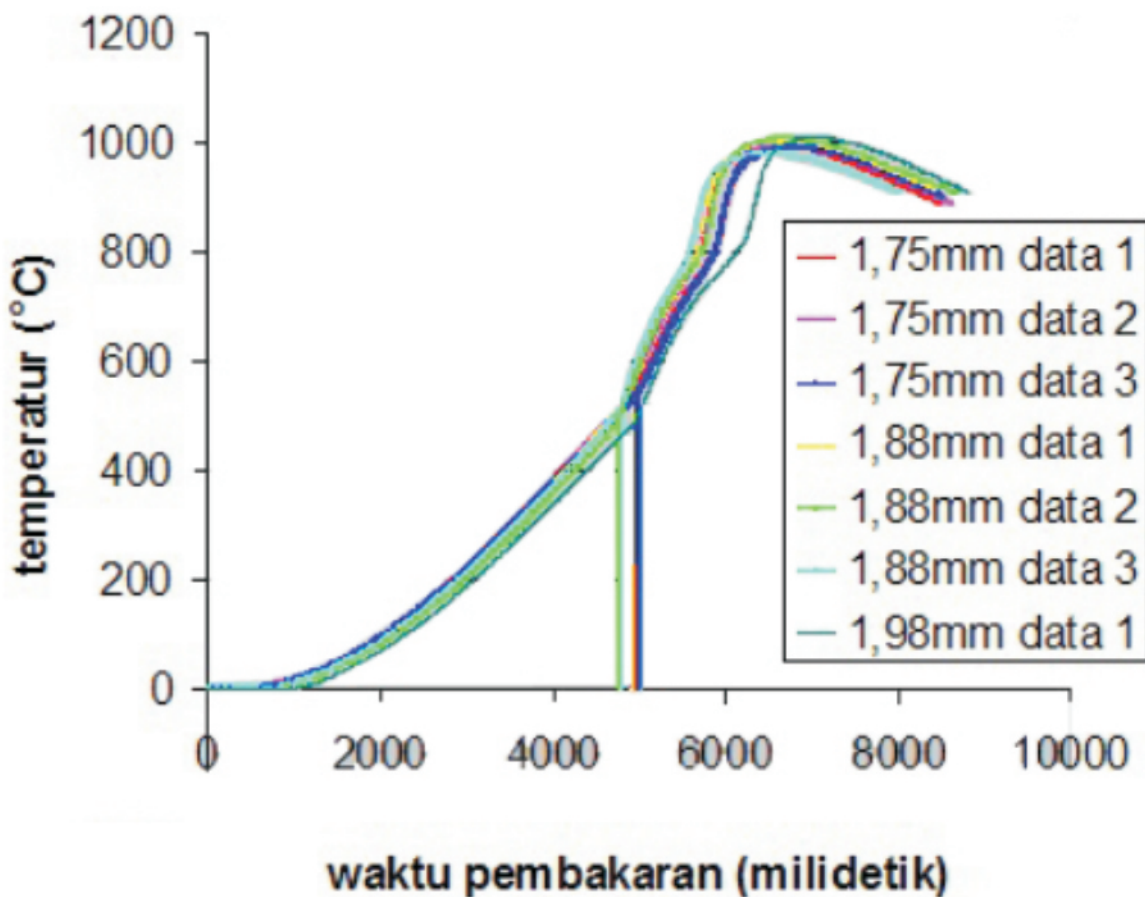
Pada grafik perbandingan hubungan frekuensi suara dan waktu pembakaran pada pembakaran minyak jarak tanpa *microexplosion* dan dengan

microexplosion di atas dapat diketahui perbedaan frekuensi suara tanpa dan dengan *microexplosion* serta karakteristik dari *microexplosion* terhadap besar diameter *droplet*. Pada saat tidak terjadi *microexplosion* terlihat sedikit bahkan tidak terjadi fluktuasi frekuensi setelah ledakan pertama. Sedangkan pada saat terjadi *microexplosion* terlihat fluktuasi frekuensi setelah ledakan awal.

Dengan semakin besarnya diameter *droplet* maka fluktuasi frekuensi yang terjadi semakin besar dan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar diameter *droplet* maka *microexplosion* yang dihasilkan juga semakin kuat. Kuatnya *microexplosion* pada diameter *droplet* yang besar ini disebabkan oleh butiran *fatty acid* yang terperangkap di dalam *glycerol* juga berukuran lebih besar daripada diameter *droplet* yang lebih kecil sehingga memiliki kekuatan yang besar pula dalam melakukan *microexplosion*.

Hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur pada beberapa variasi diameter *droplet* dengan dan tanpa *microexplosion*

Pada grafik perbandingan hubungan temperatur pembakaran dan waktu pembakaran pada minyak jarak tanpa *microexplosion* dan dengan *microexplosion* di atas dapat diketahui karakteristik dari pemanasan awal (*preheating*), penguapan (*evaporation*), dan temperatur penyalaan atau *ignition* baik saat terjadi *microexplosion* maupun saat tidak terjadi *microexplosion*. Pada proses pemanasan awal terjadi transfer panas dari elemen pemanas menuju permukaan *droplet* minyak jarak secara radiasi kemudian perpindahan panas secara konduksi dari permukaan *droplet* ke titik pusat diameternya. Kalor yang diberikan oleh elemen pemanas selama pemanasan awal *droplet* mengakibatkan temperatur *droplet* menjadi naik sampai dengan temperatur nyala bahan bakar (*flash point*). Kemudian bahan bakar akan mulai terbakar yang ditandai dengan munculnya nyala



Gambar 5 Gabungan grafik hubungan waktu pembakaran terhadap temperatur pembakaran minyak jarak pagar dengan *microexplosion* dan tanpa *microexplosion*.

api. Mulai terbakarnya bahan bakar dapat dilihat pada grafik yang ditandai garis vertikal yang menunjukkan LDR dalam keadaan menyala yang berarti mulai adanya nyala api.

Dari Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya *microexplosion* cenderung mempercepat terjadinya proses awal pembakaran. Hal ini dikarenakan pada awal proses pemanasan, kadar *fatty acid* lebih banyak sehingga menyebabkan *droplet* terbakar lebih dahulu dan sebagian menyusup ke dalam *glycerol* untuk melakukan *microexplosion*. Waktu penyalaan *droplet* ditunjukkan oleh garis vertikal ke atas.

Dari gambar grafik di atas waktu penyalaan *droplet* minyak jarak dengan *microexplosion* dengan diameter *droplet* 1.75 mm berturut-turut adalah 4768 milidetik, dan 4720 milidetik. Untuk diameter *droplet* 1,88 mm berturut-turut adalah 4846 milidetik, 4716 milidetik dan 4810 milidetik. Untuk diameter *droplet* 1,98 mm berturut-turut adalah 4940 milidetik, 4740 milidetik dan 4658 milidetik. Sedangkan pada gambar grafik 4.7 waktu penyalaan *droplet* minyak jarak tanpa *microexplosion* pada diameter *droplet* 1.75 mm berturut-turut adalah 4974 milidetik, 4914 milidetik dan 4982 milidetik. Untuk diameter *droplet* 1,88 mm berturut-turut adalah 4920 milidetik, 4770 milidetik dan 4796 milidetik. Untuk diameter *droplet* 1,98 mm berturut-turut adalah 5030 milidetik.

Kemudian dapat dilihat juga dari grafik di atas temperatur maksimum dari *droplet* minyak jarak dengan *microexplosion* untuk data 1, data 2, data 3 pada diameter 1,75 mm berturut-turut adalah 1017 °C, 1002 °C. Untuk diameter 1,88 mm berturut-turut adalah 1029 °C, 1032 °C, 1020 °C. Untuk diameter 1,98 mm berturut-turut adalah 1024 °C, 1026 °C, 1028 °C. Sedangkan dari grafik di atas temperatur maksimum dari *droplet* minyak jarak tanpa *microexplosion* untuk data 1, data 2, data 3 pada diameter 1,75 mm berturut-turut adalah 988 °C, 999 °C, 996 °C. Untuk diameter 1,88 mm berturut-turut adalah 1006 °C, 1011 °C, 982 °C. Untuk diameter 1,98 mm berturut-turut adalah 1012 °C.

Waktu pemanasan bahan bakar tergantung pada diameter *droplet*, hal ini sesuai persamaan $Q \cdot t = (m \cdot c \cdot \Delta T)$. Dengan bertambahnya diameter *droplet* maka massa bahan bakar (m) akan bertambah pula, sehingga waktu (t) yang dibutuhkan untuk *preheating* juga akan bertambah. Dengan bertambahnya diameter *droplet* maka jumlah *glycerol* dan *fatty acid* juga akan bertambah. Hal ini tentunya berdampak pada waktu pemanasan tiap diameter *droplet* bahan bakar, selang waktunya akan meningkat. Dengan bertambahnya diameter *droplet* maka massa bahan bakar (m) akan

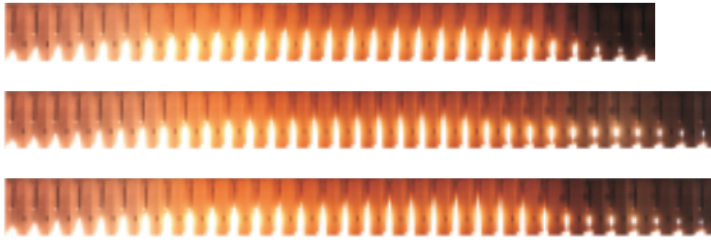
bertambah pula, sehingga waktu (t) yang dibutuhkan untuk pemanasan awal juga akan bertambah, karena massa bahan bakar berbanding lurus dengan waktu pemanasan.

Proses pembakaran diawali dengan penguapan bahan bakar, kemudian dari uap yang dihasilkan akan terbakar, selanjutnya proses tersebut berlangsung secara terus menerus sampai *droplet* terbakar sampai habis. Dapat kita lihat pada grafik, pada puncak pertama merupakan proses penguapan asam lemak (*fatty acid*), kemudian puncak kedua yaitu proses penguapan *glycerol*. Asam lemak memiliki kekentalan (*viscosity*) yang lebih rendah dari *glycerol*, sehingga asam lemak akan terbakar terlebih dahulu. Semakin kecil diameter *droplet* maka penguapan *glycerol* akan tidak begitu nampak. Berdasarkan proporsinya konsentrasi *glycerol* hanya 20%, dan asam lemak 80% dari total volume bahan bakar. Semakin kecil diameter *droplet* bahan bakar maka semakin kecil pula volume *glycerol*, sehingga penguapan *glycerol* tidak begitu nampak.

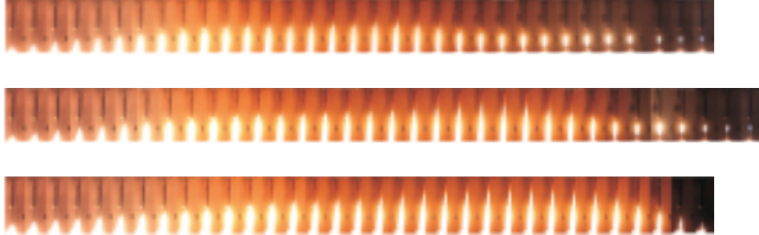
Dari grafik diketahui bahwa temperatur pembakaran akan terus naik sampai *droplet* terbakar habis. Berdasarkan gambar di atas, laju penguapan tercepat dimulai dari diameter *droplet* 1,75mm, 1,88mm, dan 1,98mm. Hal ini sesuai dengan persamaan laju penguapan (v_e) dan pembakaran (V_{pm}) yang menyatakan bahwa laju penguapan dan pembakaran *droplet* berbanding terbalik dengan diameter *droplet* (d_o^2). Sehingga dengan bertambahnya diameter *droplet* maka laju penguapan akan turun. Setelah mengalami penguapan, *droplet* akan mulai terbakar. Sehingga temperatur pembakaran akan terus naik sampai *droplet* terbakar habis. Semakin besar diameter maka semakin lama proses terbakarnya *droplet*. Semakin lamanya proses pembakaran akan dicapai temperatur yang maksimal. Temperatur akhir pembakaran berdasarkan gambar grafik tersebut, menunjukkan bahwa temperatur pembakarannya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya diameter *droplet* bahan bakar.

Secara keseluruhan, pembakaran minyak jarak dengan *microexplosion* memiliki temperatur maksimum pembakaran lebih tinggi jika dibandingkan dengan pembakaran minyak jarak tanpa *microexplosion*. Hal ini disebabkan karena *microexplosion* yang terjadi pada saat proses pembakaran minyak jarak kurang kuat sehingga menyebabkan api bergoyang dan mengganggu proses pembakaran dan menyebabkan temperatur meningkat. Akan tetapi waktu penyalaan minyak jarak dengan *microexplosion* lebih cepat daripada waktu penyalaan minyak jarak tanpa *microexplosion*, hal ini

7,5mm



8,8mm

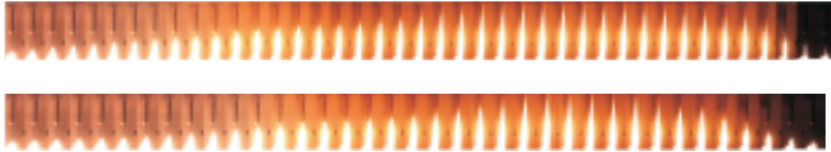


9,8mm

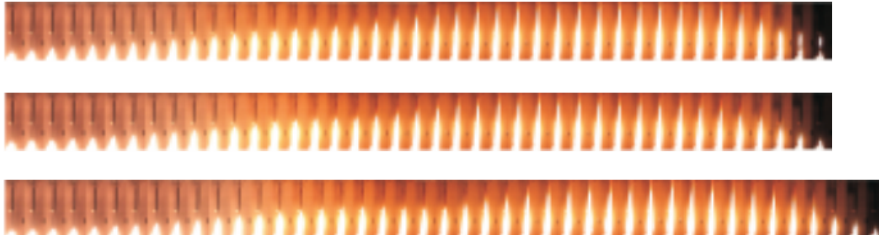


Gambar 6 Visualisasi bentuk nyala api minyak jarak pagar tanpa *microexplosion* pada berbagai variasi diameter.

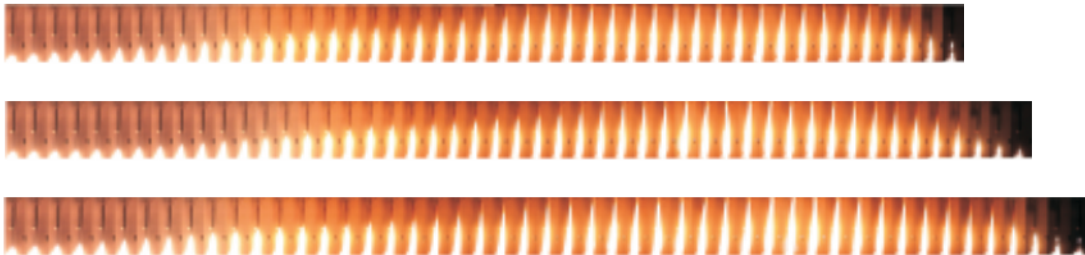
7,5mm



8,8mm



9,8mm



Gambar 7 Visualisasi bentuk nyala api minyak jarak pagar dengan *microexplosion* pada berbagai variasi diameter

karena *droplet* yang mengalami *microexplosion* memiliki jumlah *fatty acid* yang lebih banyak sehingga *fatty acid* terbakar terlebih dahulu

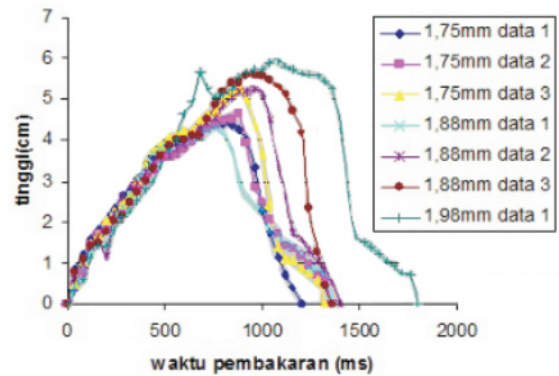
Visualisasi api *droplet* minyak jarak pagar pada beberapa variasi diameter *droplet*

Gambar 6 dan 7 menunjukkan visualisasi perubahan bentuk nyala api yang terjadi selama proses pembakaran minyak jarak pagar tanpa *microexplosion* dan dengan *microexplosion* pada beberapa variasi diameter *droplet*. Pada visualisasi pembakaran *droplet* minyak jarak pagar tanpa *microexplosion* dan dengan *microexplosion* pada gambar 6 dan 20 dapat dilihat bahwa keduanya memiliki persamaan, yaitu semakin besar diameter *droplet* maka jumlah *frame* yang terbentuk semakin banyak. Terjadinya *microexplosion* ditandai dengan adanya perubahan dimensi api secara mendadak. Semakin banyaknya *frame* mengindikasikan bahwa semakin lamanya selang waktu bahan bakar untuk habis. Semakin besar diameter *droplet*, massa bahan bakar juga semakin besar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk proses pembakaran juga lama. Hal ini sesuai rumusan $Q = (m.c.\Delta T) : t$. Untuk membakar massa yang sedikit maka dibutuhkan kalor yang kecil pula, sehingga waktu yang diperlukan pun semakin singkat. Dengan lamanya waktu pembakaran ini maka memberikan waktu bagi *fatty acid* menyusup ke dalam *glycerol* untuk melakukan *microexplosion*, namun *microexplosion* yang semula diharapkan mempercepat waktu pembakaran justru menambah waktu pembakaran karena *microexplosion* yang terjadi tidak begitu kuat sehingga hanya membuat api bergoyang dan justru mengganggu pembakaran.

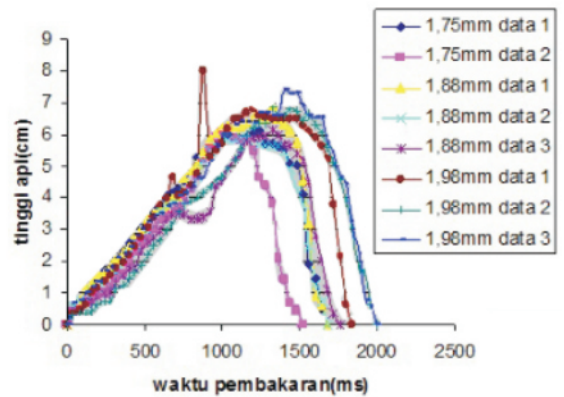
Semakin besar diameter *droplet* maka api dari pembakaran *glycerol* akan mulai tampak. Hal ini dikarenakan konsentrasi volume dari asam lemak lebih besar, yaitu sekitar 80% dari total volume bahan bakar. Dari kedua senyawa, asam lemak memiliki viskositas yang lebih rendah dari *glycerol*, sehingga dengan bertambahnya diameter *droplet*, maka akan tampak pembakaran dari asam lemak diikuti dengan pembakaran *glycerol*. Pembakaran asam lemak dimulai dari awal pembakaran kemudian api mencapai tinggi maksimum, dan berakhir sampai api pada ketinggian terendah pada tahap pertama. Sedangkan pembakaran *glycerol* dimulai setelah habisnya pembakaran asam lemak, kemudian pembakaran *glycerol* akan mencapai tinggi api optimum sampai dengan api padam.

Dari visualisasi tersebut tampak bahwa *microexplosion* mulai terjadi ketika *glycerol* terbakar. Di dalam *glycerol* inilah terdapat *fatty acid* yang terperangkap dan menyebabkan *microexplosion*. Pada diameter *droplet* yang besar jumlah *glycerol* juga semakin besar sehingga memberikan ruang bagi *fatty acid* untuk menyusup ke dalamnya dan menimbulkan *microexplosion*.

Hubungan tinggi api dan waktu pembakaran *droplet* minyak jarak pagar pada beberapa variasi diameter



Gambar 8 Gabungan grafik hubungan waktu pembakaran terhadap tinggi api pada pembakaran minyak jarak pagar tanpa *microexplosion*



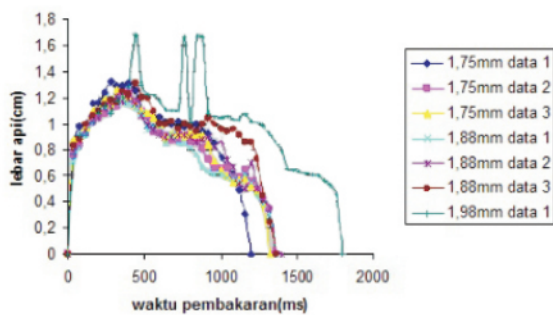
Gambar 9 Gabungan grafik hubungan waktu pembakaran terhadap tinggi api pada pembakaran minyak jarak pagar dengan *microexplosion*

Dari grafik di atas, baik pembakaran tanpa *microexplosion* maupun dengan *microexplosion* dapat disimpulkan bahwa semakin besar diameter *droplet* maka tinggi api akan semakin meningkat pula. Nyala api terpendek dimiliki oleh diameter *droplet* 1,75 mm dan nyala api terpanjang dimiliki oleh diameter *droplet* terbesar, yaitu 1,98 mm. Hal ini disebabkan karena viskositas dari *glycerol* yang lebih tinggi dari asam lemak. Semakin besar diameter *droplet* maka komposisi *glycerol* akan semakin banyak pula. Sehingga membutuhkan waktu dan energi yang lebih besar untuk melakukan proses pembakaran. Semakin lamanya proses pembakaran mengakibatkan tercapainya temperatur pembakaran yang lebih tinggi, sehingga nyala api pun menjadi lebih tinggi.

Microexplosion yang terjadi pada pembakaran *droplet* juga dapat menambah ukuran nyala api. *Microexplosion* terjadi karena adanya perbedaan titik didih antara *fatty-acid* dan *glycerol*. Komposisi *glycerol*

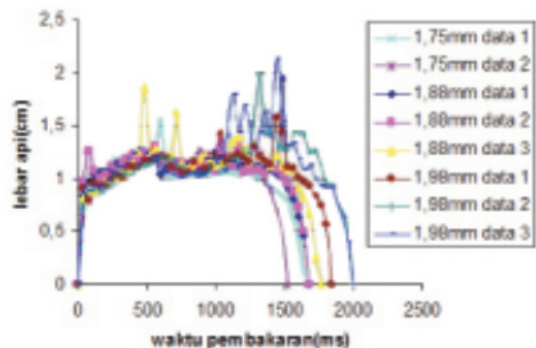
lebih sedikit daripada asam lemak, yaitu sekitar 20 %. Semakin besar diameter *droplet* maka semakin banyak pula *glicerol* yang terkandung. Jumlah *glicerol* yang banyak memberikan ruang bagi *Fatty acid* untuk melakukan *microexplosion*. Letupan ini dapat memecah *droplet* menjadi butiran-butiran kecil, sehingga proses penguapan menjadi lebih cepat. Semakin cepat penguapan, terbentuknya uap menjadi lebih banyak, nyala api yang lebih besar ditimbulkan oleh uap bahan bakar yang lebih banyak. Namun *microexplosion* yang terjadi kurang kuat sehingga membuat api bergoyang sehingga mengganggu proses pembakaran

Hubungan lebar api dan waktu pembakaran *droplet* minyak jarak pagar pada beberapa variasi diameter



Gambar10 Gabungan grafik hubungan waktu pembakaran terhadap lebar api pada pembakaran minyak jarak pagar tanpa *microexplosion*

Dari grafik hubungan lebar api dan waktu pembakaran baik yang tanpa *microexplosion* maupun dengan *microexplosion* dapat dilihat bahwa semakin besar diameter *droplet* maka semakin lebar pula dimensi api yang dihasilkan, karena karena massa bahan bakar bertambah seiring dengan bertambahnya diameter *droplet*. Pada saat diberikan energi panas dari heater, uap bahan bakar yang dihasilkan oleh diameter *droplet* yang besar akan menjadi lebih banyak. Hal ini mengakibatkan semakin banyaknya uap yang bereaksi dan terbakar menjadi api. Saat proses pembakaran maka oksigen yang tertarik kedalam api juga semakin besar. Sehingga terjadi peningkatan ukuran lebar api.

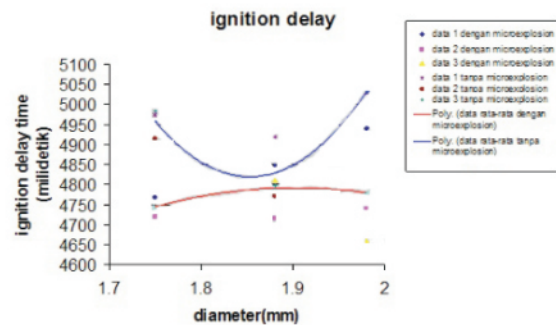


Gambar11 Masing-masing grafik hubungan waktu pembakaran terhadap lebar api pada pembakaran minyak jarak pagar dengan *microexplosion*

Pada diameter *droplet* yang semakin besar juga memberikan kesempatan pada bahan bakar untuk terjadinya proses *microexplosion*. *Microexplosion* terjadi karena adanya perbedaan titik didih antara *fatty-acid* dan *glicerol*. *Microexplosion* ini menyebabkan terjadinya perubahan dimensi api yang mendadak. *Microexplosion* terjadi pada *droplet* berdiameter besar karena komposisi *glicerol* semakin banyak pada diameter yang semakin besar. Semakin besar diameter *droplet* maka semakin banyak pula *glicerol* yang terkandung sehingga lebih memungkinkan adanya *microexplosion*. Letupan ini dapat memecah *droplet* menjadi butiran-butiran kecil, sehingga proses penguapan menjadi lebih cepat. Semakin cepat penguapan, terbentuknya uap menjadi lebih banyak, nyala api yang lebih besar ditimbulkan oleh uap bahan bakar yang lebih banyak. Namun *microexplosion* yang terjadi kurang kuat sehingga membuat api bergoyang, sehingga mengganggu proses pembakaran.

Dari grafik juga terlihat bahwa *microexplosion* terjadi setelah *glycerol* mulai terbakar. Hal ini menunjukkan bahwa *microexplosion* terjadi karena *fatty acid* yang terperangkap di dalam *glycerol* mendidih terlebih dahulu sehingga memiliki tekanan yang kuat dan menghasilkan *microexplosion* saat pembakaran.

Hubungan diameter *droplet* terhadap *ignition delay time* pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar



Gambar12 Grafik hubungan diameter *droplet* terhadap *ignition delay time* pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar dengan dan tanpa *microexplosion*.

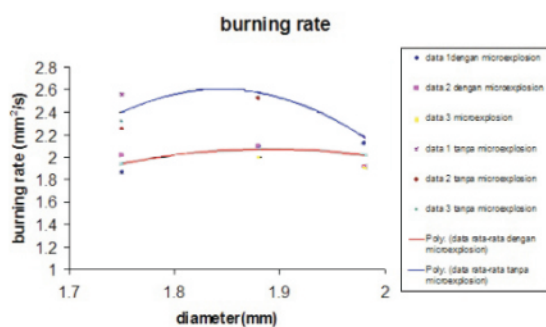
Pada grafik hubungan diameter *droplet* terhadap *ignition delay time* tanpa perlakuan di atas dapat kita lihat bahwa *ignition delay time* tanpa *microexplosion* dari masing-masing diameter *droplet* mulai dari diameter 1,75mm hingga 1,98mm secara berturut-turut adalah 4744; 4790,667; 4779,333; milidetik. Sedangkan *ignition delay time* dengan *microexplosion* dapat kita lihat dari mulai diameter 1,75mm hingga 1,98mm memiliki *ignition delay time* secara berturut-turut adalah 4956,667; 4828,667; 5030 milidetik

Dari kedua grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa *ignition delay* pada minyak jarak pagar dengan *microexplosion* lebih cepat apabila dibandingkan dengan *ignition delay* minyak jarak pagar tanpa *microexplosion*. Hal ini karena pada *droplet* yang akan melakukan *microexplosion* mengandung jumlah *fatty acid* yang banyak sehingga *fatty acid* ini terbakar lebih dahulu dan sebagian menyusup ke dalam *glycerol* untuk melakukan *microexplosion*.

Dengan menurunkan persamaan *trendline* yang terbentuk, akan didapatkan diameter *droplet* yang memiliki *ignition delay* tercepat. *Ignition delay* time tercepat terjadi pada *droplet* berdiameter 1,902 mm yaitu 4791,657 milidetik

Hubungan diameter *droplet* terhadap *burning rate* pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar

Dapat dilihat pada gambar 13 terdapat dua grafik yang menunjukkan *burning rate* pada proses pembakaran *droplet* minyak jarak tanpa *microexplosion* dan dengan *microexplosion*. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa *microexplosion* justru akan memperkecil *burning rate* pada pembakaran *droplet*. Pada pembakaran tanpa *microexplosion* *droplet* dengan diameter 1,88 mm memiliki *burning rate* yang tinggi yaitu 2,574 mm²/s. Seiring bertambahnya ukuran *droplet* hingga diameter 1,98 mm *burning ratenya* cenderung menurun.



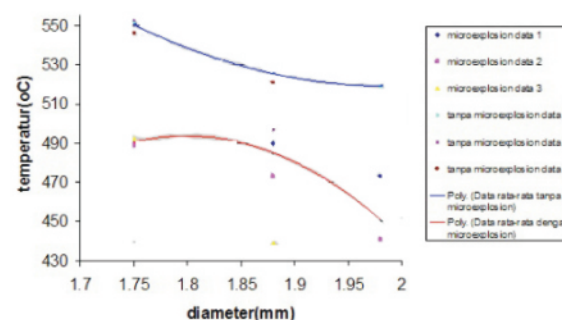
Gambar 13 Grafik hubungan diameter *droplet* terhadap *burning rate* pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar dengan tanpa *microexplosion*

Hal ini sesuai dengan persamaan teori kinetik gas $\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} k T$ dimana kecepatan reaksi suatu pembakaran berbanding terbalik dengan massa yang dibakar, apabila massa yang terbakar semakin banyak, maka pembakarannya akan berlangsung lebih lama. *Droplet* dengan diameter besar memiliki massa yang banyak, sehingga memerlukan waktu yang lebih lama untuk habis terbakar. Menurut rumus *burning rate* yaitu $k = \frac{d^2}{t}$, *burning rate* dan waktu pembakaran

berbanding terbalik, semakin lama waktu pembakaran, maka *burning ratenya* semakin rendah. *Burning rate* minyak jarak pagar dengan *microexplosion* justru lebih rendah karena *microexplosion* yang terjadi kurang kuat sehingga membuat api bergoyang sehingga mengganggu pembakaran. Namun grafik *burning rate* pembakaran minyak jarak dengan *microexplosion* menunjukkan kecenderungan meningkat, hal ini menandakan bahwa pembakaran *microexplosion* lebih stabil daripada tanpa *microexplosion*. Dengan menurunkan persamaan garis *trendlinenya*, maka didapat ukuran *droplet* dengan *burning rate* paling lama. *Droplet* yang memiliki *burning rate* paling lama adalah *droplet* berdiameter 1,844 mm yaitu 3,06 mm²/s

Hubungan diameter *droplet* terhadap temperatur penyalan pada proses pembakaran minyak jarak pagar

Dari data didapatkan temperatur penyalan dari diameter *droplet* 1,75mm ; 1,88mm ; dan 1,98 mm dengan *microexplosion* adalah 490,5 °C ; 485 °C dan 451 °C.



Grafik 14 Grafik hubungan diameter *droplet* terhadap temperatur penyalan pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar dengan *microexplosion* dan tanpa *microexplosion*.

Dari grafik diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa temperatur penyalan pada pembakaran *droplet* minyak jarak dengan *microexplosion* pada diameter 1,75mm ; 1,88mm ; dan 1,98 mm terlihat lebih rendah daripada temperatur penyalan pada pembakaran *droplet* minyak jarak tanpa *microexplosion*. Hal ini disebabkan karena pada *droplet* yang akan melakukan *microexplosion* memiliki jumlah *fatty acid* yang banyak sehingga *fatty acid* terbakar terlebih dahulu dan sebagian menyusup ke dalam *glycerol* untuk melakukan *microexplosion*.

KESIMPULAN

Dari pengamatan dan analisis terhadap grafik hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *microexplosion* dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran. Pengaruh tersebut antara

lain :

- Semakin besar diameter *droplet* maka intensitas terjadinya *microexplosion* dan kekuatan *microexplosion* semakin besar.
- *Microexplosion* yang terjadi pada pembakaran *droplet* minyak jarak mempersingkat waktu penyalaan (*ignition delay time*) karena terdapat jumlah *fatty acid* yang banyak sehingga *fatty acid* terbakar terlebih dahulu dan sebagian menyusup ke dalam *glicerol* untuk melakukan *microexplosion*.
- *Burning rate* pada pembakaran dengan *microexplosion* lebih rendah karena pada saat terjadi *microexplosion*, letupan ini membuat api bergoyang dan mengganggu proses pembakaran.

Pembakaran. Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Zemansky, Zears. 1986. *Fisika untuk Universitas Jilid 2*. Bandung : Binacipta.

DAFTAR PUSTAKA

- Aigner, Manfred DLR. 2006. *Modeling Evaporation and Microexplosion of Water in Alkane Emulsion Droplets*. Germany: German Aerospace Center
- Ghassemi, Hojat , Seung Wong Baek & Qasim S.K. 2006. *Experimental Study on Microexplosive Burning of Binary Fuel Droplets*. Korea: Korea Advanced Institute of Science and Technology.
- Halliday, David dan Resnick, Robert. 1988. *Fisika Jilid I dan II*, Jakarta : Erlangga.
- Hendartomo, Tomi. 2006. *Pemanfaatan Minyak Dari Tumbuhan Untuk Pembuatan Biodiesel*. Universitas Gajahmada. Yogyakarta.
- Kuo, Kenneth K. 1986. *Principles of Combustion*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Nur Alam Syah, Andi. 2006. *Biodiesel Jarak Pagar*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Ralph H, Petrucci. 1996. *Kimia Dasar*.
- Tj. Soetiari. 1990. *Bahan Bakar dan Proses-Proses Kimia Pembakaran*. Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Turns, Stephen. 1996. *An Introduction to Combustion*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Wardana, I.N.G. 1995. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Widiartama, A. 2005. *Pengaruh Diameter Droplet Terhadap Karakteristik Pembakaran Minyak Jarak Pagar di Dalam Pengaruh Medan Magnet*. Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Wijayanti, Widya. 2003. *Bahan Bakar dan Teknik*

PENGARUH KECEPATAN RELATIF PERMUKAAN GESEK DAN TEMPERATUR TERHADAP KOEFISIEN GESEK BLOK REM KOMPOSIT KERETA API

Agus Triono¹

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
Email : agustriono1@gmail.com

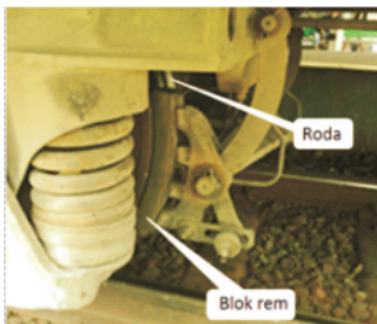
ABSTRACT

Braking system is an important thing on safety of the train. In that process, kynetic energy changed into thermal energy that would be known by the increasing of temperature at the surface and around the area of contact between the wheels and brakes. From research before, the increasing of contact temperature would lead a thermal crack on the wheel. Failure could be occure by that crack. Based on that results, research on the phenomenon of rising temperatures due to friction between wheel and rail would be very needed. In this paper, the effect of temperature and relative velocity of the surface to coefficient of friction would be studied. Experimental study of this paper using pin on disc test with 2 kg load and relative velocity variated from 4,61 m/s(400 rpm); 5,76 m/s(500 rpm) and 6,91 m/s(600 rpm). Results of this research shows that increasing temperature and relative velocity would lead an increasing of friction coefficient.

Key word: brake, composite, temperature, friction coefficient, relative velocity

PENDAHULUAN

Blok rem termasuk bagian terpenting dari sistem pengereman kereta api. Blok rem merupakan bahan habis pakai yang memerlukan penggantian secara rutin. Sejauh ini penggunaan blok rem pada kereta api terbagi menjadi dua jenis yaitu blok rem metalik dan blok rem komposit. Di antara kedua jenis blok rem ini, blok rem komposit lebih dipilih untuk diaplikasikan dibanding blok rem metalik. Hal ini dikarenakan blok rem komposit memiliki beberapa keunggulan dibanding blok rem metalik. Keunggulan tersebut antara lain: (1) lima kali lebih ringan, sehingga lebih mudah dipasang, (2) umur pemakaian lima kali lebih tahan lama, (3) tingkat keausan lebih rendah, dan (4) perbandingan harga dan umur pemakaian yang lebih baik[1-5].



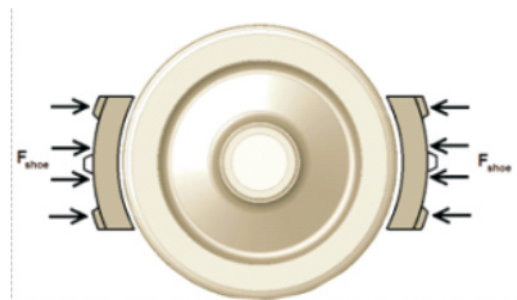
Gambar 1. Blok Rem Kereta Api

Jika dilihat dari efek gesekan yang ditimbulkan, blok rem komposit memberikan efek

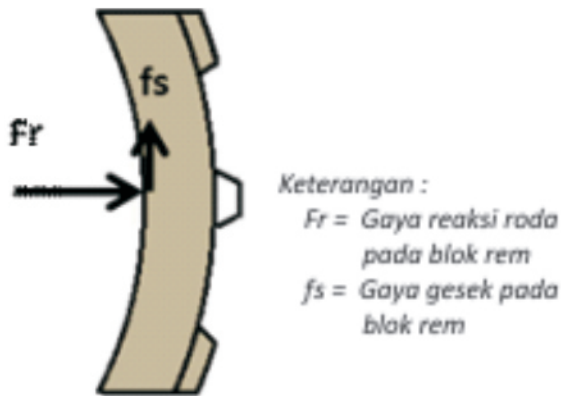
gesekan yang lebih kecil dibanding blok rem metalik. Hal ini justru menguntungkan untuk aplikasi kereta api karena efek gesekan pada blok rem yang terlalu besar akan menyebabkan efek *skidding* pada roda dimana roda kereta api tidak berputar sementara kereta api tetap bergerak maju[6]. Efek *skidding* ini akan menyebabkan keausan berlebih pada kontak antara roda dan rel sehingga roda tidak lagi berbentuk bundar.

Gesekan Antara Blok Rem dan Roda

Untuk dapat mengamati fenomena gesekan yang terjadi pada blok rem kereta api, perlu dipahami terlebih dahulu gaya-gaya yang mengakibatkan timbulnya gesekan pada blok rem. Gambar 2 berikut memperlihatkan diagram gaya gesek yang terjadi antara roda kereta dan blok rem. Gaya reaksi yang diberikan oleh roda kepada blok rem akan menghasilkan gesekan pada blok rem. Besarnya gaya gesek ini dipengaruhi oleh permukaan kontak antara roda dan blok rem serta koefisien gesek blok rem.



Gambar 2. Gaya pada blok rem

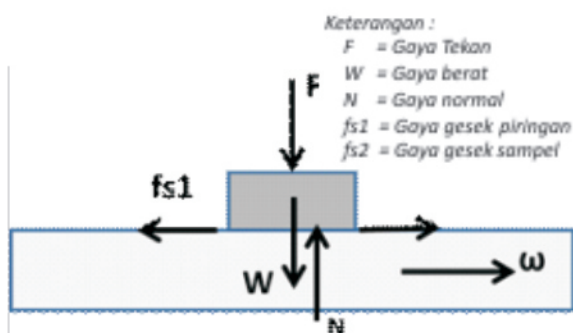


Gambar 3. Gaya gesek pada blok rem

Gaya gesek yang terjadi pada blok rem selanjutnya dianalogikan sebagai gaya gesek antara sampel rem dengan piringan pada uji gesek *pin on disc* [7]. Gambar 4 berikut memperlihatkan model uji gesek *pin on disc*.



Gambar 4. *pin on disc*

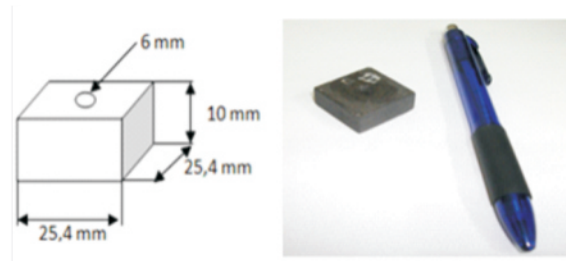


Gambar 5. Model gaya pada *pin on disc*

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini meliputi pembuatan specimen dan pengujian gesek menggunakan alat *pin on disc test* yang sesuai dengan standar **ASTM D3702-94**.

Spesimen untuk pengujian gesek berbentuk balok dengan ukuran 25,4 mm x 25,4 mm x 10 mm [8] seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Ukuran sampel [8]

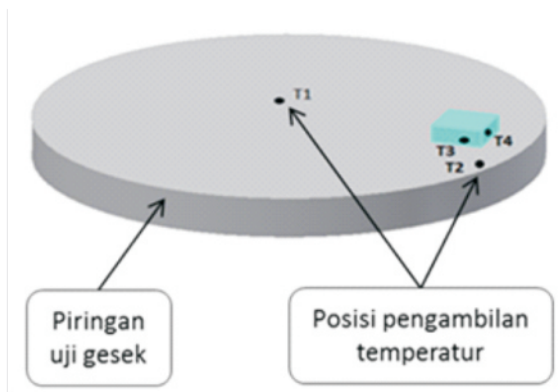
Set Up Pengujian

Set up yang perlu dilakukan dalam persiapan dan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut,

1. Kondisi permukaan gesek harus dipastikan dalam keadaan dingin dengan suhu berkisar antara 24 – 25 °C.
2. Sampel ditempatkan pada dudukan dengan posisi tegak lurus permukaan serta tegak lurus indikator beban yang dalam hal ini menggunakan timbangan digital agar seluruh gaya gesek diteruskan ke timbangan digital.
3. Sebelum motor dijalankan, tuas penekan dipastikan tidak menyentuh permukaan bidang timbangan tetapi ditahan dan disentuh perlahan agar tidak terjadi beban impact.
4. Kecepatan relative permukaan gesek divariasikan sebanyak tiga kecepatannya itu 400 rpm, 500 rpm dan 600 rpm atau setara dengan 4,61 m/s; 5,76 m/s dan 6,91 m/s.
5. Pengujian ini dilakukan selama 70 menit dengan rentang waktu pengambilan data sebesar 2,5 menit di awal pengujian serta 10 menit diakhir pengujian.
6. Data temperature serta gaya gesek diambil sebanyak 5 buah data untuk tiap-tiap titik pengujian yang kemudian dirata-ratakan. Hal ini untuk menghilangkan efek noise atau getaran mesin uji gesek.
7. Temperatur diambil pada 4 posisi untuk melihat pengaruh suhu pada tengah dan pinggir piringan serta pada bagian depan dan samping sampel. Posisi pengambilan data ini dapat dilihat pada Gambar 8.
8. Setelah selesai untuk satu pengujian dilakukan pendinginan selama kurang lebih satu jam agar suhu permukaan piringan kembali normal.
9. Data-data yang diperoleh selanjutnya dimasukkan ke dalam tabel untuk dikonversikan menjadi koefisien gesek.



Gambar 7. Mesin uji gesek



Gambar 8. Posisi pengukuran temperatur

HASIL DAN PEMBAHASAN

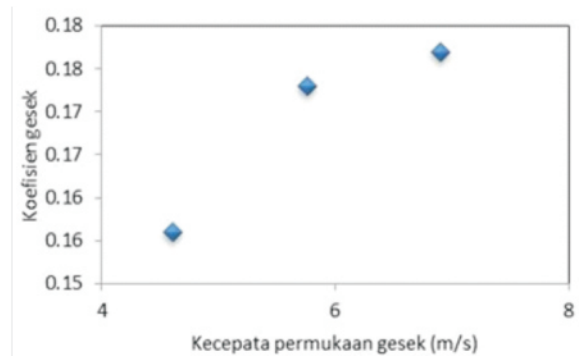
Gaya serta temperatur yang dihasilkan dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 berikut. Data pada Tabel 1 tersebut dihasilkan dari kecepatan relative piringan sebesar 5,76 m/s (500 rpm).

Tabel 1. Temperatur dan gaya gesek sampel selama pengujian

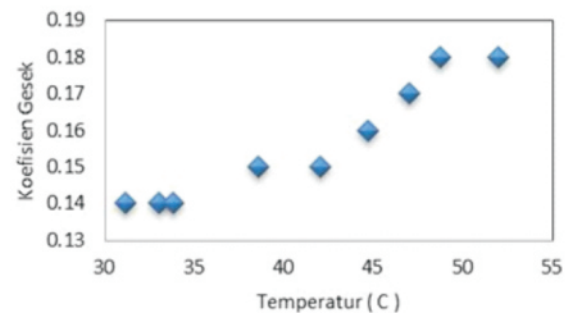
| Waktu (menit) | Temperatur rata-rata (C) | Gaya rata-rata (gram) | Koefisien Gesek |
|---------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|
| 2.5 | 28.78 | 1102 | 0.14 |
| 5 | 31.20 | 1069 | 0.14 |
| 7.5 | 33.08 | 1059 | 0.14 |
| 10 | 33.88 | 1049 | 0.14 |
| 20 | 38.63 | 1106 | 0.15 |
| 31 | 42.08 | 1132 | 0.15 |
| 40 | 44.70 | 1192 | 0.16 |
| 52 | 47.03 | 1264 | 0.17 |
| 62 | 48.78 | 1318 | 0.18 |
| 72 | 51.98 | 1369 | 0.18 |

Terlihat pada Tabel 1 di atas bahwa koefisien gesek serta temperature meningkat seiring dengan meningkatnya waktu pengujian. Hal ini diakibatkan oleh perubahan energy kinetic menjadi energy panas. Pengujian selanjutnya dilakukan untuk kecepatan 4,61 m/s (400 rpm) dan 6,91 m/s (600 rpm).

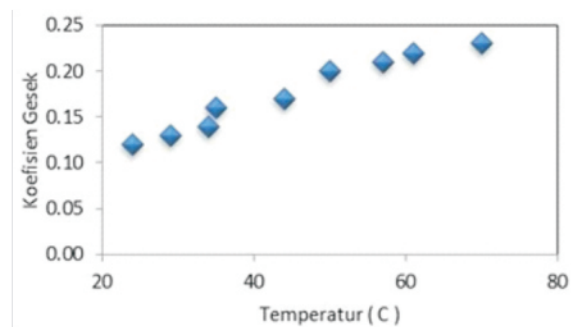
Grafik yang terdapat pada Gambar 9 - 12 memperlihatkan bahwa koefisien gesek meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan relatif permukaan gesek. Hal ini dikarenakan gaya inersia yang terjadi pada piringan akan semakin besar dengan meningkatnya kecepatan relatif piringan. Peningkatan gaya inersia ini akan meningkatkan gaya tekan pada timbangan sehingga ketika gaya ini dikonversikan menjadi koefisien gesek, nilai koefisien gesek pun menjadi meningkat.



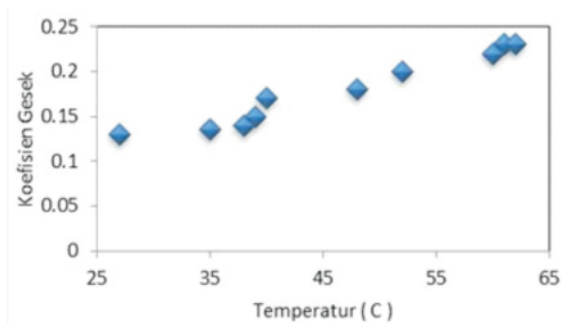
Gambar 9. Grafik koefisien gesek terhadap kecepatan relatif permukaan gesek



Gambar 10. Grafik koefisien gesek terhadap temperatur pada kecepatan 4,61 m/s (400 rpm).



Gambar 11. Grafik koefisien gesek terhadap temperatur pada kecepatan 5,76 m/s (500 rpm).



Gambar 12. Grafik koefisien gesek terhadap temperatur pada kecepatan 6,91m/s (600 rpm).

Terlihat bahwa koefisien gesek meningkat dengan meningkatnya temperature permukaan gesek. Fenomena ini dapat terjadi dikarenakan ikatan kontak antara sampel dan piringan meningkat seiring dengan peningkatan temperatur.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari uji gesek adalah sebagai berikut :

1. Koefisien gesek meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan relatif permukaan gesek. Hal ini disebabkan adanya peningkatan gaya inersia relatif antara sampel dan piringan.
2. Temperatur kontak antara sampel dan piringan mempengaruhi koefisien gesek sampel. Meningkatnya temperatur akan meningkatkan koefisien gesek sampel. Hal ini disebabkan meningkatnya gaya ikat kontak antara sampel dan piringan saat temperatur kontak meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Triono Agus, Budiarko A. , Puja IGN Wiratmaja, *Design and Production Study of Railway Brake Block*, National Symposium RAPI IX, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia, 2010
- [2] Yulianto, Setiawan R, *Composite Brake Characteristics Design Using Knowledge Based Design Methodology*, Thesis, Institute Technology Bandung, Indonesia, 2011
- [3] Hilman A, *Performance And Evaluation Of Friction Component For Railway Brake Application Using Extension Evaluation Method*, Thesis, Institute Technology Bandung, Indonesia, 2011
- [4] Triono Agus, Puja IGN Wirtamaja, Brodjonegoro Satryo S., *Effect of particle size On The Development Mechanical Properties Of Composite Brake Materials*, Proceeding of National Physic symposium, Palangkaraya, Indonesia, 2012

- [5] LAPI-ITB, *Final Report of Research, Development and Impelementation of Railway Brake Block Composite*, 2006
- [6] RidhoEzello, *Pengembangan Spesimen Rem Komposit Berkoefisien Gesek Rendah Untuk Aplikasi Blok Rem Kereta Api*, Tugas Akhir, FTMDITB, 2011
- [7] Indriyanto, B., *Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Gesek untuk menguji Karakteristik Material Blok Rem Komposit Kereta Api*, Tugas Akhir FTMDITB, 2006.
- [8] LAPI-ITB, *SOP Pengujian Blok Rem Komposit Kereta Api*, 2010

ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN KEKASARAN KAWAT TEMBAGA HASIL *DRAWING* AKIBAT VARIASI PERSENTASE REDUKSI

Mohammad Firman, Mahros Darsin, Hari Arbiantara B.
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: mahros.azzahra@yahoo.co.id

ABSTRACT

Wire drawing is cold working process to reduce the cross-sectional area. The value of reduction is different in every process, depend on the needs and working parameters. The degree of reduction causes differences of copper wire rod in the characteristics and quality, such as its tensile strength and roughness. The purpose of this research is to determine the influence degree of reduction to the tensile strength and roughness of copper wire. The research method is comparing the tensile strength and roughness of copper wires control with drawn copper wires, without repetition stage. The specimens used in this research are pure copper rods (99.9%) with 3.1 mm, 3.2 mm and 3.25 mm in diameter and 2.8 mm of die output, so will get the degree of reductions are 19%, 23% and 26%. The results of this research was the wire drawing process increase the tensile strength of copper rods from 86.87 MPa to 100.74 MPa on 19% reduction. On 23% reduction the tensile strength increase from 82.24 MPa to 105.62 MPa. The greatest increase of tensile strength was result by 26% reduction, it was from 86.87 MPa to 115.36 MPa. With the more of degree of reduction on the drawing process led the increase of tensile strength will be greater. This research also obtained the result that the wire drawing process result the decrease roughness of copper rods from 0,144 μm to 0,089 μm on 19% reduction, from 0.146 μm to 0.087 μm on 23% reduction and the copper rod roughness decrease from 0.159 μm to 0.083 μm on 26% reduction. The increase of degree of reduction produce insignificantly result of surface roughness changing.

Keywords: *Roughness, Tensile Strength, Wire Drawing, Reduction, Copper*

PENDAHULUAN

Beberapa parameter dalam proses *wire drawing* yang telah diteliti memberikan pengaruh yang cukup kuat terhadap sifat-mekanik kawat hasil *drawing* antara lain, gaya *drawing*, desain cetakan, persentase dan rasio reduksi, kecepatan *drawing*, komposisi dan karakteristik bahan, pelumasan dan proses *treatment* sebelum *drawing*. Penelitian tentang optimasi sudut cetakan pernah dilakukan dengan simulasi melalui bantuan *software ANSYS*. Penelitian tersebut menemukan bahwa gaya dan tegangan *drawing* akan menurun seiring dengan semakin besarnya sudut cetakan *wire drawing*, namun gaya dan tegangan *drawing* tersebut akan kembali meningkat ketika sudut cetakan tersebut terus diperbesar [1]. Sementara pada pengujian langsung didapat hasil bahwa, semakin besar sudut cetakan yang digunakan pada proses *wire drawing*, akan memperkecil tegangan tarik yang dibutuhkan untuk melakukan proses *drawing* [2]. Pengaruh sudut cetakan terhadap efisiensi pengerjaan adalah penggunaan sudut cetakan *wire drawing* yang semakin besar, akan memperbesar produksi hasil *wire drawing* dan juga memperbesar jumlah kerusakan dalam produksi tersebut [3].

Kecepatan *drawing* pada proses *wire drawing* jugaberpengaruh terhadap sifat mekanik kawat hasil *drawing*. Peningkatan kecepatan *drawing* berbanding lurus dengan peningkatan kekuatan tarik kawat hasil *drawing* [4].

Persentase reduksi pada proses *wire drawing* berpengaruh terhadap beberapa sifat mekanik kawat hasil *drawing*. Semakin besar persentase pengurangan luas kawat tembaga, akan menyebabkan perubahan struktur mikro yang semakin pipih, tanpa ada perubahan fasa dan menyebabkan nilai kekerasan kawat tersebut juga akan semakin besar [5]. Peningkatan persentase reduksi pada proses *wire drawing* kawat NiTi juga akan memperkecil angka kekasarannya dan akan memperbesar tegangan *drawing* yang dibutuhkan untuk melakukan proses *drawing* [6].

Proses *wire drawing* adalah salah satu proses manufaktur yang paling sederhana. Prinsip dasar proses *wire drawing* adalah dengan cara mengurangi luas penampang awal kawat menjadi lebih kecil dengan batuan *dies*. Besarnya reduksi atau pengurangan luas penampang pada setiap proses *wire drawing* sangat beragam, hal tersebut sangat bergantung pada kebutuhan terhadap hasil akhir kawat

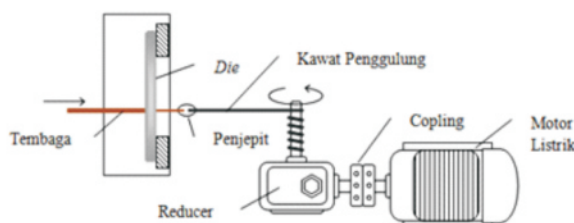
yang diinginkan serta parameter pengerjaannya. Semakin besar persentase reduksi pada suatu proses *wire drawing* maka waktu yang dibutuhkan dalam pengerjaan proses tersebut akan semakin cepat.

Adanya variasi persentase reduksi akan menyebabkan perbedaan pada kawat hasil *drawing*. Peningkatan nilai persentase reduksi akan menyebabkan bagian kawat yang terdeformasi akan semakin besar. Peningkatan daerah yang mengalami deformasi ini diduga akan menyebabkan perbedaan pada sifat-sifat mekanik kawat tembaga hasil proses *drawing*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi persentase reduksi terhadap nilai kekuatan tarik dan kekasaran kawat tembaga hasil penarikan.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu penelitian yang objektif, sistematis, dengan mengontrol variabel bebas yaitu persentase reduksi untuk memprediksi atau mengontrol variabel terikat yaitu kekuatan tarik dan kekasaran kawat tembaga hasil *drawing*. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki hubungan sebab akibat (*cause and effect relationship*), dengan cara melakukan proses *drawing* pada kawat tembaga dengan persentase reduksi tertentu, kemudian hasilnya dibandingkan dengan kawat tembaga kontrol yang tidak dikenai proses *drawing*. Penelitian dilakukan di laboratorium Desain dan Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Sudut cetakan yang digunakan pada penelitian ini sebesar $33,3^\circ$ atau $\alpha = 16,6^\circ$. Persentase reduksi yang digunakan pada penelitian ini sebesar 19%, 23% dan 26%, karena untuk mendapatkan nilai *delta factor* (Δ) sebesar (2-3). *Delta factor* adalah angka perbandingan anatar sudut cetakan dengan reduksi, agar proses *drawing* berjalan optimal. Dengan nilai α sebesar $16,6^\circ$, maka persentase reduksi yang harus digunakan adalah sebesar variasi di atas. Jenis tembaga yang digunakan dalam penelitian ini adalah tembaga murni dengan komposisi unsur utama Cu 97,9%, Sn 0,5% dan Zn 0,004% serta beberapa unsur lain.



Gambar 1. Mekanisme alat *wire drawing*

Mekanisme alat *wiredrawing* bisa terlihat seperti Gambar 1 di atas. Alat uji *wiredrawing* disiapkan untuk digunakan. Ujung kawat yang sudah diberi proses

preheating dan sudah dikikir, dimasukkan kedalam lubang cetakan yang sudah ditentukan, kemudian dijepit ke kawat penggulung. Motor listrik dinyalakan dan mulai berputar. Putaran tersebut akan ditransmisikan dan direduksi melalui mekanisme *gearbox* hingga putaran tersebut akan menjadi lebih rendah. Mekanisme putaran tersebut akan menggulung kawat penggulung dan akan menarik kawat tembaga melewati cetakan hingga kawat tembaga mengalami proses deformasi permanen. Prosedur *drawing* diulangi untuk setiap variasi persentase reduksi yang ada.

Pengujian Uji Tarik

Kawat tembaga hasil *drawing* dipotong sebagai sampel pengujian dengan ukuran spesimen sesuai dengan standar ASTM E8. Spesimen yang sudah memenuhi standar pengujian kemudian dicekamkan pada alat uji tarik. Kemudian spesimen uji mulai ditarik dengan memberikan beban penarikan secara perlahan, hingga spesimen uji putus. Gaya dan besar penambahan panjang yang tampil pada layar alat uji direkam sampai spesimen patah. Pengujian diulangi untuk setiap spesimen uji yang ada.

Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro yang terjadi akibat pengaruh proses *drawing*. Pengujian metalografi dilakukan dengan mulai menghaluskan spesimen hingga benar-benar halus. Kemudian dilakukan proses *polishing* dengan menggunakan media autosol. Setelah itu spesimen uji di etsa dengan campuran cairan 50% HNO₃ dan 50% H₂O dan direndam selama 30 detik, kemudian dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan dengan menggunakan *hair dryer*.

Spesimen uji yang sudah siap, kemudian diuji metalografi dengan menggunakan mikroskop optik. Pengujian metalografi ini dilakukan untuk memudahkan analisis hasil pada penelitian ini. Spesimen yang diuji yaitu kawat sebelum mengalami proses *drawing* dan yang sudah mengalami proses *drawing*.

Pengujian Kekasaran

Spesimen pengujian disiapkan dengan memotong sebagian kawat tembaga dengan panjang sekitar 30 mm sebagai sampel pengujian. Alat roughness tester dihubungkan dengan komputer dan jalankan Software TR220 untuk menampilkan hasil pengujian kekasaran pada layar komputer. Spesimen uji diletakkan di bawah sensor alat uji dengan posisi sejajar, dan perlu dipastikan bahwa spesimen uji benar-benar berada posisi datar untuk mengurangi resiko kegagalan pengujian kekasaran. Pengujian kekasaran dimulai. Pengujian dilakukan pada arah memanjang pada kawat tembaga. Pengujian dimulai ketika sensor mulai bergerak ke arah memanjang kawat untuk membaca

kontur permukaan kawat tembaga. Hasil pengujian akan ditampilkan pada layar komputer. Pengujian diulangi pada 4 titik berbeda agar mendapatkan data hasil pengujian yang lebih mendekati kebenaran. Kemudian dari 4 data hasil pengujian tersebut akan diambil nilai rata-rata kekasarannya.

HASIL PENELITIAN

Hasil Pengujian Tarik

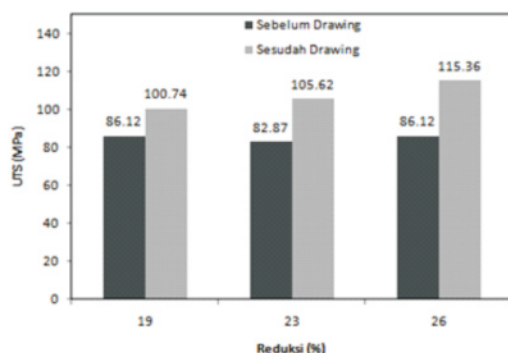
Hasil pengujian tarik kawat tembaga yang belum dan sudah mengalami proses *drawing* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai kekuatan tarik hasil pengujian tarik

| Reduksi (%) | UTS ₀ (MPa) | UTS _i (MPa) | ΔUTS (MPa) | Persentase ΔUTS (%) |
|-------------|------------------------|------------------------|------------|---------------------|
| 19 | 86,12 | 100,74 | 14,62 | 16,98 |
| 23 | 82,87 | 105,62 | 25,75 | 27,45 |
| 26 | 86,12 | 115,36 | 29,25 | 33,96 |

Dari hasil pengujian dan perhitungan didapatkan adanya perbedaan nilai kekuatan tarik kawat tembaga yang belum dan yang sudah mengalami proses *drawing*. Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa proses *drawing* yang terjadi pada kawat tembaga menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekuatan tarik kawat tembaga hasil *drawing*. Peningkatan nilai persentase reduksi yang terjadi juga menyebabkan peningkatan nilai kekuatan tarik yang semakin besar.

Nilai kekuatan tarik terbesar didapat pada kawat tembaga yang sudah mengalami proses *drawing* pada persentase reduksi 26 %. Artinya proses *drawing* menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekuatan tarik. Sementara peningkatan persentase reduksi pada proses *drawing* tersebut juga akan memperbesar peningkatan nilai kekuatan tarik kawat tembaga tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik kekuatan tarik hasil pengujian tarik

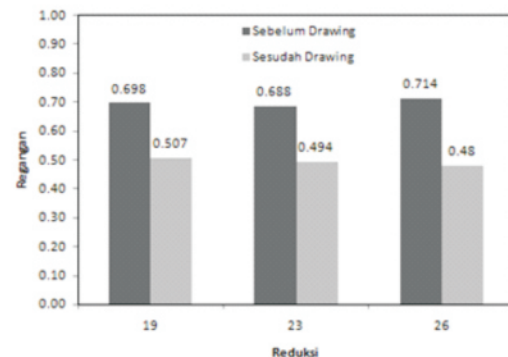
Sementara nilai regangan pada pengujian tarik bisa dilihat seperti Tabel 2. Dari hasil pengujian

dan perhitungan didapatkan adanya perbedaan nilai regangan kawat tembaga yang belum dan yang sudah mengalami proses *drawing*. Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa proses *drawing* yang terjadi pada kawat tembaga menyebabkan terjadinya penurunan nilai regangan kawat tembaga hasil *drawing*. Peningkatan nilai persentase reduksi yang terjadi juga menyebabkan penurunan nilai regangan yang semakin besar.

Tabel 2. Nilai regangan hasil pengujian tarik

| Reduksi (%) | $\epsilon_{\max 0}$ | $\epsilon_{\max i}$ | $\Delta\epsilon_{\max}$ | Persentase $\Delta\epsilon_{\max}$ (%) |
|-------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--|
| 19 | 0,698 | 0,507 | -0,191 | -27,36 |
| 23 | 0,688 | 0,494 | -0,194 | -28,20 |
| 26 | 0,714 | 0,480 | -0,234 | -32,77 |

Nilai regangan terbesar didapat pada kawat tembaga berdiameter 3,25 mm, sementara nilai regangan terkecil didapat pada kawat tembaga 3,25 mm yang sudah mengalami proses *drawing* dengan reduksi 26%. Artinya proses *drawing* menyebabkan terjadinya penurunan nilai regangan. Sementara peningkatan persentase reduksi pada proses *drawing* tersebut juga akan memperbesar penurunan nilai kekuatan tarik kawat tembaga tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik regangan hasil pengujian tarik

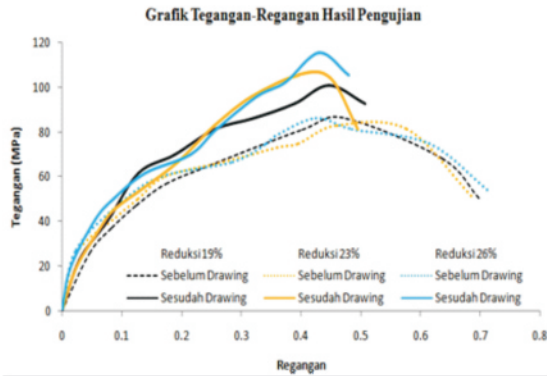
Hasil Pengujian Kekasaran

Hasil pengujian kekasaran kawat tembaga yang belum dan sudah mengalami proses *drawing* dapat dilihat pada Tabel 3.

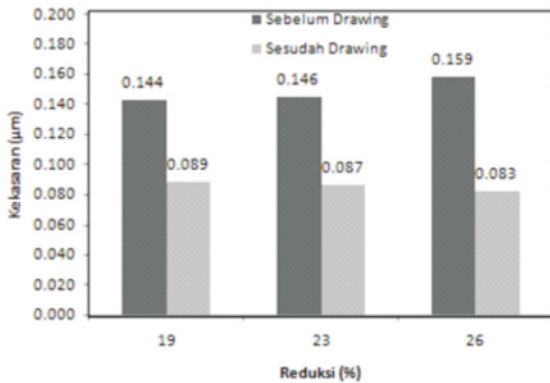
Tabel 3. Nilai kekasaran hasil pengujian kekasaran

| Reduksi (%) | R _{a0} (μm) | R _{a1} (μm) | ΔR _a (μm) | Persentase ΔR _a (%) |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|
| 19 | 76,76 | 55,72 | -21,04 | -27,41 |
| 23 | 75,73 | 54,38 | -21,35 | -28,19 |
| 26 | 78,58 | 52,76 | -25,82 | -32,86 |

Dalam penelitian ini pengujian kekasaran dilakukan sebanyak dua tahap, yaitu sebelum dan sesudah kawat mengalami proses *drawing*. Kedua data hasil pengujian tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat pengaruh proses *drawing*. Setiap pengujian kekasaran dilakukan pada 4 titik yang berbeda, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik tegangan regangan hasil pengujian



Gambar 5. Grafik hasil pengujian kekasaran

Dari hasil pengujian seperti yang terlihat pada Tabel 3 didapatkan data penurunan nilai kekasaran kawat tembaga akibat pengaruh proses *drawing*. Nilai kekasaran kawat tembaga yang belum mengalami proses *drawing* lebih besar dari pada nilai kekasaran kawat tembaga yang sudah mengalami proses *drawing*. Dari hasil pengujian juga didapatkan nilai kekasaran kawat tembaga yang telah mengalami proses *drawing* hampir sama antar variasi reduksi seperti yang terlihat pada Gambar 5. Hal ini menunjukkan persentase reduksi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap besar penurunan nilai kekasaran kawat tembaga yang sudah mengalami proses *wire drawing*.

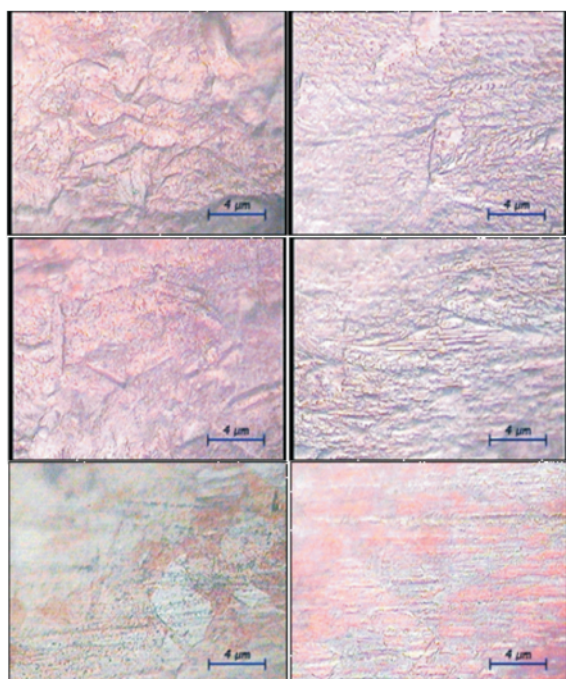
PEMBAHASAN

Kekuatan Tarik

Deformasi yang terjadi pada proses *wire drawing* ini diakibatkan oleh gaya tekan cetakan yang diterima kawat tembaga sebagai gaya reaksi terhadap gaya tarik yang digunakan untuk menarik kawat melewati cetakan. Gaya yang diterima oleh kawat tembaga untuk mendeformasi kawat tersebut, menyebabkan terjadinya pergeseran atom-atom searah dengan gaya tekan cetakan pada kawat tembaga. Pergeseran atom-atom ini disebut dengan dislokasi. Dislokasi ini yang akan menyebabkan perubahan bentuk atau deformasi pada kawat tembaga. Ketika gaya yang diterima oleh kawat tembaga lebih besar dari pada tegangan luluhnya, maka atom yang sudah bergeser akan sangat sulit untuk kembali ke posisi semula, sehingga akan menyebabkan terjadinya deformasi permanen. Artinya, deformasi permanen akan tercapai apabila tegangan dan regangan secara bersamaan melampaui kekuatan luluhnya.

Pada Gambar 6 di bawah dapat dilihat kawat yang sudah mengalami proses *drawing* juga dapat diamati terjadinya dislokasi yang ditunjukkan oleh beberapa garis memanjang yang saling tumpang-tindih dengan arah sejajar satu sama lain. Pada saat menerima beban, struktur atom yang letaknya acak akan lebih teratur karena atom-atom tersebut akan terdorong untuk mengisi celah-celah antar atom yang masih mungkin ditempati. Ketika posisi atom sudah saling mengisi dan tidak memungkinkan untuk terjadi pergeseran lagi, atom tersebut akan mengalami deformasi. Dalam jumlah yang cukup besar, perubahan bentuk atom tersebut akan menyebabkan deformasi material yang bisa dilihat secara kasat mata.

Ketika satu atom berpindah ke posisi baru, atom tersebut terkadang akan berada pada jalur pergeseran atom lain dan saling menutupi. Dalam posisi seperti ini pergeseran atom yang sudah terjadi akan menghambat atom lain untuk melakukan pergeseran lanjutan. Artinya suatu dislokasi akan menghambat dislokasi lebih lanjut, sehingga akan dibutuhkan energi yang lebih besar untuk melakukan dislokasi lebih lanjut. Kemacetan pergeseran antar atom yang terjadi akan menyebabkan peningkatan tegangan geser kritis kawat tembaga. Dengan meningkatnya tegangan geser kritis kawat tembaga, maka kekuatan kawat tembaga juga akan semakin meningkat fenomena ini disebut dengan pengerasan regang.



Gambar 6. Hasil pengujian metalografi

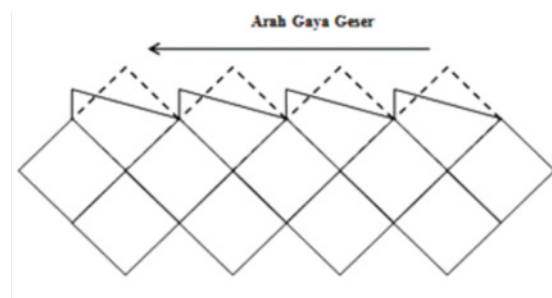
Dari penjelasan tersebut dapat ditarik suatu hubungan keterkaitan dengan data hasil pengujian. Dislokasi yang terjadi akibat proses *wire drawing*, menyebabkan terjadinya pengerasan regang akibat pergeseran atom yang terjadi, sehingga akan meningkatkan tegangan geser kritis dan kekuatan tarik kawat tembaga hasil *drawing*. Dislokasi yang telah terjadi juga akan menghambat terjadinya dislokasi lanjutan, artinya atom-atom akan lebih sulit untuk melakukan pergeseran lagi, sehingga kemampuan kawat tembaga untuk melakukan peregangan akan semakin menurun. Maka dari itu proses *wire drawing* yang dialami oleh kawat tembaga dapat meningkatkan kekuatan tarik kawat dan menurunkan regangan kawat tembaga tersebut

Kekasaran

Perubahan posisi struktur atom yang semakin teratur pada jumlah yang besar akan membuat lokasi butir-butir yang semakin teratur, sehingga akan memperbaiki kontur permukaan kawat tembaga tersebut. Kontur permukaan yang tidak rata akan mengalami deformasi searah dengan gaya tekan cetakan. Gaya tekan yang searah dengan arah transversal kawat akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada permukaan kawat tembaga. Hal ini akan menyebabkan sebagian kontur yang menonjol akan terdeformasi ke arah samping seperti yang terlihat pada Gambar 7 berikut.

Deformasi yang terjadi akan menyebabkan jarak antara puncak dan lembah (Rt) pada kontur permukaan kawat semakin dekat. Dengan menurunnya

nilai profil kedalaman akan menyebabkan penurunan nilai kekasaran kawat tembaga. Hal ini disebabkan nilai kekasaran (Ra), merupakan nilai perataan aritmetris dari profil kedalaman (Rt).



Gambar 7. Deformasi permukaan akibat proses *drawing*

Gaya tekan cetakan untuk setiap variasi reduksi sudah melebihi batas kekuatan luluh permukaan tembaga. Hal ini ditandai dengan terjadinya deformasi pada permukaan kawat tembaga. Ketika satu atom mengalami deformasi akibat gaya tekan cetakan, atom tersebut akan mengalami perubahan hingga batas maksimalnya. Pada posisi seperti ini atom tersebut tidak akan lagi mengalami perubahan, energi yang diterima akan disalurkan ke atom-atom yang lain. Sehingga berapa besarpun gaya yang diterima oleh kawat tembaga akan menyebabkan deformasi permukaan yang hampir sama, selama gaya tersebut sudah melebihi batas kemampuan kawat tembaga tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Proses *wire drawing* kawat tembaga menyebabkan terjadinya peningkatan nilai kekuatan tarik dan penurunan nilai regangan kawat tembaga. Dengan meningkatnya persentase reduksi pada proses *wire drawing* akan memperbesar peningkatan nilai kekuatan tarik dan memperbesar penurunan nilai regangan yang terjadi pada kawat tembaga hasil *drawing*.

Proses *wire drawing* kawat tembaga menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekasaran kawat tembaga. Namun nilai kekasaran kawat tembaga yang sudah mengalami proses *drawing* hampir sama, artinya peningkatan persentase reduksi menyebabkan perbedaan nilai kekasaran yang tidak terlalu signifikan terhadap nilai kekasaran kawat tembaga yang sudah mengalami proses *drawing*.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya bisa memvariasikan persentase reduksi dan sudut cetakan

secara kombinasi untuk mendapatkan proses pengerjaan dan hasil *wire drawing* yang lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa PPA tahun 2009-2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugroho,A.,2007 “*Analisa wire drawing pada proses penarikan kawat tembaga menggunakan simulasi software Ansys 8.0.*” Tugas akhir: Jurusan Teknik Mesin, Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- [2] Noonai, P. Kaewtathip, dan J. Kajornchaiyakul,2011, “*Influences of reduction ratio on mechanical properties and transformation temperature of NiTi drawn wires.*” Krab: TSME-ICOME.
- [3] Viktor,T.,2012. “*Effect of drawing angle size of a die on wire drawing and bunching process.*” Brno: METAL .
- [4] Suliga,M.,2011, “*The influence of the high drawing speed on mechanical-technological properties of high carbon steel wires. Archives of Metallurgy and Materials.*”, 56(3):5-25.
- [5] Arivandi,S.,2009, *Pengaruh variasi pengurangan diameter pada proses wire drawing terhadap struktur mikro dan kekerasan kawat paduan tembaga.* Tugas akhir: Jurusan Teknik Mesin. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [6] E.M. Rubio, A. M. Camacho, L. Sevilla, dan M. A. Sebastian,2005, “*Calculation of the forward tension in drawing processes.*” J. Materi. Proces. Technol, 162(163):551-557.

PENGARUH PROSES PENGADUKAN TERHADAP KARAKTER ADONAN DAN SIFAT BIODEGRADABLE PLASTIC YANG DIBUAT DARI BUNGKIL BIJI JARAK PAGAR

Hari Arbiantara¹⁾, Mahros Darsin¹⁾, Dr. Triana Lindriati²⁾

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

²⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

ABSTRACT

Pembuatan biodegradable plastik dalam penelitian ini diawali dengan pembuatan adonan dengan menggunakan ekstruder ulir tunggal, kemudian adonan dicetak dengan menggunakan mesin compression molding. Bahan dasar yang digunakan adalah campuran antara bungkil biji jarak pagar, tepung jagung, CMC (komposisi 7:2:1). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh sudut helix dan compression ratio ulir terhadap karakter adonan dan biodegradable plastik yang dihasilkan. Sudut helix ulir divariasikan dari 2,5o; 5o; 7,5o dan compression ratio ulir divariasikan dari 1,5; 2,5; 3,5. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan sudut helix ulir mempermudah proses cetak plastik (menurunkan nilai Tg, Tm, ΔH dan tekstur adonan) serta meningkatkan sifat fisik mekanik dari biodegradable plastik yang dihasilkan (kekuatan tarik, regangan meningkat sedangkan ketebalan dan Water Vapor Transmission Rate menurun). Peningkatan compression ratio meningkatkan sifat thermal dan menurunkan tekstur adonan serta meningkatkan kekuatan tarik dan regangan, menurunkan ketebalan dan Water Vapor Transmission Rate dari biodegradable plastik yang dihasilkan.

Keyword: plastik biodegradable, adonan, sudut helix, compression ratio, bungkil biji jarak pagar

PENDAHULUAN

Dengan makin dikembangkannya jarak pagar sebagai bahan bakar alternatif, perlu juga dikembangkan penelitian mengenai pemanfaatan limbah proses pengepresannya yaitu bungkil. Salah satunya adalah PTP XII Purwoharjo Banyuwangi, instansi yang sampai saat ini menggunakan minyak jarak pagar untuk memenuhi kebutuhan energinya. Proses pemisahan minyak dari biji jarak menghasilkan bahan sisa (by product) berupa ampas/bungkil.

Menurut Trabi (1977) bungkil biji jarak pagar masih mengandung protein 56,4 – 63,8 %, lemak 1 – 1,5% dan pati 19,1% (%bk), sehingga memungkinkan untuk dikembangkan menjadi bahan dasar berbagai macam produk. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan pemanfaatan bungkil biji jarak pagar, diantaranya untuk pupuk dan pakan ternak (Trabi, 1977). Arbiantara (2008), telah mengembangkan bungkil biji jarak pagar sebagai bahan plastik biodegradabel.

Bungkil biji jarak pagar dapat dibuat menjadi plastik biodegradabel dengan menggunakan mesin compression molding yang dioperasikan pada suhu 1400C dan waktu penekanan 30 menit. Dimana akan dihasilkan film dengan karakter: kekuatan tarik (σ)

3.921526 Mpa, regangan (ϵ) 23.017 %, laju transmisi uap air (WVTR) 1.49970E-05 g/jam.mm², ketebalan 0.260333 mm dan warna (derajat kecerahan) 61.956* (Arbiantara, 2008). Akan tetapi dalam proses pembuatan plastik biodegradabel tersebut masih membutuhkan perlakuan aging sebagai perlakuan pendahuluan, dengan waktu aging cukup lama (satu minggu).

Pengadukan intensif dapat digunakan sebagai pengganti perlakuan aging, bahkan film yang dihasilkan memiliki karakter lebih baik (Cunningham et al., 2000). Salah satu alat pengaduk yang banyak diaplikasikan dalam pengolahan plastik adalah screw ekstruder (Kaylor and Sangani, 1989).

Pengaruh gaya geser (shear) yang ditimbulkan screw pada screw extruder akan mempengaruhi agregasi molekul. Dimana gaya shear dipengaruhi oleh konfigurasi ulir, dan kecepatan putar ulir (Bjorck and Asp, 1983). Qomaruddin (2010) melakukan penelitian pada edible film berbahan dasar tapioka menyatakan semakin tinggi nilai rasio kompresi akan terjadi peningkatan nilai kekuatan tarik dan nilai regangan, hal ini dikarenakan dengan meningkatnya rasio kompresi akan menurunkan nilai rata – rata shear stress dan menurunkan kecepatan alir bahan yang berakibat semakin banyaknya polimer

terbentuk. Nilai kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada putaran 100 rpm dan rasio kompresi 3.5 sebesar 0.622 Mpa.

Selain itu, pemanasan akan meningkatkan agregasi molekul (Pomet, 2003). Pramuji (2011) melakukan penelitian pada edible film berbahan dasar tapioka menyatakan semakin tinggi suhu pengadukan akan menghasilkan sifat mekanik plastik lebih baik. Kombinasi yang sesuai antara shear dan suhu akan menghasilkan plastik biodegradabel dengan karakter optimum.

METODE PENELITIAN

A. Bahan

Bahan dasar yang digunakan untuk pembuatan biodegradable plastik tepung bungkil biji jarak pagar, tepung jagung, CMC (komposisi 7:2:1), dengan pelarut aquadest dan gliserol sebagai pemlastik (30% b/b). Bahan-bahan tersebut dicampur/diaduk dengan menggunakan screw ekstruder dengan variasi rasio kompresi screw (1.5, 2.5, dan 3.5) dan variasi sudut helix screw (15° , 30° , 45°) untuk dihasilkan adonan.

B. Pembuatan tepung Jarak Pagar

Bungkil biji Jarak pagar diperoleh dari hasil samping (by product) pengepresan minyak jarak untuk biodiesel yang berada di PTPN XII, Purwoharjo, Banyuwangi, Jawa Timur. Prosedur pembuatan tepung biji jarak pagar meliputi pengeringan bungkil dalam oven pada suhu 50°C selama 12 jam. Ampas kering kemudian dihancurkan menggunakan blender, dan disaring dengan ayakan tyler 200 mesh.

C. Pencetakan plastik biodegradabel

Adonan yang dihasilkan kemudian dikompresi dengan menggunakan mesin compression molding dengan tekanan 1,1 MPa dan waktu tekan 12 menit dengan suhu 170°C . Hasil akhir dari proses ini berupa lembaran plastik.

D. Pengukuran parameter

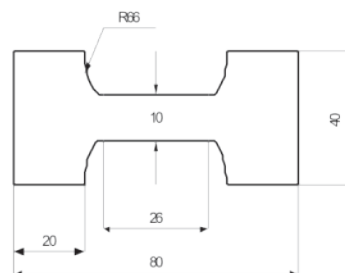
Pengukuran Tekstur Adonan

Pengukuran kekerasan dengan menggunakan alat penetrometer. Tombol di bagian atas ditekan untuk mengatur agar jarum indikator berada pada posisi angka nol. Selanjutnya meletakkan ujung bagian bawah penetrometer ke permukaan bahan yang akan diukur. Penetro ditekan secara perlahan hingga jarum bergerak selama 30 detik. Angka yang ditunjukkan oleh jarum adalah nilai tekstur. Pengukuran dilakukan 3 kali ulangan pada 5 titik yang berbeda hasil dirata-rata dan satuan tekstur adalah mm/30detik.

Sifat Thermal (DSC, ASTM D3418-08)

Pengujian dilakukan pada bahan adonan 7 mg, menggunakan standar ASTM D3418-08. Pemanasan deprogram dari 0°C - 250°C dengan laju pemanasan 10°C per menit dan laju aliran gas nitrogen 50 ml per menit.

Kekuatan Tarik dan Regangan Plastik (ASTM D638-94)



Gambar 1. Spesimen uji tarik (menurut ASTM D638-94 dalam Chang et al, 2000)

Potongan plastik biodegradabel dengan ukuran lebar 10 mm dan panjang 80 mm disimpan terlebih dahulu dalam toples berisi silika gel selama satu hari. Kemudian kekuatan tarik plastik diukur dengan menggunakan Universal Testing Machine. Kecepatan penarikannya 19.05 mm/menit. Ukuran spesimen dapat dilihat pada Gambar 1.

Ketebalan Plastik

Pengukuran ketebalan menggunakan alat mikrometer (Digimiro ME 50HA, Nikon Corporation, Nikon, Japan). Lembaran plastik yang telah terbentuk diukur ketebalannya pada tiga posisi yang berbeda dan kemudian diambil nilai rata-ratanya.

Laju Transmisi Uap Air (WVTR)

Tabung diisi silika gel 10 gram ditutup dengan plastik yang akan diuji. Permukaan antara tabung dengan plastik dilapisi lilin, terus permukaan luar plastik diikat dengan isolasi plastik sehingga tabung tertutup rapat. Tabung tersebut dimasukkan dalam toples yang diisi dengan NaCl 40% (b/v). Simpan toples tersebut pada suhu 25°C , Tabung tersebut ditimbang tiap 1 jam selama 3 hari. Kecepatan perubahan berat plastik dibagi luas area plastik merupakan nilai WVTRnya. Sehingga WVTR tersebut dapat dirumuskan:

$$WVTR = \frac{\text{Kecepatan Perubahan Berat Plastik (g/jam.mm}^2\text{)}}{\text{Luas Area Plastik}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan plastik biodegradable yang didahului dengan proses pengadukan menggunakan single screw extruder menunjukkan hasil yang positif, yaitu akan mempersingkat proses aging, meningkatkan

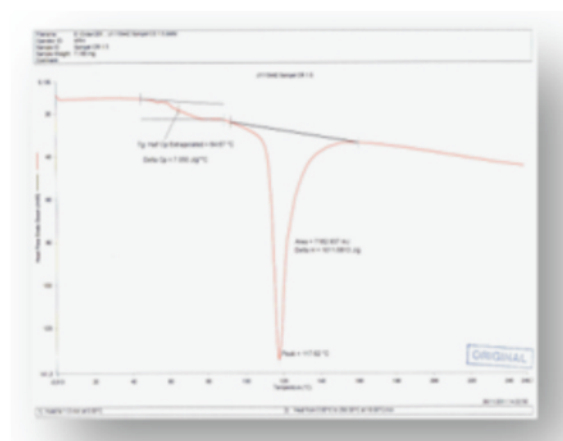
homogenitas adonan yang akhirnya akan meningkatkan beberapa sifat fisik dan mekanik plastik.

A. Hasil pengujian terhadap adonan

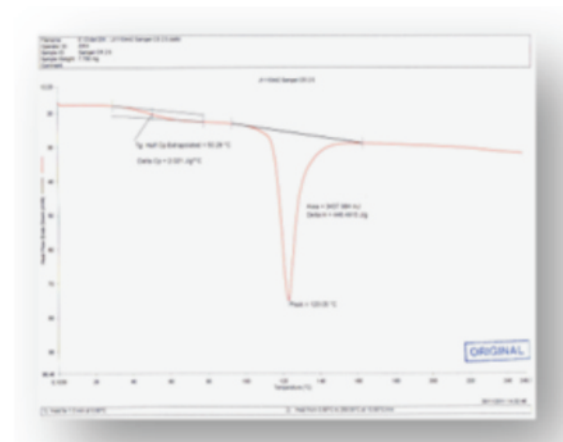
Hasil pengujian terhadap adonan (Tabel 1.) menunjukkan bahwa peningkatan nilai CR dan sudut screw menurunkan nilai tekstur adonan. Capaian terbaik yang dapat diperoleh dengan memvariasi screw adalah pada angka 86.333 (mm/30det) tekstur.

Tabel 1. Hasil pengukuran adonan dan lembaran plastik biodegradabel

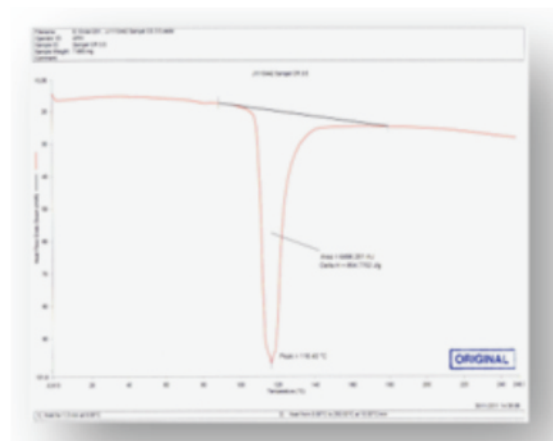
| Screw (sudut:CR) | Tekstur (mm/30det) | Kek.Tarik (MPa) | Regangan (%) | Tebal (mm) | WVTR (gr/jam.mm ²) | Kelaurutan (%) |
|------------------|--------------------|-----------------|--------------|------------|--------------------------------|----------------|
| 2.5° : CR 1.5 | 86.333 | 1.453 | 5.513 | 0.22 | 0.00016 | 0.286 |
| 2.5° : CR 2.5 | 73.333 | 1.781 | 6.667 | 0.218 | 0.00015 | 0.255 |
| 2.5° : CR 3.5 | 61.667 | 1.969 | 7.436 | 0.201 | 0.00014 | 0.243 |
| 5° : CR 1.5 | 77.667 | 2.014 | 7.308 | 0.196 | 0.00014 | 0.296 |
| 5° : CR 2.5 | 76.000 | 2.752 | 9.615 | 0.191 | 0.00013 | 0.276 |
| 5° : CR 3.5 | 72.667 | 2.334 | 7.821 | 0.190 | 0.00012 | 0.260 |
| 7.5° : CR 1.5 | 57.000 | 3.142 | 8.077 | 0.183 | 0.00011 | 0.303 |
| 7.5° : CR 2.5 | 53.333 | 3.258 | 9.872 | 0.176 | 0.00009 | 0.289 |



(a) Sudut 2.50 ; CR 1.5



(b) Sudut 7.50 ; CR 1.5



(c) Sudut 2.50 ; CR 3.5

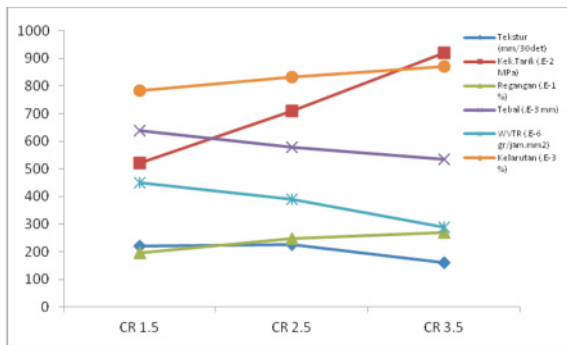
Gambar 2. Grafik Pengujian DSC pada plastik dengan variasi sudut dan CR screw

Menurut Arbiantara (2011), peningkatan nilai CR dapat menurunkan kecepatan aliran bahan (hasil perhitungan dengan program Fluent) yang berarti semakin meningkatkan waktu tinggal bahan didalam screw. Sehingga peningkatan nilai CR dapat meningkatkan derajat pengadukan dan meningkatkan pencampuran bahan-bahan di dalam adonan, dimana matrik protein lebih tersebar merata di dalam adonan dan menghasilkan tekstur adonan lebih baik.

Peningkatan sudut helix screw dari 2.50 ke 50 akan meningkatkan nilai tekstur akan tetapi peningkatan dari 5° ke 7.5° justru akan menurun nilai tekstur. Penurunan nilai tekstur menunjukkan bahwa adonan semakin kenyal. Peningkatan sudut helix meningkatkan nilai tegangan geser juga nilai tekstur. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya denaturasi protein karena adanya panas dan tekanan selama proses ekstrusi dan protein terorientasi membentuk struktur yang lebih kompleks.

Gambar 1 menunjukkan hasil pengujian DSC, diketahui bahwa nilai sudut screw dan CR akan menurunkan temperatur transisi bahan (Tg) mencapai 50.29°C. Bahkan fase transisi sudah terlewati oleh pengadukan menggunakan CR screw 3.5(Gambar 1.(c)). Terhadap temperature melting (Tm), perubahan kenaikan CR menurunkan Tm hingga 116.4°C disertai penurunan jumlah entalphi (ΔH) yang diperlukan untuk menuju fase melting, yaitu sebesar 446.4915 J/g. Sedangkan kenaikan sudut screw menaikkan nilai Tm (Gambar 1.(b)).

Perlakuan tegangan geser oleh pengadukan menggunakan screw ekstruder menyebabkan protein dan karbohidrat sebagai penyusun plastik mengalami perubahan fase. Penggunaan CR screw yang besar memberi cukup waktu bagi perlakuan tegangan geser mengubah adonan melewati fase transisi sehingga adonan sudah tidak dapat dicetak menjadi plastik.



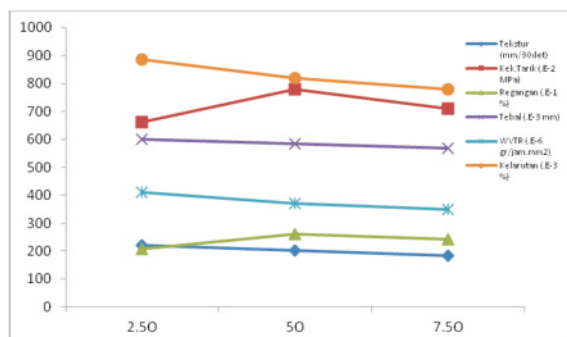
Gambar 3. Pengaruh perlakuan rasio kompresi (CR) screw terhadap berbagai karakter adonan dan sifat plastik biodegradabel

Demikian pula sebaliknya jika perlakuan tegangan geser tidak cukup maka perlu banyak energy yang digunakan untuk proses cetak plastik (T_m , ΔH besar). Secara umum dapat dikatakan bahwa pengadukan dengan screw ekstruder pada CR yang tepat akan mempermudah proses pencetakan plastik.

A. Hasil pengujian terhadap plastik biodegradabel

Perbaikan juga ditunjukkan pada pengukuran sifat-sifat plastik biodegradabel (Tabel 1.) yang telah dihasilkan yaitu meningkatnya kekuatan tarik (3.258 MPa), meningkatnya regangan/keuletan (9.872%), menurunkan ketebalan atau mampu cetak lebih tipis (0.17 mm), menurunkan WVTR (0.00009 gram/jam.mm²) serta menurunkan kelarutan plastik dalam air (0.243%).

Tabel 1. menunjukkan bahwa semakin meningkatnya rasio kompresi akan meningkatkan nilai kekuatan tarik plastik biodegradabel. Menurut Arbiantara (2011), peningkatan rasio kompresi akan menurunkan nilai rata-rata tegangan geser dan menurunkan kecepatan alir bahan. Penurunan kecepatan alir bahan akan meningkatkan waktu tinggal (*residence time*), sehingga pengadukan lebih intensif yang berakibat semakin banyaknya terbentuk ikatan polimer terbentuk. Sebaliknya dengan peningkatan sudut yang besar akan mengakibatkan



Gambar 4. Pengaruh perlakuan sudut screw terhadap berbagai karakter adonan dan sifat plastik biodegradabel

penurunan kekuatan tarik, hal ini diakibatkan karena ikatan rusak oleh tegangan geser yang berlebih pada proses pengadukannya.

Peningkatan rasio kompresi akan menaikkan nilai regangan. Peningkatan rasio kompresi akan meningkatkan waktu tinggal bahan selama pengadukan (Arbiantara, 2011) sehingga mengakibatkan pengadukan lebih intensif. Pengadukan intensif akan mengakibatkan molekul plastisizer (gliserol dan air) lebih tercampur dan menyisip diantara molekul polimer. Sebaliknya dengan peningkatan sudut yang berlebihan akan mengakibatkan penurunan regangan, hal ini diakibatkan karena tegangan yang dihasilkan menjadi besar, sehingga ikatan antar bahan kurang optimal.

Peningkatan rasio kompresi akan menurunkan nilai ketebalan hal ini disebabkan karena meningkatnya rasio kompresi akan menyebabkan pemutusan rantai serat polimer. Polimer dengan serat yang lebih pendek akan lebih mudah leleh sehingga pada saat proses pengepresan menghasilkan plastik yang lebih tipis. Begitu juga dengan meningkatnya sudut screw akan menurunkan nilai ketebalan plastik biodegradabel.

Peningkatan meningkatnya rasio kompresi akan menurunkan nilai WVTR hal ini disebabkan karena meningkatnya rasio kompresi akan menyebabkan pemutusan rantai serat polimer. Polimer dengan serat yang lebih pendek akan lebih mudah leleh sehingga pada saat proses pengepresan menghasilkan plastik yang lebih tipis. Hal ini akan mempengaruhi besarnya laju transmisi uap air pada plastik. Begitu juga dengan meningkatnya sudut akan menurunkan nilai WVTR plastik biodegradabel dikarenakan dengan adanya kenaikan sudut (peningkatan tegangan geser), granula pati mulai terjadi pembengkakan sehingga ikatan antar partikel semakin optimal.

Peningkatan nilai CR menurunkan nilai kelarutan plastik. Peningkatan nilai CR disertai meningkatnya derajat pengadukan dan meningkatnya pencampuran bahan-bahan di dalam adonan, dimana matrik protein lebih tersebar merata di dalam adonan dan member kemampuan cetak lebih baik. Sehingga dapat menurunkan jumlah kelarutan plastik dalam air. Sementara peningkatan sudut screw pada pengadukan dapat memperbesar kelarutan karena perlakuan tegangan geser yang terlalu besar dapat merusak rantai polimer.

KESIMPULAN

Proses pengadukan pada pembuatan plastik biodegradabel akan lebih efektif jika menggunakan screw ekstruder, yang sekaligus dapat menggantikan proses aging. Profil screw ekstruder (sudut dan CR-nya) berperan dalam menghasilkan tegangan geser pada bahan, dan terbukti dapat memperbaiki karakter

plastik biodegradabel yang dibuat dari bahan bungkil jarak pagar. Peningkatan sudut helix ulir menurunkan nilai tekstur adonan meningkatkan kekuatan tarik, regangan serta menurunkan ketebalan dan Water Vapor Transmission Rate dari plastik biodegradabel yang dihasilkan. Peningkatan compression ratio menurunkan tekstur adonan, meningkatkan kekuatan tarik, regangan, menurunkan ketebalan dan Water Vapor Transmission Rate dari plastik biodegradabel yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arbiantara, H. 2008. Pengembangan Compression Molding dalam Pembuatan Plastik Biodegradabel dari Bungkil Biji jarak Pagar. *J. Rotor* 2(2):9-17.
- [2] Arbiantara H, Santoso M, Mahros D, A Syuhri, 2011. Pengaruh Sudut Helix dan Compression Ratio Ulir Terhadap Nilai Kecepatan Aliran, Shear Rate, Perubahan Tekanan, Viskositas dan Tegangan Geser. *J. Rekayasa* 8(1):132-139.
- [3] Cunningham P, A.A. Ogale, P.L. Dawson PL, J.C. Acton, 2000. Tensile properties of soy protein isolate films produced by a thermal compaction technique. *J Food Sci* 65(4):668-671.
- [4] Irwanto, 2006. Pengembangan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L) Sebagai Sumber Bahan Bakar Alternatif. <http://www.irwantoshut.com>
- [5] Kalyon, D.M. and H.N. Sangani, 1989. An experimental study of distributive mixing in fully intermeshing, co-rotating twin screw extruders. *Polymer Eng and Sci* 29(15):1018-1026
- [6] Makkar, H.P.S. and K. Becker, 1997. Potential of *Jatropha* seed cake as protein supplement in livestock feed and constraints to its utilization. In: *Proceedings of Jatropha 97: International Symposium on Biofuel and Industrial Products from Jatropha curcas and other Tropical Oil Seed Plants*, February 23-27, Managua, Nicaragua.
- [7] Pommet M, A. Redl, M.H. Morel, S. Domenek, S. Guilbert, 2003. Thermoplastic processing of protein-based bioplastics: chemical engineering aspects of mixing, extrusion and hot molding. *Macromol Symp* 197:207-217
- [8] Trabi, M., G.M. Gubitz, W. Steiner, N. Foidl, 1997. Fermentation of *Jatropha curcas* seeds and press cake with *Rhizopus oryzae*. Dalam : *Biofuels and Industrial Products from Jatropha Curcas*. Gubitz, G.M., M. Mittelbach, M. Trabi (Eds). DBV Graz.