

KATA PENGANTAR

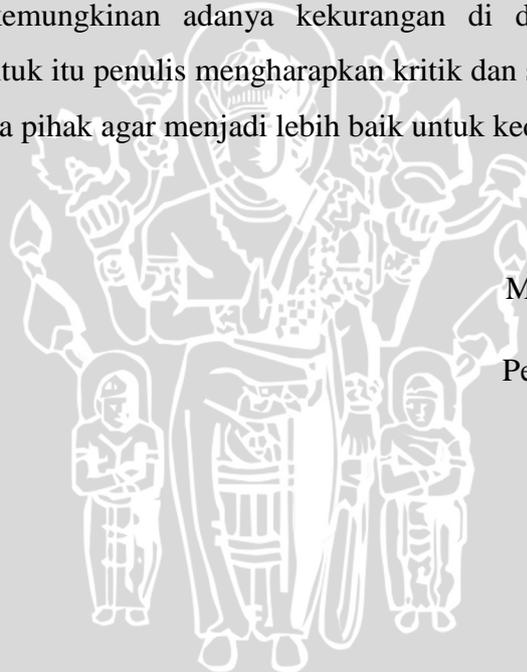
Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan rahmat, taufik, inayahm dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir ini yang berjudul “Pengaruh Penambahan Etanol terhadap Karakteristik Pembakaran *Droplet* Minyak Biodiesel Biji Karet (*Hevea brasiliensis*).

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang turut membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini dengan baik, yakni :

1. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., Dr.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing I.
2. Purnami, ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing II.
3. Widya Wijayanti, ST., MT., Dr.Eng., selaku Kepala Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
4. Francisca Gayuh Utami, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
5. Mega Nur Sasongko, ST., MT., Dr.Eng., selaku Kepala Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
6. Hastono Wijaya, Ir., MT., selaku Dosen Penguji I Uji Komprehensif
7. Djarot B. Darmadi, Ir., MT., PhD., selaku Dosen Penguji II Uji Komprehensif
8. Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng., selaku Dosen Penguji III Uji Komprehensif
9. Seluruh Tenaga Pengajar di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
10. Eko, Selaku Laboran Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
11. Rekan-rekan asisten Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

12. Yuhelman dan Suwarni, selaku orang tua yang selalu memberikan dukungan moral dan material tanpa henti kepada penulis dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
13. Yully Tania dan Yessy Taufania, selaku kakak dari penulis yang selalu memberikan dukungan dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
14. Nisa Fatharani, ST., yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
15. Rekan-rekan ‘Immortal’ angkatan 2010 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
16. Semua pihak yang telah turut membantu dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Tidak menutup kemungkinan adanya kekurangan di dalam penyusunan laporan tugas akhir, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar menjadi lebih baik untuk kedepannya.



Malang, 5 Juni 2015

Penulis

Rinaldo



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
RINGKASAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Minyak Nabati dan Biodiesel.....	5
2.2.1 Komposisi Minyak Nabati.....	9
2.2.1.1 Trigliserida.....	9
2.2.1.2 Asam Lemak Bebas (<i>Free Fatty Acid</i>).....	9
2.3 Minyak Biji Karet (<i>Hevea Brasiliensis</i>).....	11
2.4 Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Biji Karet	16
2.5 Sifat Fisik Biodiesel	21
2.5.1 Densitas (<i>Density</i> /Kerapatan Massa).....	21
2.5.2 Viskositas (<i>Viscosity</i> /Kekentalan).....	22
2.5.3 Titik Nyala Api (<i>Flash Point</i>).....	23
2.5.4 Nilai Kalor (<i>Heating Value</i>).....	23
2.5.5 Indeks Setana (<i>Cetane Index</i>)	24
2.6 Energi Disosiasi.....	25
2.7 Etanol.....	27
2.8 Teori Kinetik Gas	28
2.9 Esterifikasi dan Transesterifikasi	29
2.8.1 Esterifikasi.....	29
2.8.2 Transesterifikasi.....	30
2.10 Karakteristik Pembakaran	32

2.11	Hipotesis.....	33
BAB III METODE PENELITIAN		34
3.1	Metode Penelitian.....	34
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	34
3.3	Variabel Penelitian	34
3.4	Bahan dan Peralatan yang Digunakan.....	35
3.5	Instalasi Penelitian.....	37
3.6	Prosedur Penelitian.....	38
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		40
4.1	Data Hasil Penelitian	40
4.2	Pengolahan Data Hasil Penelitian	43
4.2.1	Contoh perhitungan.....	43
4.2.2	Pengolahan Data Visualisasi Nyala Api.....	46
4.3	Analisa dan Pembahasan Penelitian	48
4.3.1	Analisa dan Pembahasan Data Temperatur Maksimum	48
4.3.2	Analisa dan Pembahasan Data <i>Ignition Delay Time</i>	50
4.3.3	Analisa dan Pembahasan Data <i>Burning Rate</i>	52
4.3.4	Analisa dan Pembahasan Data Visualiasasi Api Pembakaran.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		64
5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....		xi

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1	Struktur molekul monogliserida, digliserida, dan trigliserida.....	9
Gambar 2.2	Struktur molekul asam lemak bebas (<i>Free Fatty Acid</i>).....	10
Gambar 2.3	Tanaman karet (<i>Hevea brasiliensis</i>).....	12
Gambar 2.4	Bagian-bagian tanaman karet (<i>Hevea brasiliensis</i>).....	13
Gambar 2.5	Proses pembakaran <i>droplet</i> pada bahan bakar cair	18
Gambar 2.6	Skema pembakaran <i>droplet</i>	19
Gambar 2.7	Perubahan bentuk <i>droplet</i>	21
Gambar 2.8	Penyemprot racun serangga.....	22
Gambar 3.1	<i>Microsyringe</i>	35
Gambar 3.2	<i>Data Logger</i>	36
Gambar 3.3	Skema instalasi penelitian.....	37
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 4.1	Grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan temperatur maksimum (°C).....	48
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan <i>ignition delay time</i> (s).....	50
Gambar 4.3	Ledakan pada pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 20%	51
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan <i>burning rate</i> (mm ² /s).....	52
Gambar 4.5	Visualisasi api pembakaran sampel minyak tanpa penambahan etanol (0% etanol).....	53
Gambar 4.6	Visualisasi api pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 5%	54
Gambar 4.7	Visualisasi api pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 10%	54
Gambar 4.8	Visualisasi api pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 15%	55
Gambar 4.9	Visualisasi api pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 20%	55

Gambar 4.10	Grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan tinggi api (mm).....	56
Gambar 4.11	Grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan lebar api (mm).....	57
Gambar 4.12	Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet tanpa penambahan etanol.....	59
Gambar 4.13	Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet dengan penambahan etanol 5%.....	60
Gambar 4.14	Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet dengan penambahan etanol 10%.....	61
Gambar 4.15	Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet dengan penambahan etanol 15%.....	61
Gambar 4.16	Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet dengan penambahan etanol 20%.....	62



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Hal.
Tabel 2.1	Standar Nasional Indonesia untuk Biodiesel	8
Tabel 2.2	Asam lemak jenuh.....	10
Tabel 2.3	Asam lemak tak jenuh.....	11
Tabel 2.4	Kandungan minyak dalam biji-bijian.....	14
Tabel 2.5	Perbandingan karakteristik minyak biji karet dengan solar.....	15
Tabel 2.6	Komposisi asam lemak yang dikandung minyak biji karet	15
Tabel 2.7	Sifat fisika – kimia dari minyak biji karet (<i>Hevea brasiliensis</i>)	16
Tabel 2.8	Tipe ikatan dan energi disosiasi	25
Tabel 2.9	Energi ikatan dan jarak ikatan beberapa unsur dan senyawa.....	26
Tabel 4.1	Data 100% minyak tanpa penambahan etanol	40
Tabel 4.2	Data campuran 95% minyak dengan 5% etanol	41
Tabel 4.3	Data campuran 90% minyak dengan 10% etanol	41
Tabel 4.4	Data campuran 85% minyak dengan 15% etanol	42
Tabel 4.5	Data campuran 80% minyak dengan 20% etanol	42
Tabel 4.6	Data <i>burning rate</i> sampel 100% minyak dan 0% etanol	44
Tabel 4.7	Data <i>burning rate</i> sampel 95% minyak dan 5% etanol	44
Tabel 4.8	Data <i>burning rate</i> sampel 90% minyak dan 10% etanol	45
Tabel 4.9	Data <i>burning rate</i> sampel 85% minyak dan 15% etanol	45
Tabel 4.10	Data <i>burning rate</i> sampel 80% minyak dan 20% etanol	45
Tabel 4.11	Data rata-rata <i>burning rate</i> sampel minyak uji	46

Tabel 4.12 Nilai Karakteristik Solar 46

Tabel 4.13 Data tinggi dan lebar api pembakaran yang dihasilkan 56



RINGKASAN

RINALDO, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2015, **Pengaruh Penambahan Etanol terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Biodiesel Biji Karet (*Hevea brasiliensis*)**. Dosen pembimbing: Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., dan Purnami, ST., MT.

Semakin pesatnya pertumbuhan penduduk di Indonesia membuat semakin besar pula kebutuhan akan energi. Mengingat bahwa bahan bakar fosil adalah sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*) membuat cadangan energi menjadi semakin tipis seiring berjalannya waktu. Maka dari itu perlu dilakukan kegiatan penelitian untuk mengidentifikasi energi-energi terbarukan yang memiliki sifat dapat diperbaharui (*renewable*) dan tidak menyebabkan pencemaran lingkungan. Indonesia sangat berpotensi mengembangkan produksi biodiesel karena Indonesia sangat kaya akan minyak tumbuh-tumbuhan (nabati) salah satunya minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*).

Biodiesel yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari reaksi transesterifikasi minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*). Penelitian ini membahas tentang karakteristik pembakaran *droplet* minyak biodiesel biji karet, yakni temperatur maksimum, *ignition delay time*, *burning rate*, dan visualisasi nyala api pembakaran yang dihasilkan. Ukuran diameter *droplet* minyak yang diuji sebesar 1.86 mm dan memiliki volume sebesar 4 μ L yang dibentuk dengan menggunakan *microsyringe*. *Droplet* yang telah terbentuk kemudian digantung pada ujung termokopel yang terhubung langsung dengan *data logger* sebagai pembaca data dan selanjutnya dipanaskan dengan menggunakan *heater* yang tegangannya diatur terlebih dahulu dengan menggunakan *transformator*. Visualisasi nyala api pembakaran diamati dengan menggunakan kamera digital dalam bentuk video yang kemudian di-*convert* menjadi gambar diam.

Semakin meningkatnya presentase etanol yang ditambahkan kedalam minyak biodiesel biji karet (*Hevea brasiliensis*) menurunkan temperatur maksimum pembakaran yang dihasilkan, *ignition delay time*, dan memperkecil dimensi api pembakaran yang dihasilkan, serta meningkatkan nilai *burning rate*.

Kata kunci : biodiesel, transesterifikasi, minyak biji karet, *droplet*, *ignition delay time*, *burning rate*

SUMMARY

RINALDO, Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Brawijaya University, June 2015, **The Effect of Ethanol Addition to Combustion Characteristics of Rubber Seed Oil Biodiesel's Droplet (*Hevea brasiliensis*)**. Lecturers : Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., and Purnami, ST., MT.

*The rapid growth of human population makes greater energy needs. Considering that the fossil fuels like crude oil, natural gasses, or coal are not renewable (unrenewable resources), it dwindle the energy reserves as time goes by. Therefore, some research activities are needed to analyze the new renewable energy resources which will not cause any environmental pollution. Indonesia has the high potential to develop the production of biodiesel because it has so many variety of vegetable oils, the one of them is rubber seed oil (*Hevea brasiliensis*)*

*Biodiesel which is used in this research was obtained from the transesterification reaction of rubber seed oil (*Hevea brasiliensis*). This research discusses about the combustion characteristics of rubber seed oil biodiesel's droplet which consist of maximum temperature, ignition delay time, burning rate, and the visualization of burning fire. The size of rubber seed oil's droplet which is observed in this research is about 1.86 millimeters on its diameter and 4 μ L on its volume. The droplet which is made by microsyringe is hanged on tip of thermocouple that directly connected with data logger as a temperature data recorder. Afterwards, hanged droplet will be heated on the heater that has been set for its voltage by using transformator. The visualization of the burning fire is observed by digital camera on video form and it will be converted into some photos.*

By adding ethanol to the rubber seed oil will decrease the maximum temperature, ignition delay time, and the dimension of the fire., otherwise it will increase the burning rate of the combustion.

Keywords: *biodiesel, transesterification, rubber seed oil, droplet, ignition delay time, burning rate*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan semakin pesatnya pertumbuhan penduduk di Indonesia membuat kebutuhan akan energi menjadi semakin besar pula. Hal ini membuat energi menjadi salah satu kebutuhan pokok yang memegang peranan sangat penting di kehidupan manusia. Saat ini sumber energi terbesar yang digunakan manusia masih bertumpu pada bahan bakar fosil (minyak bumi, gas alam, dan batu bara). Mengingat bahwa bahan bakar fosil adalah sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*) membuat cadangan energi menjadi semakin menipis seiring berjalannya waktu. Maka dari itu, perlu dilakukan kegiatan penelitian untuk mengidentifikasi energi-energi baru yang memiliki sifat yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan yang paling penting adalah tidak menimbulkan pencemaran lingkungan.

Indonesia sangat berpotensi untuk mengembangkan produksi biodiesel. Biodiesel dihasilkan dari minyak tumbuh-tumbuhan (nabati) yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia, baik dari sisi kuantitas maupun variasinya. Salah satu jenis minyak nabati yang dapat diolah menjadi biodiesel adalah minyak dari biji karet (*Hevea brasiliensis*). Indonesia merupakan Negara penghasil karet terbesar nomor 2 di dunia setelah Thailand, dengan total produksi sebesar 2,55 juta ton/ tahun pada 2007. Di samping itu Indonesia juga merupakan Negara dengan luas lahan perkebunan karet terbesar di dunia yang mencapai 3,4 juta hektar, dan mampu menghasilkan minyak biji karet sebesar 25 juta liter/tahun (Parhusip, 2008).

Dalam penelitian ini, digunakan minyak nabati berupa minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*). Biji karet terdiri dari 40-50% kulit keras berwarna cokelat, 50-60% kernel berwarna putih kekuningan. Kernel biji karet terdiri dari 40-50% minyak, 2,71% abu, 3,71% air, 22,17% protein, dan 24,21% karbohidrat. Ini menunjukkan bahwa biji karet berpotensi untuk dijadikan sumber minyak nabati (Ikwuagwu, 2000). Minyak biji karet mengandung minyak sebesar 40-50%,

dengan komposisi asam palmitat 13,11%, asam stearat 12,66%, asam arachidat 0,54%, asam oleat 39,45%, asam linoleat 33,12%, dan sisanya asam lemak lain (Setyawardhani, 2009). Asam oleat, linoleat dan linolenat sangat bermanfaat bagi kesehatan, sebagai sumber asam lemak omega 3, omega 6, dan omega 9, sedangkan asam palmitat dan stearat berpotensi untuk dijadikan bahan bakar biodiesel berkualitas baik.

Biodiesel adalah metal ester dari asam lemak. Biodiesel dapat diperoleh dari esterifikasi asam lemak. Komponen utama minyak nabati adalah senyawa trigliserida, yang merupakan ester asam lemak rantai panjang. Reaksi transesterifikasi antara trigliserida dengan alkohol rantai pendek (misalnya ethanol atau methanol) menghasilkan metal ester (biodiesel) dan gliserol.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah di dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan etanol terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) yang telah mengalami proses transesterifikasi.

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi agar penelitian ini lebih spesifik, maka dibuat batasan-batasan masalah, antara lain:

1. Bahan yang digunakan adalah minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) yang telah mengalami proses trans-esterifikasi menjadi biodiesel.
2. Tidak membahas proses ekstraksi minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)
3. Tidak membahas proses esterifikasi dan transesterifikasi minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)
4. Volum *droplet* minyak biji karet sebesar 4 μ l
5. Karakteristik pembakaran yang dianalisis meliputi temperatur maksimum pembakaran, *ignition delay time*, *burning rate*, dan visualisasi nyala api pembakaran.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan etanol terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak biodiesel biji karet (*Hevea brasiliensis*).

1.5 Manfaat Penelitian

1. Biodiesel dari minyak biji karet ini dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemakaian bahan bakar fosil yang semakin lama semakin menipis.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu yang bermanfaat di dalam pemanfaatan minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*).
3. Penelitian ini dapat dijadikan dasar atau studi literatur bagi penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Awal dilakukan penelitian (eksperimen) mengenai *droplet* dilakukan oleh Milikan R.A pada tahun 1869-1953. Milikan R.A melakukan eksperimen yang bertujuan untuk mendapatkan nilai muatan listrik terkecil dari elektron. Percobaan ini dikenal dengan percobaan tetes-minyak (*oil-droplet*). Eksperimen ini dilakukan dengan cara meneteskan minyak ukuran kecil pada dua plat logam dengan beda potensial yang bisa ditentukan. Dapat diketahui bahwa tetes minyak mengalami dua gaya, yaitu gaya berat dari minyak dan gaya listrik. Sehingga secara umum dapat diketahui bahwa muatan yang terkandung di dalam tetes minyak akan terpengaruh oleh medan listrik yang mengenainya.

Pada tahun 2005, Slanciauskas melakukan studi mengenai pembakaran *droplet* bahan bakar minyak. Dalam penelitiannya pembakaran *droplet* dilakukan di atas permukaan yang panas. Di mana temperatur yang harus dibangkitkan oleh permukaan itu adalah 300°C-700°C. Panas merambat secara konduksi dan radiasi selanjutnya akan berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran *droplet* bahan bakar. Temperatur *droplet* dipengaruhi oleh jarak ujung *droplet* dengan permukaan panas serta jenis *droplet* dari bahan bakar.

Pada tahun yang sama penelitian lain mengenai *droplet* dilakukan oleh Widiartama N.A, dimana ia melakukan penelitian mengenai pengaruh diameter *droplet* terhadap karakteristik pembakaran minyak jarak (kecepatan pembakaran dan nyala api) di dalam pengaruh medan magnet. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa semakin kecil diameter *droplet* maka nyala api pembakaran yang dihasilkan akan *spherical* dan pendek. Sedangkan penggunaan medan magnet akan menyebabkan kecepatan pembakaran yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Pada tahun 2008, Wulandari melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu transesterifikasi pada minyak kelapa dengan variasi presentase metanol terhadap sifat fisik biodiesel. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan suhu transesterifikasi yaitu 40°C; 50°C; 60°C; 70°C; dan 80°C dan dengan variasi presentase metanol yaitu 1%; 2%; dan 3%. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa pada suhu transesterifikasi 60°C dan presentase metanol 3% diperoleh biodiesel dengan sifat fisik yang sesuai dengan standar biodiesel.

2.2 Minyak Nabati dan Biodiesel

Minyak nabati secara umum dapat diartikan sebagai minyak yang disari/diekstrak dari berbagai bagian tumbuh-tumbuhan. Minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan pangan, bahan bakar, pewangi, obat, dan berbagai penggunaan dalam bidang industri lainnya. Contoh minyak nabati yang sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari antara lain : minyak kelapa sawit, minyak zaitun, minyak bunga matahari, minyak jarak, minyak karet, dan lain-lain.

Minyak nabati dapat difungsikan menjadi bahan bakar sebagai biodiesel. Biodiesel adalah bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati baik minyak baru maupun minyak bekas melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, ataupun proses esterifikasi-transesterifikasi. Bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari sumber daya hayati atau biomassa adalah bahan bakar mesin diesel yang terdiri dari ester alkil dari asam-asam lemak. (Soerawidjaja, 2006)

Minyak nabati dan biodiesel tergolong dalam kelas besar senyawa-senyawa organik yang sama, yaitu kelas ester asam-asam lemak. Akan tetapi, minyak nabati merupakan tri-ester asam lemak dengan gliserol (trigliserida), sedangkan biodiesel adalah mono-ester asam lemak dengan metanol. Dari perbedaan wujud molekuler ini maka dapat diketahui beberapa konsekuensi dalam penilaian keduanya sebagai kandidat bahan bakar mesin diesel, yakni :

1. Minyak nabati (trigliserida) memiliki berat molekul yang besar, jauh lebih besar dari biodiesel (ester metil), hal ini menyebabkan trigliserida relatif mudah mengalami *cracking* (perekahan) menjadi aneka molekul-molekul kecil jika terpanaskan tanpa kontak dengan udara (oksigen).
2. Minyak nabati (trigliserida) memiliki viskositas yang jauh lebih besar dari biodiesel, hal ini menyebabkan pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tidak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak nabati disemprotkan ke dalam ruang pembakaran (*combustion chamber*)
3. Molekul minyak nabati (trigliserida) relatif lebih bercabang dibandingkan dengan biodiesel (ester metil), hal ini mengakibatkan angka setana dari minyak nabati lebih rendah daripada angka setana ester metil. Angka setana adalah tolak ukur kemudahan menyala atau terbakarnya bahan bakar di dalam mesin.

Biodiesel merupakan sumber energi alternatif pengganti solar yang terbuat dari minyak tumbuhan atau lemak hewan (Zhang et.al, 2003). Biodiesel dapat dibuat dari minyak tumbuh-tumbuhan maupun lemak hewani, namun tidak semua minyak tumbuhan dapat dikategorikan sebagai biodiesel. Biodiesel pada dasarnya diproduksi dari reaksi transesterifikasi dari minyak tumbuhan atau minyak hewani dengan metanol atau etanol dengan keberadaan katalis untuk menghasilkan gliserin dan biodiesel. Dengan adanya reaksi transesterifikasi ini dapat menurunkan viskositas minyak nabati sampai 85% (Demirbas, 2007).

Berikut ini adalah keunggulan biodiesel dibandingkan dengan solar, antara lain:

1. Biodiesel tidak mengandung sulfur dan benzena yang memiliki sifat karsinogen, serta dapat diuraikan secara alami. Karsinogen adalah zat-zat beracun yang dapat menyebabkan penyakit kanker.
2. Intensitas racun rendah. Jumlah komponen emisi gas buang biodiesel jika dibandingkan solar yaitu :

- a. CO turun 7.43%,
- b. CO₂ turun 3.33%,
- c. O₂ naik 6.25%,
- d. NO_x turun 3.84%,
- e. HC turun 11.32%, dan
- f. SO₂ turun 16.65%

(Chairil,et.al., 2007).

- g. Titik nyala api yang dihasilkan tinggi.
- h. Produksi biodiesel dapat menyalurkan produksi minyak tumbuhan atau lemak hewani yang berlebih. Jadi pemanfaatan produksi minyak tumbuhan dan hewan yang berlebih dapat dimanfaatkan secara maksimal.



Adapun standar kelayakan bahan bakar untuk biodiesel yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Standar Nasional Indonesia untuk Biodiesel

No.	Parameter	Satuan	Nilai	Metode Uji
1	Massa jenis	kg/m ³	850 - 890	ASTM D 1298
2	Viskositas	mm ² /s	2,3 – 6	ASTM D 445
3	Indeks setana		48	ASTM D 976
4	Titik nyala	°C	min 100	ASTM D 93
5	Nilai kalor	kal/g	10892	ASTM D 240
6	Titik kabut	°C	maks 18	ASTM D 2500
7	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		maks no.3	ASTM D 130
8	Residu karbon - dalam sample asli - dalam 10% ampas destilasi	% mass	maks 0,05 maks 0,30	ASTM D 4530
9	Air dan sedimen	% vol	maks 0,05	ASTM D2709 ASTM D 1266
10	Temperatur destilasi	°C	maks 360	ASTM D 1160
11	Belerang	ppm (mg/kg)	maks 100	ASTM D 5453 ASTM D 1266
12	Fosfor	ppm (mg/kg)	maks 10	AQCS Ca 12 - 55
13	Angka asam	mg KOH/kg	maks 0,8	AQCS Ca 12 - 55
14	Gliserol bebas	% mass	maks 0,02	ASTM D 6584
15	Gliserol total	% mass	maks 0.24	ASTM D 6584

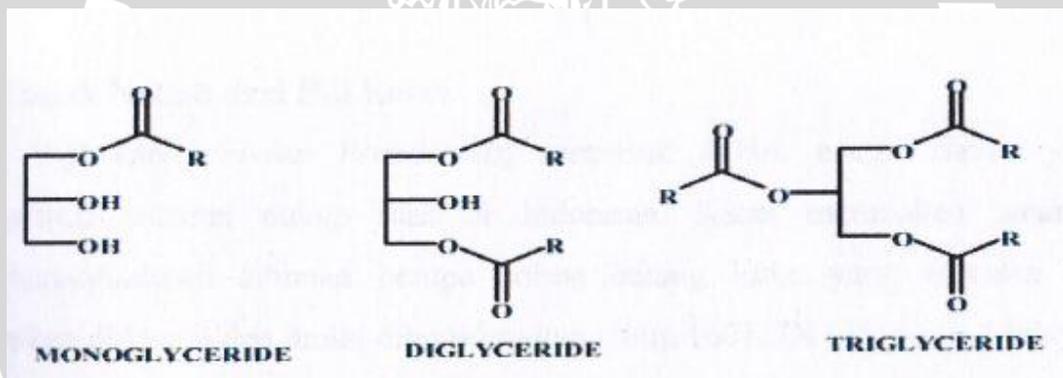
Sumber : Prihandana, 2006 : 62

2.2.1 Komposisi Minyak Nabati

Kandungan terbesar dari minyak nabati adalah trigliserida asam lemak yakni sebesar 95%, asam lemak bebas (*Free Fatty Acid* atau FFA), monogliserida dan digliserida, serta berbagai komponen lain seperti *phosphoglycerides*, vitamin, mineral, dan sulfur (Mittelbach, 2004).

2.2.1.1 Trigliserida

Trigliserida merupakan tri-ester dari gliserol dengan asam-asam lemak, yakni asam karboksilat berat atom karbon 6 sampai dengan 30. Trigliserida banyak dikandung dalam minyak dan lemak. Selain trigliserida, terdapat pula monogliserida dan digliserida. Struktur molekul dari ketiga macam gliserid dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut ini:

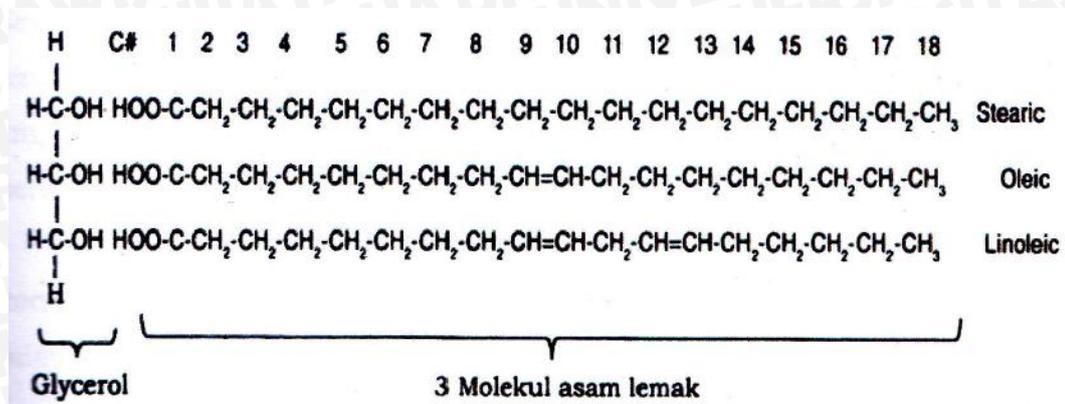


Gambar 2.1 Struktur molekul monogliserida, digliserida, dan trigliserida
Sumber : Zandy, 2007: 7

2.2.1.2 Asam Lemak Bebas (*Free Fatty Acid*)

Asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) adalah asam lemak yang terpisahkan dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas. Oksidasi dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak nabati. Kandungan asam lemak bebas di dalam biodiesel akan membentuk suasana asam yang dapat menyebabkan terjadinya korosi pada peralatan injeksi bahan bakar, membuat filter tersumbat dan terjadi sedimentasi pada injektor

(www.journeytoforever.com). Gambar 2.2 di bawah ini menunjukkan struktur molekul asam lemak bebas (FFA) :



Gambar 2.2 Struktur molekul asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*)

Sumber : Wardana, 2008; 38

Berikut adalah tabel 2.2 dan tabel 2.3 tentang beberapa asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh beserta rumus kimianya yang sering dikenal :

Tabel 2.2 Asam lemak jenuh

Nama Umum	Nama IUPAC	Rumus Kimia
Asam Laurat	Asam Didekanoat	C ₁₁ H ₂₃ CO ₂ H
Asam Miristat	Asam Tetradekanoat	C ₁₃ H ₂₇ CO ₂ H
Asam Palmitat	Asam Heksadekanoat	C ₁₅ H ₃₁ CO ₂ H
Asam Stearat	Asam Oktadekanoat	C ₁₇ H ₃₅ CO ₂ H

Sumber : Ralph H. Petrucci, *Kimia Dasar*, 1996: 299



Tabel 2.3 Asam lemak tak jenuh

Nama Umum	Nama IUPAC	Rumus Kimia
Asam Oleat	Asam 9-oktadekanoat	$C_{17}H_{33}CO_2H$
Asam Linoleat	Asam 9,12-oktadekanoat	$C_{17}H_{31}CO_2H$
Asam Linolenat	Asam 9,12,15-oktadekatrienoat	$C_{17}H_{29}CO_2H$
Asam Oleostearat	Asam 9,11,13-oktadekatrienoat	$C_{17}H_{29}CO_2H$

Sumber : Ralph H. Petrucci, *Kimia Dasar*, 1996: 299

Perbedaan antara asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh berada pada ikatan antara atom-atom karbon penyusunnya, yaitu pada asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal pada ikatan atom-atom karbon penyusunnya sementara asam lemak tak jenuh memiliki paling sedikit satu ikatan ganda di antara atom-atom karbon penyusunnya.

Asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (tidak mudah bereaksi) daripada asam lemak tak jenuh. Ikatan ganda pada asam lemak tak jenuh mudah bereaksi dengan oksigen (mudah teroksidasi).

2.3 Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*)

Biji karet (*Hevea brasiliensis*) termasuk dalam marga *Hevea* yang memiliki sebaran cukup luas di Indonesia. Karet merupakan tanaman perkebunan tahunan berbatang lurus yang pertama kali ditemukan di Brazil dan berhasil dibudidayakan pada tahun 1601, sedangkan pembudidayaan tanaman karet di Indonesia dimulai pada tahun 1876.

Penanaman pohon karet yang sesuai adalah pada ketinggian antara 1-600 meter di atas permukaan laut dengan curah hujan berkisar antara 2000-2500 mm/tahun. Pohon karet dapat dipanen getahnya pada usia sekitar 5 tahun dan memiliki usia produktif 25 sampai dengan 30 tahun. Pohon karet (*Hevea brasiliensis*) memiliki batang yang berbentuk tegak berkayu yang memiliki tinggi sekitar 15 sampai dengan 25 meter dari permukaan tanah, memiliki

permukaan batang halus, batang berwarna coklat dengan bercak putih, diameter batang besar, dan memiliki percabangan monopodial. Daun pohon karet terdiri dari tangkai utama sepanjang 3 sampai dengan 20 cm, dan tangkai anak daun sepanjang 3 sampai dengan 10 cm, setiap daun terdiri dari tiga anak daun yang berbentuk elips memanjang dengan ujung runcing, daun berwarna hijau dan menjadi merah atau kuning saat menjelang daun rontok. Pohon karet memiliki buah berdiameter antara 3 sampai dengan 5 cm yang terbentuk dari hasil penyerbukan bunga karet dan memiliki pembagian ruang yang jelas (3 sampai dengan 6 ruang). Setelah berumur sekitar enam bulan, buah karet akan masak dan pecah sehingga biji karet terlepas dari batoknya. Biji karet memiliki diameter sekitar 1.98cm yang berbentuk bulat lonjong, keras, dan berwarna coklat dengan bercak-bercak putih. Berat biji karet sekitar 0.78 sampai dengan 3.29 gram (Van Steenis, dkk, 2006)

Biji karet terdiri dari 40-50% kulit keras, berwarna coklat, 50-60% kernel yang berwarna putih kekuningan. Kernel biji karet terdiri dari 40-50% minyak, 2.71% abu, 3.71% air, 22.17% protein, dan 24.21% karbohidrat (Luthfi, 2008). Di bawah ini merupakan gambar 2.3 mengenai bentuk pohon dan biji karet (*Hevea brasiliensis*) :



Gambar 2.3 Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis*)

Sumber : <https://bengkeltip.wordpress.com/2011/12/22/mengenal-tanaman-karet/>



Gambar 2.4 Bagian-bagian tanaman karet (*Hevea brasiliensis*)
Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Hevea_brasiliensis

Berikut ini merupakan data klasifikasi botani tentang tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) :

- Divisi : *Spermatophyta*
- Subdivisi : *Angiospermae*
- Kelas : *Dicotyledonae*
- Ordo : *Euphorbiales*
- Famili : *Euphorbiaceae*
- Genus : *Hevea*
- Spesies : *Hevea brasiliensis*

Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) tergolong kedalam asam lemak tak jenuh yang berantai karbon panjang, dengan kandungan utama berupa asam

linoleat ($C_{17}H_{31}COOH$) sebesar 35% - 38%, asam linolenat ($C_{17}H_{35}COOH$) sebesar 21% - 24%, dan asam oleat ($C_{17}H_{33}COOH$) sebesar 17% - 21%. Selebihnya berupa asam palmitat, asam arechidat, dan asam stearat (Luthfi, 2008:6).

Beberapa keunggulan biji karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai bahan baku biodiesel, antara lain:

1. Tanaman karet tumbuh dan tersebar luas di Indonesia secara alami, regenerasi tanaman karet mudah dan berbuah sepanjang tahun.
2. Produktivitas biji karet lebih tinggi jika dibandingkan jenis lain (jarak pagar 5 ton/ha; sawit 6 ton/ha; karet 10 ton/ha)
3. Sebagian parameter biji karet telah memenuhi standar kualitas biodiesel Indonesia.
4. Kualitas emisi lebih baik daripada solar

Berikut ini adalah tabel 2.4 yang menunjukkan presentase minyak yang dikandung dalam suatu biji-bijian :

Tabel 2.4 Kandungan minyak dalam biji-bijian

Jenis Biji	% Minyak per Berat Total Biji
Karet	40 – 50
Jarak	54
Inti Sawit	47 – 52
Wijen	33 – 57
Kacang Tanah	46 - 52

Sumber : Kataren, 1986; 12

Berikut ini adalah tabel 2.5 yang menunjukkan perbandingan karakteristik minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) dengan solar :

Tabel 2.5 Perbandingan karakteristik minyak biji karet dengan solar

Parameter	Minyak Biji Karet	Solar
Densitas 15°C (g/m ³)	0,892	0,85
Viskositas 30°C (cst)	7,956	3,60
Bilangan setana	56	48
Flash point (°C)	65	80
Nilai kalor (kJ/kg)	34.589	44.000
Karbon (C) per molekul	6 – 30	8 - 10

Sumber : Kumar, 2012

Berikut ini adalah tabel 2.6 yang menunjukkan komposisi asam lemak yang dikandung minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) :

Tabel 2.6 Komposisi asam lemak yang dikandung minyak biji karet

Asam Lemak	Kadar (%)
Asam Palmitat	13,11
Asam Stearat	12,66
Asam Arachidic	0,54
Asam Oleat	39,45
Asam Linoleat	33,12
Lain-lain	1,12

Sumber : Setyawardhani, 2009

Berikut ini adalah tabel 2.7 yang menunjukkan sifat fisik-kimia dari minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) :

Tabel 2.7 Sifat fisika-kimia dari minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) :

No.	Parameter	Keterangan
1	Warna (<i>Color</i>)	Coklat
2	Kejernihan (<i>Clarity</i>)	Jernih
3	Aroma (<i>Odor</i>)	Berbau
4	Indeks bias (<i>Refractive index</i>)	1,46
5	Keasaman (pH)	6
6	Kekentalan (<i>Viscosity</i>)	10,32 poise
7	<i>Specific gravity</i>	0,92
8	Titik lebur (<i>Melting point</i>)	45 - 48°C
9	Nilai peroksida (<i>Peroxide value</i>)	14,4
10	Kandungan uap (<i>Moisture content</i>)	8,6%
11	Nilai saponifikasi (<i>Saponification value</i>)	193,61
12	Nilai Iodin (<i>Iodine value</i>)	134,51
13	Nilai ester (<i>Esther value</i>)	191,93
14	Nilai asam (<i>Acid value</i>)	1,68
15	<i>Unsaponifiable matter</i>	0,7%

Sumber : Setyawardhani, 2009

2.4 Pembakaran *Droplet* Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*)

Pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dan bahan bakar disertai dengan timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor (Turns,1996: 12).

Dalam setiap proses pembakaran ada dua peristiwa yang pasti terjadi, antara lain:

1. Komposisi campuran berubah terhadap waktu dan perubahan ini disebabkan oleh proses pada tingkat molekuler

2. Ikatan-ikatan antar molekul yang lemah terlepas, digantikan dengan ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikat dilepas ke dalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur.

Berdasarkan kondisi campuran bahan bakar dengan udara (oksigen), pembakaran diklasifikasikan menjadi dua jenis, yakni :

1. Pembakaran tipe *premixed* adalah pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu sebelum terjadi pembakaran. Tingkat keberhasilan pembakaran *premixed* bergantung dipengaruhi oleh faktor homogenitas campuran udara dan bahan bakar, dimana pada campuran antara bahan bakar dan udara yang tidak homogeny akan dihasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal.
2. Pembakaran tipe difusi adalah pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik tetapi dibiarkan bercampur secara alami melalui proses difusi sehingga kemudian terjadi pembakaran.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi agar terjadi proses pembakaran yang sempurna antara lain sebagai berikut :

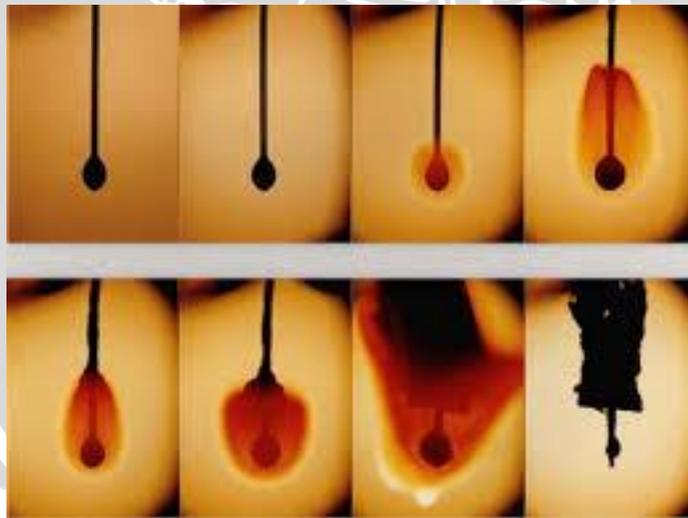
1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar
2. Cukup udara
3. Campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi

Proses pembakaran yang terjadi pada pembakaran minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) adalah jenis pembakaran difusi dimana reaktan (bahan bakar dan udara) tidak bercampur secara mekanik, melainkan bercampur secara alami

berdasarkan kebutuhan pada waktu pembakaran tersebut berlangsung. Pada pembakaran *droplet* minyak biji karet terjadi tiga fase, yakni :

1. Fase penyalaan dan pemanasan, dimana pada fase ini *droplet* dipanaskan oleh api. Selama fase ini ada dua peristiwa yang hanya menyebabkan perubahan kecil dari *droplet*, pertama adalah pemuaiian panas *droplet* dan yang kedua adalah sebagian besar panas yang ditransfer ke *droplet* dipakai untuk memanaskan *droplet* tetapi tidak terjadi penguapan.
2. Selama fase kedua, *droplet* telah dianggap mencapai temperatur penguapan. Pada keadaan ini seluruh panas yang ditransfer ke *droplet* dipakai untuk menguapkan *droplet*. Fase pembakaran ini menghabiskan 90% dari umur evolusi *droplet*.
3. Fase ketiga dikenal dengan fase habis terbakar terjadi setelah *droplet* habis menguap, selama periode ini uap yang tersisa hampir dilahap habis oleh proses pembakaran.

Proses pembakaran *droplet* dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini :

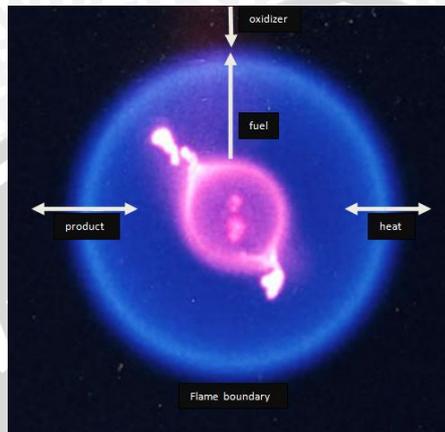


Gambar 2.5 Proses pembakaran *droplet* pada bahan bakar cair

Sumber : <http://www.nmri.go.jp/>

Laju evaporasi dan pembakaran *droplet* secara umum ditentukan oleh laju perpindahan panas dari permukaan nyala (*flame front*) ke permukaan *droplet*

bahan bakar. Dalam tinjauan mengenai nyala api difusi, proses kimia diasumsikan berjalan sangat cepat sehingga laju pembakaran *droplet* hanya ditentukan oleh transfer massa dan panas. Berikut ini merupakan gambar 2.6 mengenai skema pembakaran *droplet* :



Gambar 2.6 Skema pembakaran *droplet*

Sumber : http://www.jacobsschool.ucsd.edu/news/news_releases/release.sfe?id=1156

Pada proses pembakaran, akan terjadi perambatan api dari nyala api menuju permukaan *droplet*. Temperatur gas hasil pembakaran yang lebih tinggi akan dipindahkan secara konveksi menuju permukaan *droplet* yang kemudian memanaskan droplet hingga fase gas. Peristiwa ini disebut dengan penguapan (*evaporation*). Besarnya energi yang dibutuhkan untuk penguapan droplet dapat diketahui dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$Q = \Delta h_v + C_{liq}(T_s - T_0) \quad (\text{Kenneth, 1986: 373}) \quad (2-1)$$

Keterangan :

Q = energi total penguapan (kJ/kg)

Δh_f = kalor laten (kJ/kg)

C_{liq} = kalor jenis bahan bakar (kJ/kg.°C)

T_s = temperatur permukaan *droplet* (°C)

T_0 = temperatur awal *droplet* (°C)

Di dalam proses pembakaran minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*), energi panas dari luar digunakan untuk memutuskan ikatan antar molekul hidrokarbon yang terkandung dalam *droplet* minyak biji karet tersebut sehingga mudah teroksidasi oleh udara (oksigen) dari luar. Temperatur yang tinggi menyebabkan transfer kalor dari nyala api menuju permukaan *droplet* berlangsung semakin cepat sehingga laju penguapan (*evaporation*) dari *droplet* akan semakin meningkat.

Laju penguapan (evaporasi) ditunjukkan sebagai koefisien evaporasi yang didefinisikan berdasarkan hukum “ d^2 ” yang merupakan hukum evaporasi *droplet*. Secara eksperimental dituliskan sebagai berikut :

$$d^2 = d_0^2 - \beta_v \cdot t \quad (\text{Kenneth, 1996: 372}) \quad (2-2)$$

maka :

$$\beta_v = \frac{d_0^2 - d^2}{t} \quad (\text{Kenneth, 1996: 372}) \quad (2-3)$$

Keterangan :

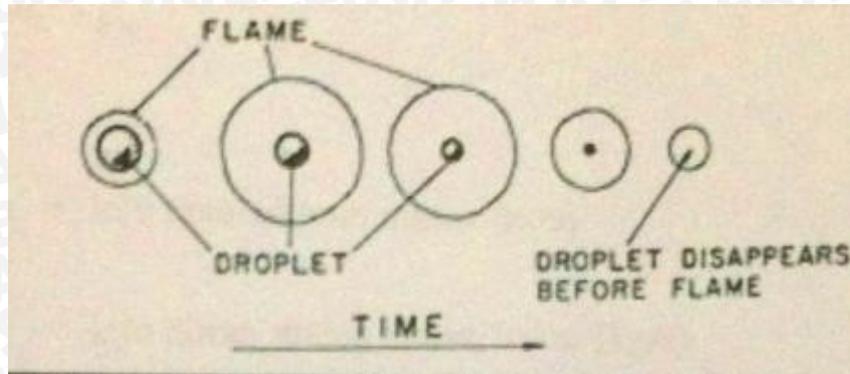
d = diameter *droplet* dalam waktu t (mm)

d_0 = diameter awal *droplet* (mm)

β_v = koefisien evaporasi

t = waktu (s)

Persamaan di atas menunjukkan bahwa diameter *droplet* akan semakin mengecil seiring dengan berjalannya waktu karena menguapnya sebagian massa *droplet* karena adanya perpindahan panas yang mengubah fase *droplet* dari cair menjadi uap yang terbakar, seperti ditunjukkan pada gambar 2.7 tentang perubahan bentuk *droplet* di bawah ini :



Gambar 2.7 Perubahan bentuk *droplet*

Sumber : Kenneth K. Kuo, *Principles of Combustion*, 1986: 390

2.5 Sifat Fisik Biodiesel

Sifat-sifat fisik biodiesel yang harus diketahui untuk mengukur tingkat kelayakan bahan bakar solar antara lain massa jenis, viskositas, titik nyala api, nilai kalor, dan indeks setana.

2.5.1 Densitas (*Density/Kerapatan Massa*)

Densitas dapat diartikan sebagai perbandingan jumlah massa yang dimiliki suatu zat dalam suatu volume tertentu. Densitas menunjukkan kerapatan massa suatu zat dalam volume yang sama. Satuan densitas dalam Sistem Internasional (SI) yaitu kilogram per meter kubik (kg/m^3). Densitas dapat diukur dengan menggunakan alat yang bernama *hydrometer*.

2.5.2 Viskositas (*Viscosity/Kekentalan*)

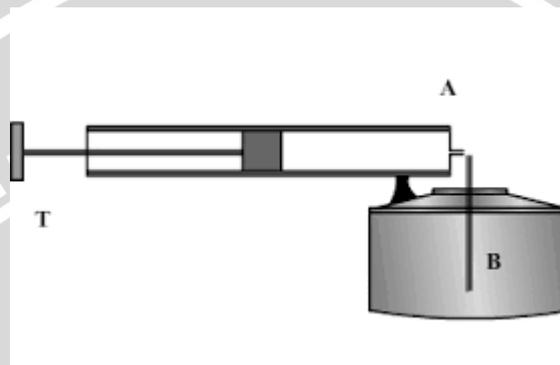
Viskositas (kekentalan) fluida adalah besaran yang menggambarkan kesukaran fluida untuk mengalir. Secara matematis, viskositas didefinisikan sebagai berikut :

$$V = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Holmann, 1984; 347}) \quad (2-4)$$

Keterangan : V : viskositas kinematik fluida (m^2/s)
 μ : viskositas dinamik fluida ($\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$)
 ρ : densitas fluida (kg/m^3)

Semakin kental fluida maka fluida tersebut memiliki viskositas yang semakin tinggi. Viskositas berpengaruh dalam kerja injektor pada mesin diesel, jika viskositas bahan bakar tinggi maka pompa penginjeksi bahan bakar di dalam mesin diesel tak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik.

Dasar dari mekanisme pengkabutan (*atomization*) adalah hukum Bernoulli. Mekanisme pengkabutan ini mirip dengan prinsip penyemprot racun serangga dengan *spray* yang dijelaskan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.8 Penyemprot racun serangga

Sumber : <http://fisikaunismuhmakassar.blogspot.com/2010/02/bagaimana-cara-kerja-alat-penyemprot.html>

Saat gagang penghisap (T) ditekan, maka udara akan keluar dari tabung melalui ujung pipa kecil A dengan kecepatan yang tinggi, karena kecepatan yang tinggi tersebut maka tekanan di titik A menjadi kecil. Sehingga cairan racun serangga yang ditampung di tabung B akan terhisap naik melalui pipa B ke atas dan ikut tersemprotkan keluar tabung dalam bentuk kabut.

Viskositas menunjukkan sifat pelumasan atau lubrikasi. Viskositas yang relatif tinggi memiliki sifat lubrikasi yang lebih baik. Pada bahan bakar harus memiliki viskositas yang rendah agar dapat mengalir dengan mudah dan mudah teratomisasi.

2.5.3 Titik Nyala Api (*Flash Point*)

Titik nyala adalah temperatur terendah dimana bahan bakar dalam campurannya dengan udara dapat menyala. Titik nyala yang terlampau tinggi dapat menyebabkan keterlambatan penyalaan, sementara apabila titik nyala

terlampau rendah akan menyebabkan ledakan-ledakan (detonasi) yang terjadi terlebih dahulu sebelum bahan bakar masuk ruang bakar.

2.5.4 Nilai Kalor (*Heating Value*)

Nilai kalor (*heating value*) adalah suatu sifat yang menunjukkan jumlah energi panas yang terkandung dalam suatu massa atau volum bahan bakar melalui proses pembakaran sempurna. Nilai kalor didapat dari selisih antara energi yang dilepaskan untuk memutus ikatan kimia reaktan dan energi yang dilepas oleh pembentukan ikatan kimia pada produk. Alat yang digunakan untuk mengukur nilai kalor yaitu *bomb calorimeter*. Berikut ini beberapa istilah penting yang berkaitan dengan nilai kalor, antara lain :

1. Nilai kalor tertinggi (*Higher Heating Value/HHV*)

HHV adalah jumlah kalor yang dihasilkan oleh reaksi pembakaran jika semua air di dalam produk terkondensasi menjadi cair. Besarnya HHV dapat dihitung dengan persamaan yang dikembangkan oleh DULONG – PETIT, yaitu :

$$\text{HHV} = 14544C + 62028(\text{H-O}/8) + 4050S \text{ Btu/lb bahan bakar} \quad (2-5)$$

$$\text{HHV} = 8080C + 34460(\text{H-O}/8) + 2250S \text{ kkal/kg bahan bakar} \quad (2-6)$$

$$\text{HHV} = 33950C + 144200(\text{H-O}/8) + 9400S \text{ kJ/kg bahan bakar} \quad (2-7)$$

(Wardana, 2008 : 32)

Keterangan :
 C = kandungan karbon dalam bahan bakar
 H = kandungan hidrogen dalam bahan bakar
 O = kandungan oksigen dalam bahan bakar
 S = kandungan belerang (sulfur) dalam bahan bakar

2. Nilai kalor terendah (*Lower Heating Value/LHV*)

LHV adalah jumlah kalor pada kondisi dimana air di dalam produk berbentuk uap (gas). Besarnya LHV dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{LHV} = \text{HHV} - x\text{LH} \quad (\text{Wardana, 2008 : 32}) \quad (2-8)$$

Keterangan :
 x = massa H₂O yang terbentuk dalam proses pembakaran/
 satuan massa bahan bakar

LH = panas latent penguapan H₂O

$$LH = 1080 \text{ Btu/lb H}_2\text{O}$$

$$LH = 600 \text{ kkal/kg H}_2\text{O}$$

$$LH = 2400 \text{ kJ/kg H}_2\text{O}$$

2.5.5 Indeks Setana (*Cetane Index*)

Cetane index adalah suatu parameter mutu penyalan bahan bakar mesin diesel. Mutu penyalan dapat diartikan sebagai waktu yang diperlukan bahan bakar untuk dapat menyala di dalam ruang pembakaran dan diukur setelah penyalan terjadi. Indeks setana adalah nilai yang dapat ditentukan dengan cara perhitungan berdasarkan temperature destilasi pada *recovery* 50% volume dan densitas minyak pada suhu 15°C. Besarnya indeks setana dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$CCI = 454,74 - 1641,416D + 774,74D^2 - 0,554B + 97,803(\log B)^2 \quad (2-9)$$

(ASTM D976)

Keterangan :

CCI = *Calculated Cetane Index* (perhitungan indeks setana)

D = Densitas pada 15°C (kg/m³), berdasarkan metode uji D1298 atau D4052

B = Temperatur destilasi pada *recovery* 50% volume (°C), berdasarkan metode uji D 86

2.6 Energi Disosiasi

Energi disosiasi diartikan sebagai jumlah energi yang diperlukan untuk memutus satu mol ikatan kimia suatu zat dalam fase gas. Satuan energi disosiasi dalam SI (Standar Internasional) adalah kilojoule per mol ikatan (kJ/mol). Dengan demikian kekuatan suatu ikatan bergantung pada sifat ikatan antara atom-atom, yakni ikatan ganda dua lebih kuat daripada ikatan tunggal dan ikatan ganda tiga lebih kuat daripada ikatan ganda dua. Terdapat hubungan antara energi disosiasi ikatan dengan jarak antara inti dari atom-atom berikatan, dimana semakin kuat

suatu ikatan maka akan semakin pendek jarak ikatannya. Berikut ini adalah tabel 2.8 mengenai tipe ikatan kimia dan besarnya energi disosiasi ikatan tersebut :

Tabel 2.8 Tipe ikatan dan energi disosiasi

Ikatan	Tipe Ikatan	Asam Lemak	Energi Disosiasi kJ/mol
CH ₂ - H	Aliphatic		435,448
CH - H	Aliphatic	Stearic	401,952
CH = CHCH - H	Allylic	Oleic	355,895
CH + CHCH - H	Doubly	Linoleic	318,272
CH = CH	Allylic	Linolenic	

Sumber : Wardana I.N.G, Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran, 2008; 41



Berikut ini adalah tabel 2.9 mengenai jenis ikatan, jarak ikatan, dan besarnya energi disosiasi ikatan tersebut :

Tabel 2.9 Energi ikatan dan jarak ikatan beberapa unsur dan senyawa

Ikatan	Energi Ikatan	Jarak Ikatan	
	kJ/mol	Å	pm
H - H	435	0,74	74
H - C	414	1,10	110
H - N	389	1,00	100
H - O	464	0,97	97
H - F	565	1,01	101
H - Cl	431	1,36	136
H - Br	364	1,51	151
H - I	297	1,70	170
C - C	347	1,54	154
C = C	611	1,34	134
C ≡ C	837	1,20	120
C - N	305	1,47	147
C = N	615	1,28	128
C ≡ N	891	1,16	116
C - O	360	1,43	143
C = O	736	1,23	123
C - Cl	326	1,77	177
N - N	163	1,45	145
N = N	418	1,23	123
N ≡ N	946	1,09	109
F - F	155	1,28	128
Cl - Cl	243	1,99	199
Br - Br	192	2,28	228
I - I	151	2,66	266

Sumber : Pertucci, Kimia Dasar; 1996 : 293

2.7 Etanol

Etanol atau alkohol adalah salah satu dari energi alternatif yang terbuat dari hasil fermentasi jagung atau biomassa sejenisnya yang mengandung zat tepung dan gula. Etanol memiliki gugus hidroksil (OH). Etanol berwujud cair (*liquid*) yang juga disebut *ethyl alcohol* dapat digunakan untuk bahan pencampur bahan bakar. Di Amerika, etanol diproduksi sebesar 2 milyar galon per tahun dari hasil fermentasi jagung. Awal penggunaan dalam skala besar sebagai bahan bakar dimulai pada awal tahun 1900 ketika suplai minyak di Eropa mulai tersendat. Di Amerika, produk mobil Henry Ford Model T dan jenis automobile era tahun 1920 didesain untuk menggunakan bahan bakar alkohol. Jerman dan Amerika mengandalkan etanol untuk daya dari kendaraan perang selama perang dunia kedua. Pembatasan penggunaan etanol terjadi pada krisis minyak pada awal tahun 1970.

Alkohol memiliki sifat tidak berwarna (bening), mudah menguap (*volatile*), dan mudah terbakar (*flammable*). Alkohol adalah senyawa organik yang memiliki satu atau lebih hidroksil (OH) yang terikat dengan atom karbon. Alkohol ditunjukkan sebagai : C-O-H atau C-OH. Rumus kimia dari etanol (etil alkohol) ditunjukkan sebagai C₂H₅OH.

Dalam bentuk alkohol murni, etanol berwujud cairan yang tidak berwarna yang memiliki titik didih pada 78°C (172°F) dan titik lebur pada -112°C (-170°F). Ketika dibakar, etanol menghasilkan api berwarna biru muda tanpa residu, hal ini yang membuat etanol sebagai bahan bakar ideal.

Di dalam penggunaan etanol pada pencampuran dengan bahan bakar, etanol memiliki beberapa keuntungan, seperti :

1. Etanol dapat menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna
2. Etanol dapat menurunkan emisi gas karbondioksida dari hasil pembakaran bahan bakar
3. Menghindari peristiwa *knocking*
4. Menghasilkan akselerasi yang lebih baik
5. Membantu menjaga *engine* agar tetap bersih

6. Memiliki kemampuan untuk menyerap air dan dapat menghindari peristiwa *freezing* pada musim dingin (salju)

2.8 Teori Kinetik Gas

Jika dipandang dari segi atomik, reaksi pembakaran merupakan proses tumbukan antara atom atom. Kecepatan (energi kinetik) minimum dimana reaksi dapat berlangsung merupakan energi aktivasi dari atom atau molekul tersebut.

Berikut ini merupakan persamaan yang berkaitan dengan teori kinetik gas :

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} mv^2 \quad (\text{Halliday, 1988: 253}) \quad (2-12)$$

Keterangan :

T = temperatur pembakaran (K)

v = kecepatan reaksi (m/s)

k = konstanta Boltzmann = $1,380622 \times 10^{-23}$ J/K

m = massa zat yang bereaksi (kg)

Berikut merupakan analisa dimensi dari persamaan 2-12 mengenai teori kinetik gas :

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\frac{J}{K} \cdot K = kg \cdot \frac{m^2}{s^2}$$

$$J = kg \cdot \frac{m^2}{s^2}$$

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa kecepatan reaksi berbanding lurus dengan temperatur pembakaran. Sehingga dengan meningkatnya kecepatan reaksi atau kecepatan molekul-molekul yang saling bertumbukan akan menyebabkan semakin tinggi pula temperatur pembakaran.

2.9 Esterifikasi dan Transesterifikasi

2.8.1 Esterifikasi

Esterifikasi merupakan reaksi ionik yang mereaksikan asam karboksilat dengan alkohol memakai katalis berupa asam (biasanya asam sulfat) sehingga dihasilkan ester. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi *reversible* atau reaksi yang dapat balik yang berjalan sangat lambat, oleh karena itu biasanya reaksi esterifikasi membutuhkan katalis untuk mempercepat reaksinya berlangsung.

Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi esterifikasi, antara lain :

1. Suhu reaksi

Reaksi esterifikasi merupakan reaksi eksotermis, suhu mempengaruhi konstanta reaksi.

2. Perbandingan zat pereaksi

Karena reaksi esterifikasi merupakan reaksi yang dapat balik (*reversible*), salah satu sisi reaktan harus dibuat berlebih agar pembentukan ester lebih optimal.

3. Pengadukan (pencampuran)

Dengan adanya pengadukan, molekul pereaksi akan mengalami tumbukan lebih sering sehingga reaksi berjalan secara optimal.

4. Katalis

Karena reaksi esterifikasi berjalan sangat lambat, maka dibutuhkan katalis untuk mempercepat reaksi yang berlangsung.

5. Waktu reaksi

Jika waktu reaksi berjalan semakin lama, maka kesempatan molekul-molekul untuk bertumbukan akan semakin sering.

Berikut ini merupakan analisa kimia tentang reaksi esterifikasi minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) :

- Rumus kimia minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) : $(C_5H_8)_n$
- Kandungan asam lemak terbesar yang dikandung minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) adalah asam oleat (39,45%)
- Rumus kimia asam oleat : $C_{17}H_{33}COOH$

- Alkohol yang digunakan pada reaksi esterifikasi ini adalah metanol (CH_3OH)

Reaksi esterifikasi adalah reaksi ionik antara asam karboksilat dengan alkohol menghasilkan ester dan air.

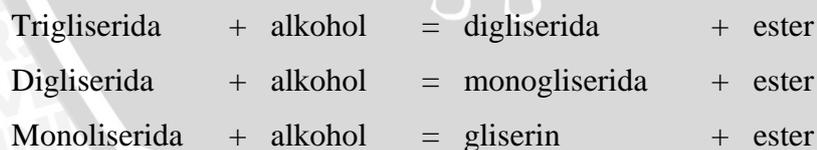
Reaksi esterifikasi :



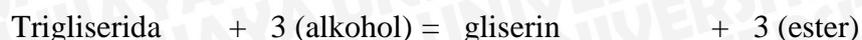
2.8.2 Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses transformasi kimia molekul trigliserida yang besar, bercabang, dari minyak nabati dan lemak menjadi molekul yang lebih kecil, molekul rantai lurus, sehingga sama dengan molekul dalam bahan bakar diesel. Minyak nabati atau minyak hewani bereaksi dengan alkohol (biasanya metanol) dengan bantuan katalis (biasanya basa) yang menghasilkan alkil ester (untuk metanol, metil ester) (Knothe, et al., 2005).

Tidak seperti esterifikasi yang mengkonversi asam lemak bebas menjadi ester, pada transesterifikasi yang terjadi adalah mengubah trigliserida menjadi ester. Perbedaan antara transesterifikasi dan esterifikasi menjadi sangat penting ketika memilih katalis. Transesterifikasi dikatalisis dapat menggunakan asam maupun basa, sedangkan esterifikasi hanya dapat dikatalisis oleh asam (Nourredine, 2010). Berikut ini adalah tahap-tahap reaksi transesterifikasi :



Secara keseluruhan, reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut :



Trigliserida bereaksi dengan alkohol membentuk ester dan gliserin. Kedua produk reaksi ini membentuk dua fasa yang mudah dipisahkan. Fasa gliserin

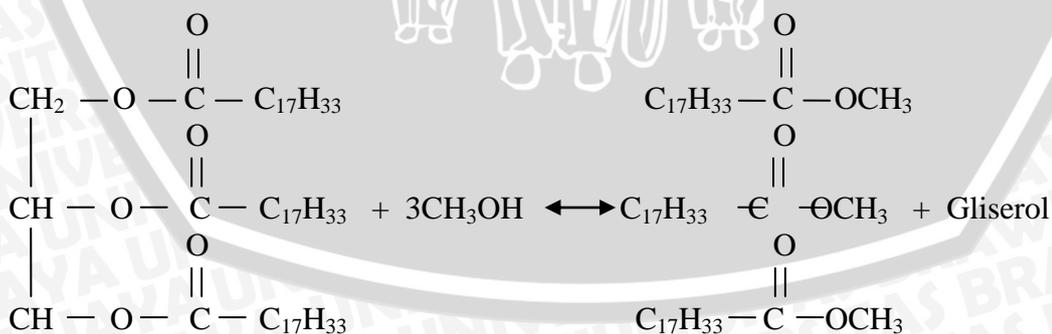
terletak di bawah dan fasa ester alkil di atas. Ester dapat dimurnikan lebih lanjut untuk memperoleh biodiesel yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, sedangkan gliserin dimurnikan sebagai produk samping pembuatan biodiesel. Gliserin merupakan senyawa penting dalam industri. Gliserin banyak digunakan sebagai pelarut, bahan kosmetik, sabun, dan lain-lain.

Laju reaksi transesterifikasi sangat dipengaruhi oleh suhu reaksi. Umumnya reaksi dilakukan pada suhu yang dekat dengan titik didih metanol (60-70°C) pada tekanan atmosfer. Dengan menaikkan suhu tersebut, maka akan lebih banyak lagi metanol yang hilang atau menguap (Ramadhas et al., 2005).

Berikut ini merupakan analisa kimia tentang reaksi transesterifikasi minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) :

- Rumus kimia minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) : $(C_5H_8)_n$
- Kandungan asam lemak terbesar yang dikandung minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) adalah asam oleat (39,45%)
- Rumus kimia asam oleat : $C_{17}H_{33}COOH$
- Alkohol yang digunakan pada reaksi esterifikasi ini adalah metanol (CH_3OH)

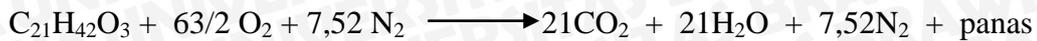
Reaksi transesterifikasi dari minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) adalah sebagai berikut :



Reaksi kimia penambahan minyak biji karet dengan etanol :



Reaksi pembakaran campuran minyak biji karet dengan etanol :



2.10 Karakteristik Pembakaran

Pada penelitian ini, ada beberapa karakteristik pembakaran yang diamati, adapun karakteristik-karakteristik pembakaran tersebut antara lain :

1. *Burning Rate*

Burning rate adalah kecepatan pembakaran untuk membakar sebuah *droplet* dengan diameter tertentu, *burning rate* biasanya dinyatakan dalam koefisien evaporasi (β_v). *Burning rate* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$d^2 = d_0^2 - \beta_v t \quad (\text{Kuo, 1986: 372}) \quad (2-13)$$

$$\beta_v = \frac{d_0^2 - d^2}{t} \quad (\text{Kuo, 1986: 372}) \quad (2-14)$$

Keterangan : d = diameter droplet dalam waktu t (mm)

d_0 = diameter awal droplet (mm)

β_v = koefisien evaporasi

t = waktu (s)

Persamaan di atas menunjukkan bahwa diameter droplet akan semakin mengecil seiring dengan berjalannya waktu karena menguapnya sebagian massa droplet akibat perpindahan panas yang merubah fase *droplet* dari fase cair menjadi fase uap atau gas

2. *Ignition Delay Time*

Ignition delay time adalah waktu yang diperlukan untuk memanaskan droplet sampai droplet mulai terbakar. *Ignition delay time* dapat diketahui dari grafik hubungan temperature pembakaran dengan waktu pembakaran.

3. Temperatur maksimum pembakaran

Temperatur maksimum pembakaran adalah temperatur tertinggi yang dicapai dalam proses pembakaran sebuah *droplet*.

4. Visualisasi nyala api pembakaran

Visualisasi nyala api meliputi tiga karakter, yaitu tinggi api, lebar api, dan warna nyala api. Tinggi dan lebar api mewakili seberapa cepat droplet mengalami penguapan, jika penguapan yang dialami *droplet* lebih cepat maka akan dihasilkan api yang tinggi dan tidak terlalu lebar. Untuk warna nyala api mewakili energi yang dihasilkan pada proses pembakaran, dimana jika nyala api terang maka disimpulkan bahwa pembakaran tersebut menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan dengan nyala api yang redup.

2.11 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka maka hipotesis yang ditarik adalah etanol akan mempengaruhi karakteristik pembakaran *droplet* minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*). Mengingat bahwa etanol memiliki gugus OH⁻ (hidroksil) dan sebuah pembakaran sangat bergantung kepada ketersediaan oksigen, maka dapat ditarik hipotesa, yakni semakin banyak etanol yang ditambahkan kedalam minyak maka membuat ketersediaan oksigen untuk pembakaran meningkat sehingga pembakaran akan semakin mudah terjadi. Artinya semakin tinggi presentase etanol yang ditambahkan ke dalam minyak akan menyebabkan minyak akan semakin mudah dan cepat untuk terbakar.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental, yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk mencari data sebab-akibat melalui eksperimen sehingga didapatkan data empiris. Dalam penelitian ini, objek penelitian yang diamati adalah pengaruh penambahan etanol terhadap karakteristik pada minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) murni dan minyak biji karet yang telah mengalami proses esterifikasi.

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur.

3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tiga variabel yang digunakan, variabel-variabel tersebut antara lain :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Besar variabel bebas dapat berubah-ubah dengan metode tertentu, sehingga didapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Di dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah penambahan etanol sebesar 5%, 10%, dan 15%.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya bergantung dari variabel bebasnya. Di dalam penelitian ini yang merupakan variabel terikat adalah temperatur, laju pembakaran *droplet*, dan visualisasi nyala api.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantkan pada waktu penelitian. Di dalam penelitian ini yang merupakan variabel terkontrol adalah ukuran atau volume *droplet* sebesar 4 μ l, dan temperatur ruang sebesar 27°C.

3.4 Bahan dan Peralatan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan di dalam penelitian ini adalah minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) yang telah mengalami proses esterifikasi sebanyak 1 liter

Berikut ini adalah beberapa peralatan yang digunakan di dalam penelitian ini, antara lain :

1. Kotak pembakaran

Kotak pembakaran ini terbuat dari akrilik yang memiliki tebal 10 mm dengan panjang 200 mm, lebar 200 mm, dan tinggi 200 mm. Kotak ini berfungsi sebagai ruang pembakaran *droplet* minyak karet (*Hevea brasiliensis*).

2. *Microsyringe*

Microsyringe digunakan untuk mengatur volume *droplet* dari minyak biji karet. Volum *droplet* yang dihasilkan oleh *microsyringe* di dalam percobaan ini adalah sebesar 2 μ l.



Gambar 3.1 *Microsyringe*

3. Pemanas (*heater*)

Pemanas (*heater*) berfungsi untuk memanaskan *droplet* hingga terbakar di dalam ruang bakar. Di dalam penelitian ini digunakan *heater* spiral yang memiliki daya sebesar 300 Watt, diameter 0,7 mm, panjang 10 cm, dan tahanan 3 ohm.

4. Termokopel

Termokopel digunakan untuk mengukur besar temperatur ruang bakar, temperatur awal *droplet*, dan temperature saat *droplet* habis terbakar. Termokopel yang digunakan adalah termokopel tipe K dengan kemampuan pengukuran 95°C sampai dengan 1260°C.

5. Kamera

Kamera digunakan untuk mengamati visualisasi nyala api yang dihasilkan dari proses pembakaran *droplet* minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)

6. *Data logger*

Data logger merupakan peralatan yang digunakan untuk mencatat besar temperature yang dibaca oleh termokopel yang terpasang di kotak pembakaran. Data yang dihasilkan atau dicatat data logger kemudian dipindahkan ke komputer untuk kemudian diolah.



Gambar 3.2 *Data logger*

7. Komputer

Di dalam penelitian ini, computer digunakan untuk mengolah data yang dihasilkan selama penelitian berlangsung.

8. *Transformer* (Trafo)

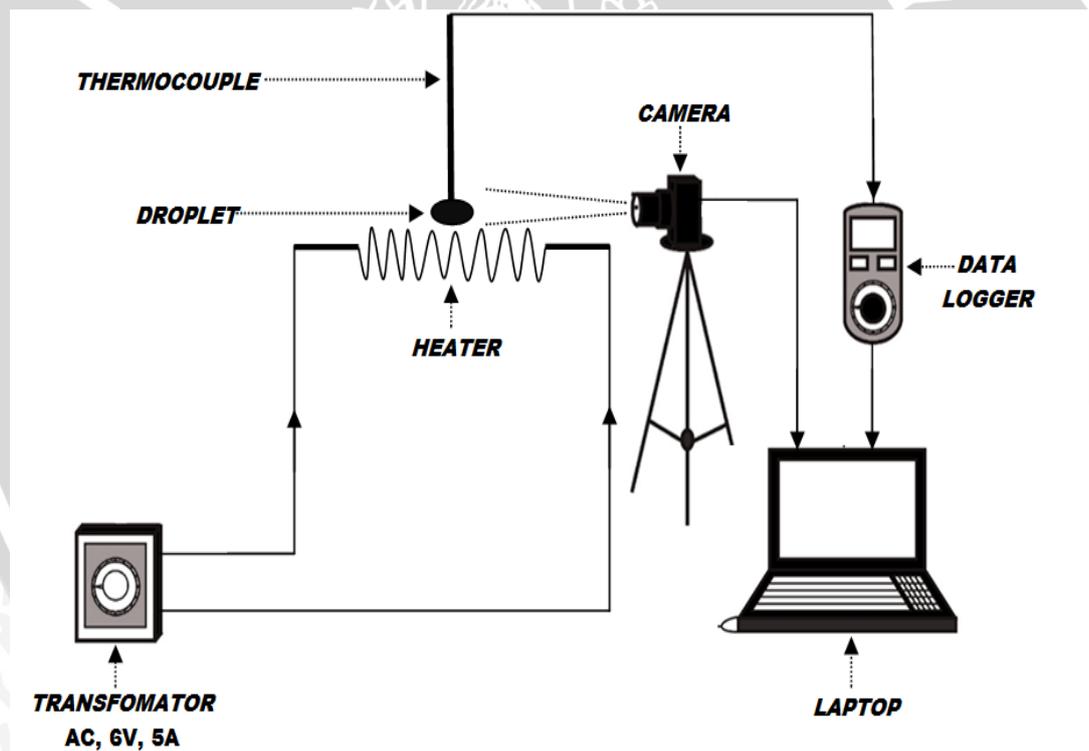
Trafo digunakan untuk menyalakan elemen pemanas (*heater*)

Spesifikasi : arus 5A, tegangan input 220 volt, tegangan output 6 volt

9. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mencatat rentang waktu pembakaran di dalam proses pembakaran droplet minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)

3.5 Instalasi Penelitian



Gambar 3.3 Skema instalasi penelitian

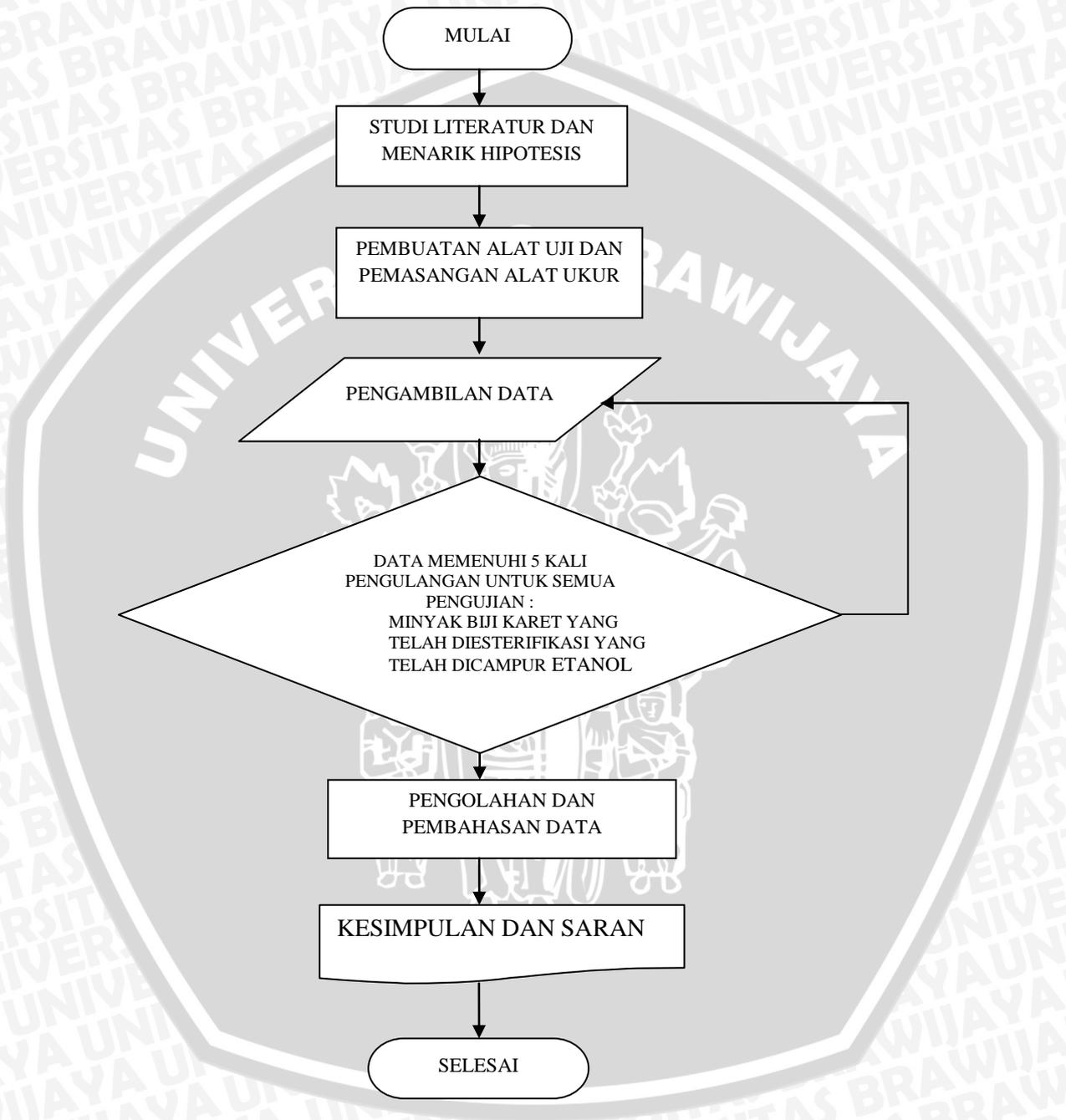
3.6 Prosedur Penelitian

Beberapa prosedur yang dilaksanakan di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- ❖ Prosedur pembuatan droplet minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)
 1. Siapkan minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) yang telah ditransesterifikasi dan letakkan pada gelas *beaker*.
 2. Tambahkan etanol pada minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) yang telah diesterifikasi. Volum penambahan etanol yang ditambahkan pada minyak biji karet sebesar 5%, 10%, dan 15% dari volum total campuran.
 3. Siapkan kotak akrilik sebagai ruang pembakaran *droplet* yang telah dilengkapi dengan pemanas (*heater*) spiral, termokopel, dan beberapa peralatan penunjang.
 4. Masukkan minyak biji karet ke dalam alat suntik *droplet* dan kemudian atur alat suntik *droplet* agar dapat mengeluarkan *droplet* dengan volume 2 μ l yang kemudian akan diteteskan pada tempat pembakaran.
- ❖ Prosedur pengambilan data
 1. *Setting* peralatan penelitian sesuai dengan prosedur penelitian yang dilakukan.
 2. Pastikan alat-alat ukur seperti termokopel telah terpasang dengan benar dan siap untuk membaca data.
 3. Pastikan kamera yang berfungsi untuk merekam visualisasi nyala api pembakaran berada dalam posisi yang tepat.
 4. Bahan bakar berupa *droplet* bahan bakar minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) sebanyak 2 μ l diletakkan tepat pada dudukan *droplet* yang berhubungan langsung dengan termokopel dan *heater*.
 5. Setelah seluruh peralatan terpasang dengan benar, hubungkan heater dengan *transformator* (trafo), dan kemudian dinyalakan agar terjadi pembakaran
 6. Catat seluruh hasil pengamatan.
 7. Bersihkan semua peralatan penelitian
 8. Penelitian selesai dilaksanakan

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Di bawah ini merupakan data hasil penelitian mengenai temperatur maksimal yang dibaca oleh *data logger* :

1. Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi tanpa ada penambahan etanol (100% minyak, 0% etanol)

Tabel 4.1 Data 100% minyak tanpa penambahan etanol

No.	Temperatur Maks (°C)	Ignition Delay Time (s)	Waktu Nyala Api (s)
1	584.00	10.12	2.70
2	594.20	9.35	2.68
3	587.10	9.77	2.75
4	590.30	10.24	2.89
5	591.80	10.10	2.56
rata-rata	589.48	9.92	2.72

2. Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol sebanyak 5% (95% minyak, 5% etanol)

Tabel 4.2 Data campuran 95% minyak dengan 5% etanol

No.	Temperatur Maks (°C)	Ignition Delay Time (s)	Waktu Nyala Api (s)
1	580.30	7.10	2.50
2	581.90	8.71	2.69
3	576.70	8.77	2.88
4	579.00	7.98	2.62
5	569.80	7.64	2.57
rata-rata	577.54	8.04	2.65

3. Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol sebanyak 10% (90% minyak, 10% etanol)

Tabel 4.3 Data 90% minyak dengan 10% etanol

No.	Temperatur Maks (°C)	Ignition Delay Time (s)	Waktu Nyala Api (s)
1	557.90	7.93	1.76
2	561.50	7.83	2.02
3	563.90	7.56	1.84
4	557.20	8.56	1.97
5	558.10	8.31	2.22
rata-rata	559.72	8.04	1.96

4. Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol sebanyak 15% (85% minyak, 15% etanol)

Tabel 4.4 Data campuran 85% minyak dengan 15% etanol

No.	Temperatur	Ignition Delay	Waktu Nyala Api
	Maks (°C)	Time (s)	(s)
1	546.20	7.44	1.83
2	541.90	6.85	1.54
3	537.80	7.67	1.65
4	535.30	7.51	1.57
5	543.70	7.46	1.69
rata-rata	540.98	7.39	1.66

5. Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol sebanyak 20% (80% minyak, 20% etanol)

Tabel 4.5 Data campuran 80% minyak dengan 20% etanol

No.	Temperatur	Ignition Delay	Waktu Nyala Api
	Maks (°C)	Time (s)	(s)
1	520.40	8.51	1.25
2	537.80	7.80	1.13
3	521.70	7.85	1.34
4	527.40	7.75	1.21
5	528.10	7.65	1.34
rata-rata	527.08	7.91	1.25

4.2 Pengolahan Data Hasil Penelitian

4.2.1 Contoh Perhitungan

1. Perhitungan diameter rata-rata *droplet* minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)

Diameter dari *droplet* yang digunakan adalah diameter rata-rata yang diukur secara visual dengan menggunakan *software AutoCad* dengan mengambil 5 buah sampel *droplet* bervolum sebesar 4 μ l. Perhitungan diameter rata-rata *droplet* minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai berikut :

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} \quad (4-1)$$

$$d = \frac{2.16 + 2.05 + 1.84 + 1.64 + 1.6}{5}$$

$$d = \frac{9.29}{5} = 1.86 \text{ mm}$$

2. Perhitungan *burning rate*

Burning rate diartikan sebagai kecepatan pembakaran untuk membakar sebuah *droplet* dengan diameter tertentu. *Burning rate* biasanya dinyatakan dalam koefisien evaporasi (β_v). *Burning rate* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$d^2 = d_0^2 - \beta_v t \quad (\text{Kuo, 1986: 372}) \quad (4-2)$$

$$\beta_v = \frac{d_0^2 - d^2}{t} \quad (\text{Kuo, 1986: 372}) \quad (4-3)$$

Keterangan : d = diameter *droplet* dalam waktu t (mm)
 d_0 = diameter awal *droplet* (mm)
 β_v = koefisien evaporasi/*burning rate* (mm²/s)
 t = waktu (s)

Berikut ini merupakan contoh perhitungan *burning rate* pada sampel minyak biji karet tanpa adanya penambahan etanol (100% minyak, 0% etanol) :

$$\beta_v = \frac{d_0^2 - d^2}{t}$$

$$\beta_v = \frac{1.86^2 - 0^2}{2.70} = 1.281 \text{ mm}^2 \text{ s}$$

Dari contoh hasil perhitungan di atas, didapatkan data *burning rate* seperti ditunjukkan pada tabel 4.6 hingga tabel 4.11 di bawah ini.

Tabel 4.6 Data *burning rate* sampel 100% minyak dan 0% etanol

No.	Waktu nyala api (s)	<i>Burning rate</i> (mm ² /s)
1	2.70	1.281
2	2.68	1.291
3	2.75	1.258
4	2.89	1.197
5	2.56	1.351
rata-rata	2.72	1.274

Tabel 4.7 Data *burning rate* sampel 95% minyak dan 5% etanol

No.	Waktu nyala api (s)	<i>Burning rate</i> (mm ² /s)
1	2.50	1.384
2	2.69	1.286
3	2.88	1.201
4	2.62	1.320
5	2.57	1.346
rata-rata	2.652	1.305

Tabel 4.8 Data *burning rate* sampel 90% minyak dan 10% etanol

No.	Waktu nyala api (s)	<i>Burning rate</i> (mm ² /s)
1	1.76	1.966
2	2.02	1.713
3	1.84	1.880
4	1.97	1.756
5	2.22	1.558
rata-rata	1.962	1.763

Tabel 4.9 Data *burning rate* sampel 85% minyak dan 15% etanol

No.	Waktu nyala api (s)	<i>Burning rate</i> (mm ² /s)
1	1.83	1.890
2	1.54	2.246
3	1.65	2.097
4	1.57	2.204
5	1.69	2.047
rata-rata	1.656	2.089

Tabel 4.10 Data *burning rate* sampel 80% minyak dan 20% etanol

No.	Waktu nyala api (s)	<i>Burning rate</i> (mm ² /s)
1	1.25	2.768
2	1.13	3.062
3	1.34	2.582
4	1.21	2.859
5	1.34	2.582
rata-rata	1.254	2.759

Tabel 4.11 Data rata-rata *burning rate* setiap sampel minyak uji

No.	Presentase penambahan etanol (%)	Waktu nyala api rata-rata (s)	<i>Burning rate</i> rata-rata (mm ² /s)
1	0	2.72	1.274
2	5	2.652	1.305
3	10	1.962	1.763
4	15	1.656	2.089
5	20	1.254	2.759

Tabel 4.12 Data Karakteristik Solar

No.	Temperatur Maksimum (°C)	<i>Ignition Delay Time</i> (s)	Waktu Nyala Api (s)	<i>Burning Rate</i> (mm ² /s)
1	469	9.67	1.21	2.859
2	446	9.31	1.18	2.932
3	473	10.11	1.34	2.582
4	491	10.65	1.46	2.370
rata-rata	469.75	9.935	1.298	2.686

4.2.2 Pengolahan Data Visualisasi Nyala Api

Data visualisasi nyala api meliputi data tinggi, lebar, dan warna api pembakaran yang dihasilkan dari masing-masing sampel minyak uji. Pengolahan data visualisasi nyala api dilakukan dengan menggunakan *software Video to JPG Converter* untuk mengkonversi video menjadi gambar dan *software AutoCad* untuk memberikan dimensi pada api yang dihasilkan dari proses pembakaran *droplet* minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*)

Proses pengkonversian video pembakaran minyak biji karet menjadi gambar digunakan *software Video to JPG Converter*. Video tersebut dipotong dengan kecepatan 100 fpm (*frame per second*) artinya dalam satu

detik video dihasilkan 100 gambar diam yang memiliki format JPG. Proses pengkonversian video menjadi gambar diam berformat JPG secara rinci dijelaskan di bawah ini :

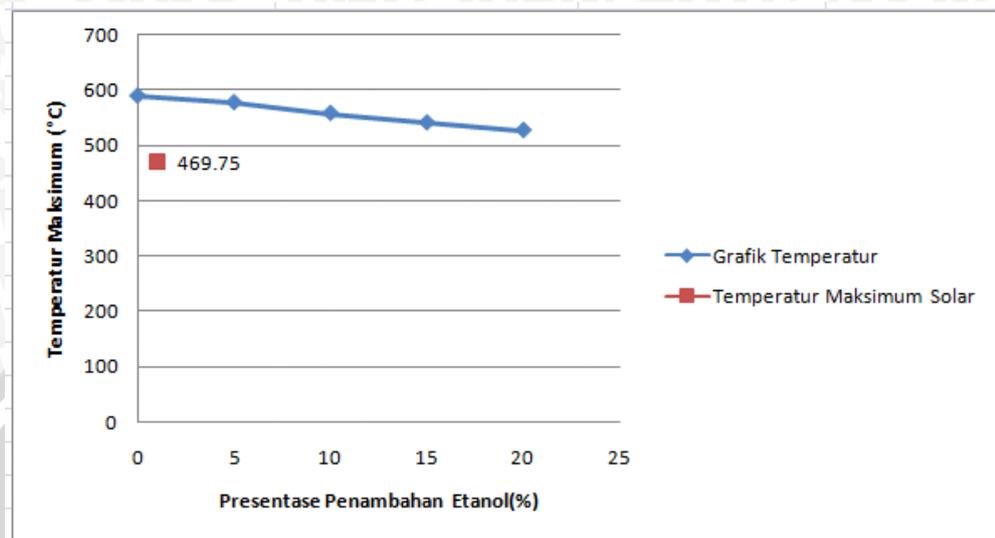
1. Memindahkan (*transfer*) file video dari kamera ke dalam komputer
2. Memilih file video yang akan di *convert* menjadi gambar diam dengan cara memilih “*add file*” pada menu utama *software Video to JPG*
3. Pilih besar fps senilai 100 untuk mengkonversikan 1 detik video menjadi 100 gambar diam
4. Klik process untuk mulai mengkonversikan video menjadi gambar diam
5. Dihasilkan beberapa gambar diam hasil konversi yang kemudian disimpan di *folder* tertentu pada computer.

Proses pemberian dimensi pada gambar visualisasi api pembakaran digunakan *software AutoCad*. Mula-mula dipilih satu gambar api dari hasil konversi dari video menjadi gambar diam yang menunjukkan kondisi dimana api mencapai tinggi maksimum. Kemudian dimensi api dibandingkan dengan dimensi sebenarnya dari kabel termokopel yang telah diukur dimensi aslinya sehingga dimensi sebenarnya dari tinggi dan lebar api dapat diketahui dengan memberikan garis dimensi pada *software AutoCad* tersebut.



4.3 Analisa dan Pembahasan Penelitian

4.3.1 Analisa dan Pembahasan Data Temperatur Maksimum



Gambar 4.1 Hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan temperatur maksimum (°C)

Gambar 4.1 di atas menunjukkan bahwa grafik hubungan antara presentase etanol (%) dengan temperatur maksimum (°C) memiliki kecenderungan turun. Nilai temperatur maksimal paling tinggi dihasilkan pada sampel minyak tanpa campuran yaitu sebesar 589.48 °C, sampel minyak dengan penambahan 5% etanol memiliki temperatur maksimal sebesar 577.54 °C, sampel minyak dengan penambahan 10% etanol memiliki temperatur maksimal sebesar 558.1°C, sampel minyak dengan penambahan 15% etanol memiliki temperatur maksimal 540.98°C, dan temperatur maksimal terkecil yang dihasilkan ada pada sampel minyak dengan penambahan 20% etanol yaitu sebesar 527 °C. Solar memiliki temperatur maksimum sebesar 469.75 °C.

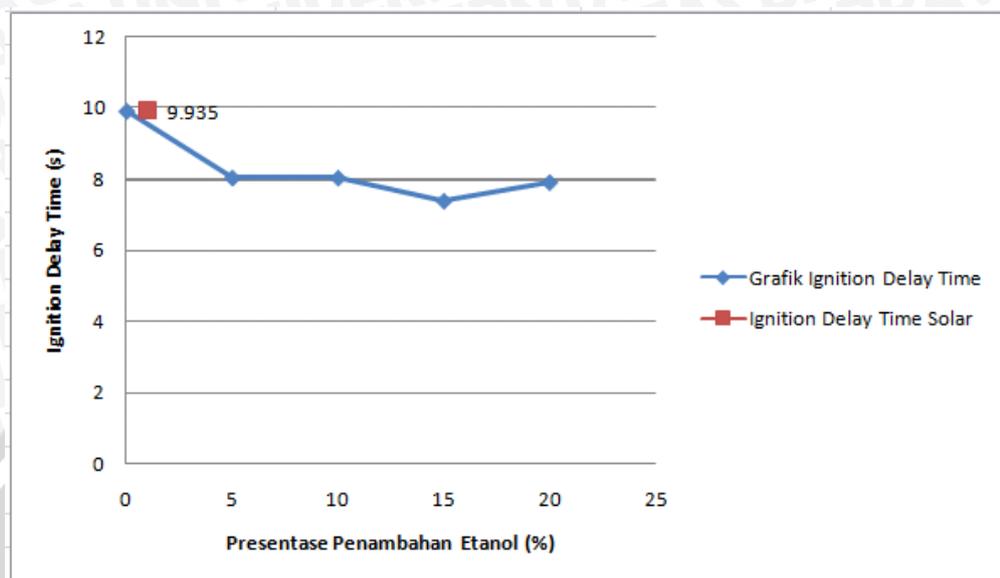
Dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa grafik tersebut memiliki kecenderungan menurun, hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak etanol yang dicampurkan kedalam minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) mengakibatkan semakin turunnya temperatur maksimal yang dihasilkan. Turunnya temperatur maksimal yang dihasilkan pada pembakaran *droplet*

minyak biji karet dikarenakan etanol memiliki gugus hidroksil OH⁻ yang artinya etanol memiliki kandungan air cukup banyak sehingga semakin banyak presentase etanol yang ditambahkan pada minyak sampel maka akan semakin banyak pula air yang dicampurkan kedalam minyak sampel sehingga temperatur maksimal dari pembakaran minyak sampel akan semakin turun. Kandungan air pada etanol dibuktikan pada proses pembuatan etanol dari etena (etilena) dengan “penambahan air” kedalam etena yang akan mengubah etena menjadi etanol (id.wikipedia.org/wiki/Bahan_bakar_etanol/). Faktor lain yang menunjang penyebab turunnya temperatur maksimal dari pembakaran dari minyak yang ditambahkan etanol adalah alasan bahwa etanol bersifat higroskopis, yang artinya etanol akan menyerap uap air langsung dari atmosfer sehingga tingkat keenceran etanol pun akan bertambah jika etanol tersebut mengalami kontak langsung dengan udara sekitar. Akibat dari sifat higroskopis etanol tersebut adalah kandungan air yang telah dimiliki etanol sebelumnya akan bertambah jika etanol mengalami kontak langsung dengan udara sekitar.

Penurunan temperatur maksimum yang dihasilkan pada pembakaran minyak sampel disebabkan juga karena nilai kalor yang dimiliki oleh etanol lebih kecil daripada nilai kalor yang dimiliki minyak biji karet. Nilai kalor yang dimiliki etanol sebesar 21.017 kJ/kg sedangkan nilai kalor minyak biji karet sebesar 34.589 kJ/kg. Perbedaan nilai kalor di atas menyebabkan campuran antara etanol dan minyak biji karet memiliki nilai kalor yang lebih kecil daripada minyak biji karet yang tidak dicampur etanol. Semakin banyak etanol yang ditambahkan maka semakin turun nilai kalor campuran tersebut dari nilai kalor awal minyak biji karet tanpa campuran.

Dari beberapa penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa temperatur maksimal yang dihasilkan oleh pembakaran *droplet* minyak sampel berbanding terbalik dengan presentase penambahan etanol ke dalam minyak sampel, artinya semakin besar presentase etanol yang ditambahkan ke dalam minyak sampel akan mengakibatkan turunnya nilai temperatur maksimum yang dihasilkan dari proses pembakaran minyak sampel.

4.3.2 Analisa dan Pembahasan Data *Ignition Delay Time*

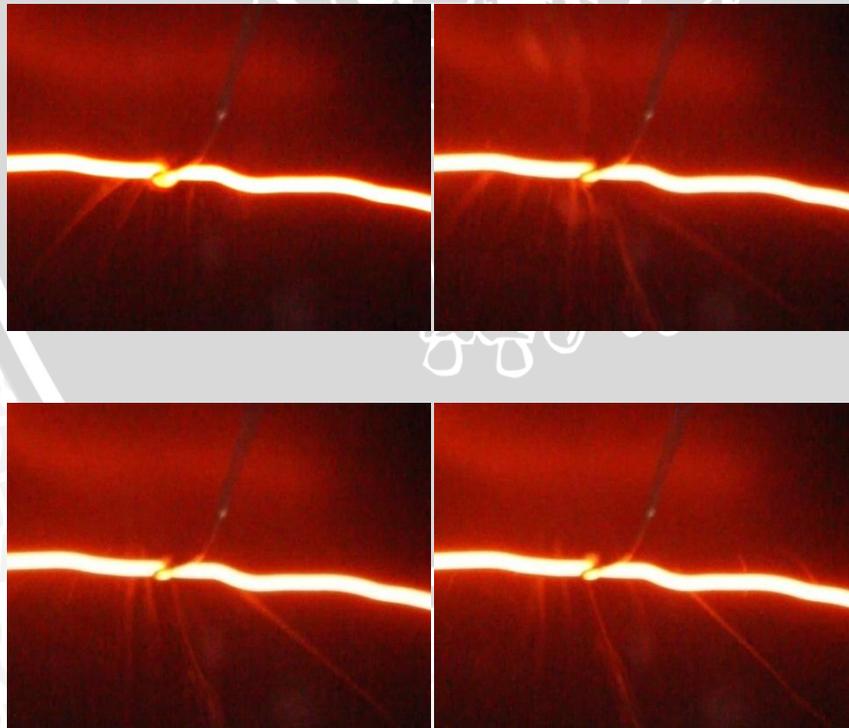


Gambar 4.2 Hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan *ignition delay time* (s)

Gambar 4.2 di atas menunjukkan bahwa grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan *ignition delay time* (s) memiliki kecenderungan menurun dari sampel minyak tanpa campuran hingga minyak dengan penambahan 15% etanol, kemudian nilai *ignition delay time* naik kembali pada sampel minyak dengan penambahan 20% etanol. Nilai *ignition delay time* terbesar dihasilkan pada sampel minyak tanpa campuran yaitu sebesar 9.92 sekon dan nilai *ignition delay time* terkecil dihasilkan pada sampel minyak dengan penambahan 15% etanol yakni sebesar 7.386 sekon.

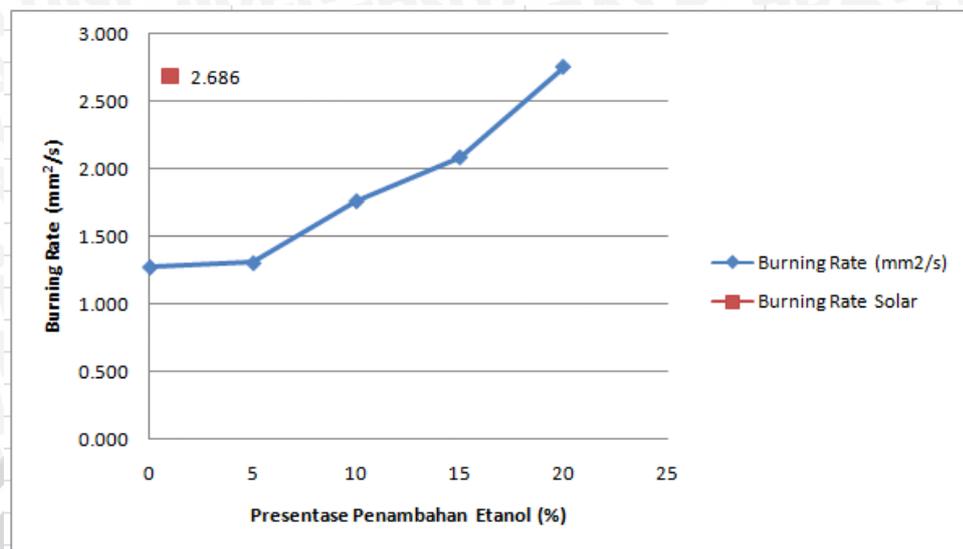
Dapat dilihat dari grafik 4.2 di atas bahwa grafik memiliki kecenderungan menurun dari titik 1 ke titik 4 kemudian mengalami kenaikan pada titik 5. Penurunan yang ditunjukkan pada grafik 4.2 di atas menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan *droplet* hingga *droplet* mulai terbakar semakin cepat, artinya waktu yang dibutuhkan *droplet* untuk mulai terbakar semakin cepat seiring semakin banyaknya etanol yang ditambahkan ke minyak sampel. Penurunan grafik 4.2 di atas disebabkan oleh kandungan etanol yang memiliki banyak atom oksigen

menyebabkan campuran etanol yang lebih banyak akan mempermudah dan mempercepat proses pembakaran *droplet* minyak, mengingat bahwa setiap proses pembakaran sangat membutuhkan sejumlah oksigen agar proses pembakaran itu terjadi. Penurunan nilai *ignition delay time* ini dipengaruhi pula dengan fenomena penurunan temperatur maksimum pada grafik sebelumnya, karena *ignition delay time* itu sendiri diartikan sebagai waktu yang dibutuhkan sebuah *droplet* hingga mulai terbakar, semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mulai membakar sebuah *droplet* maka nilai temperatur maksimum yang dapat dicapai pun semakin rendah. Pada titik ke-5, pada penambahan etanol sebesar 20%, grafik menunjukkan peningkatan dari titik sebelumnya. Hal ini terjadi karena pada sampel minyak dengan penambahan etanol sebesar 20% terjadi ledakan-ledakan kecil sebelum *droplet* mulai terbakar, ledakan-ledakan tersebut memperpanjang waktu *ignition delay* untuk memulai pembakaran minyak. Jadi sebelum *droplet* campuran minyak mengalami pembakaran, diawali dahulu dengan proses ledakan-ledakan kecil setelah itu campuran minyak sampel mulai terbakar.



Gambar 4.3 Ledakan pada pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 20%

4.3.3 Analisa dan Pembahasan Data *Burning Rate*



Gambar 4.4 Hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan *burning rate* (mm²/s)

Gambar 4.3 di atas menunjukkan bahwa grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan *burning rate* (mm²/s) memiliki kecenderungan naik. Nilai *burning rate* terkecil dihasilkan oleh sampel minyak tanpa penambahan etanol (100% minyak, 0% etanol) yakni sebesar 1.274 mm²/s dan nilai *burning rate* terbesar dihasilkan oleh sampel minyak dengan penambahan etanol 20% (80% minyak, 20% etanol). *Burning rate* yang dihasilkan pada pembakaran solar yakni sebesar 2.686 mm²/s. *Burning rate* sendiri diartikan sebagai kecepatan pembakaran sebuah *droplet* berdiameter tertentu hingga *droplet* terbakar habis.

Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa nilai *burning rate* semakin meningkat seiring dengan semakin banyaknya etanol yang ditambahkan kedalam minyak sampel, hal ini dapat diartikan bahwa semakin banyak etanol yang ditambahkan ke dalam minyak sampel menyebabkan *droplet* akan cepat habis terbakar atau semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk membakar habis *droplet* minyak sampel. Peristiwa tersebut disebabkan oleh semakin banyaknya etanol yang ditambahkan ke dalam minyak sampel

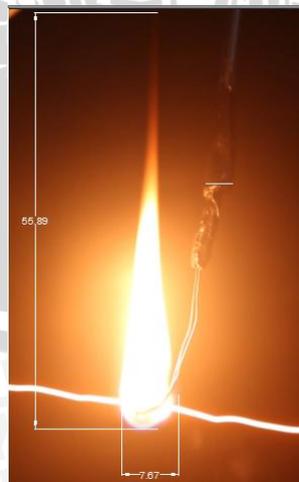
menyebabkan jumlah minyak yang akan terbakar menjadi semakin sedikit, sehingga untuk membakar habis minyak sampel hanya akan dibutuhkan waktu yang lebih sedikit. Karena dalam proses pembakaran, saat *heater* mulai dinyalakan, panas dari heater akan terlebih dahulu menguapkan etanol yang dikandung dalam campuran dan kemudian diikuti dengan peristiwa pembakaran minyak menjadi api. Sehingga jumlah minyak yang terbakar menjadi api pada minyak sampel tanpa etanol lebih banyak daripada minyak sampel dengan penambahan etanol sebesar 20%. Maka dibutuhkan waktu lebih banyak untuk membakar habis minyak tanpa campuran daripada minyak dengan penambahan etanol 5%, 10%, 15%, dan 20%.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan *burning rate* (mm^2/s) adalah berbanding lurus, artinya semakin banyak etanol yang ditambahkan akan menyebabkan semakin naiknya nilai *burning rate* dari pembakaran *droplet* minyak tersebut.

4.3.4 Analisa dan Pembahasan Data Visualisasi Api Pembakaran

1. Analisa dan Pembahasan Data Visualisasi Tinggi dan Lebar Api Pembakaran

- a. Minyak tanpa penambahan etanol (100% minyak, 0% etanol)



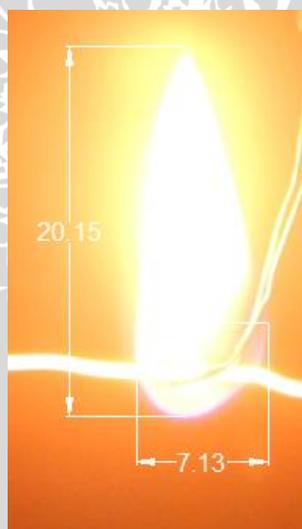
Gambar 4.5 Visualisasi api pembakaran sampel minyak tanpa penambahan etanol (0% etanol)

- b. Minyak dengan penambahan etanol 5% (95% minyak, 5% etanol)



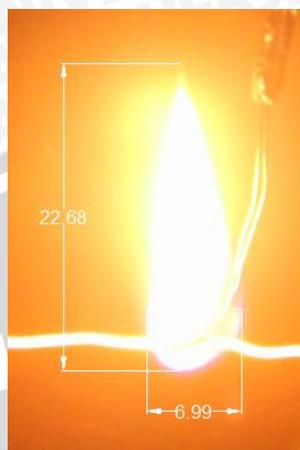
Gambar 4.6 Visualisasi api pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 5%

- c. Minyak dengan penambahan etanol 10% (90% minyak, 10% etanol)



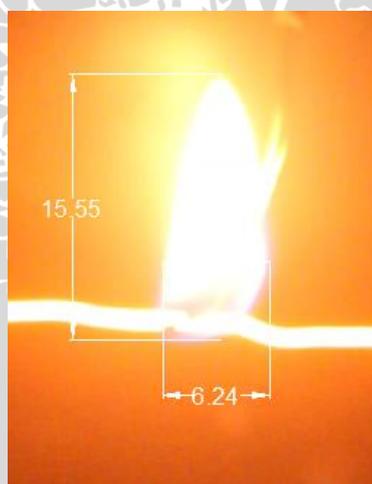
Gambar 4.7 Visualisasi api pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 10%

- d. Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol sebanyak 15% (85% minyak, 15% etanol)



Gambar 4.8 Visualisasi api pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 15%

- e. Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol sebanyak 20% (80% minyak, 20% etanol)



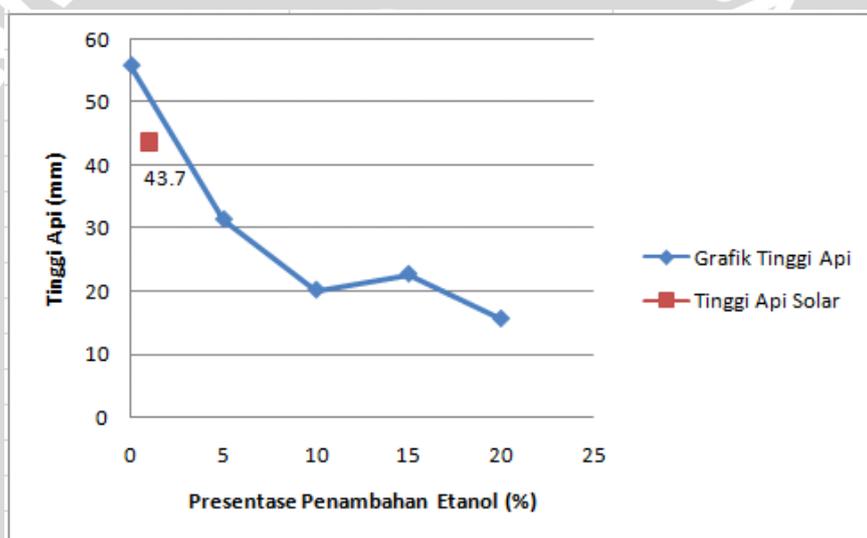
Gambar 4.9 Visualisasi api pembakaran sampel minyak dengan penambahan etanol 20%

Berikut ini adalah tabel 4.12 mengenai data tinggi dan lebar api pembakaran yang dihasilkan

Tabel 4.13 Data tinggi dan lebar api pembakaran yang dihasilkan

No.	Presentase etanol (%)	Tinggi Api Pembakaran (mm)	Lebar Api Pembakaran (mm)
1	0	55.89	7.67
2	5	31.37	8.44
3	10	20.15	7.13
4	15	22.68	6.99
5	20	15.55	6.24

• Analisa dan Pembahasan Data Visualisasi Tinggi Api Pembakaran

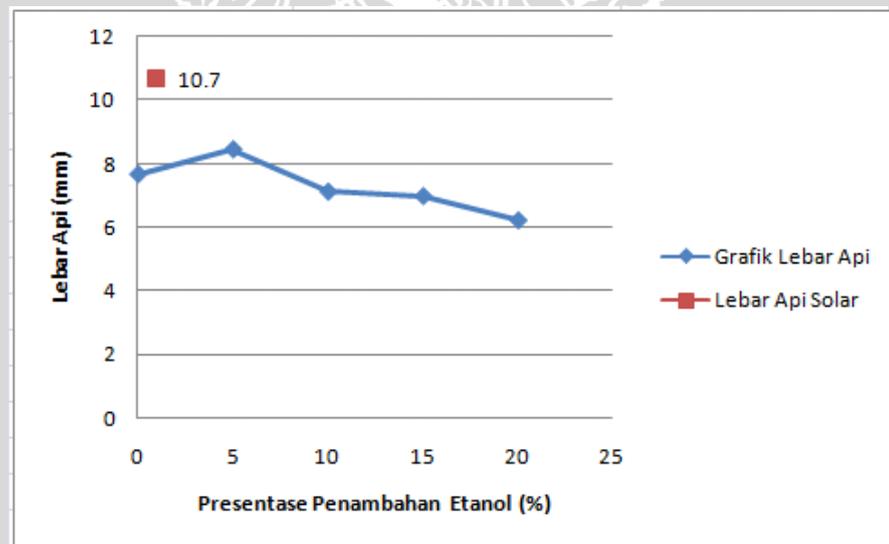


Gambar 4.10 Grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan tinggi api (mm)

Grafik di atas menunjukkan bahwa hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan tinggi api pembakaran (mm) yang dihasilkan memiliki kecenderungan menurun. Minyak sampel tanpa penambahan etanol menghasilkan tinggi api paling besar yakni sebesar 55.89 mm dan minyak sampel dengan penambahan etanol 20% menghasilkan tinggi api paling kecil yakni sebesar 15.55 mm.

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar presentase etanol yang ditambahkan ke dalam minyak sampel maka akan mengakibatkan semakin menurunkan tinggi api yang dihasilkan, hal ini disebabkan karena jumlah minyak yang terbakar menjadi api menjadi semakin sedikit karena presentase etanol yang ditambahkan semakin besar. Saat *heater* mulai dinyalakan, panas dari *heater* perlahan-lahan meningkat dan menguapkan etanol perlahan-lahan sehingga menyisakan minyak yang akan terbakar menjadi api. Semakin banyak etanol yang ditambahkan artinya semakin sedikit minyak yang akan terbakar menjadi api. Maka dari itulah tinggi api pembakaran yang dihasilkan akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya presentase etanol yang ditambahkan.

- Analisa dan Pembahasan Data Visualisasi Lebar Api Pembakaran



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan lebar api (mm)

Grafik di atas menunjukkan bahwa hubungan antara presentase penambahan etanol (%) dengan lebar api pembakaran (mm) yang

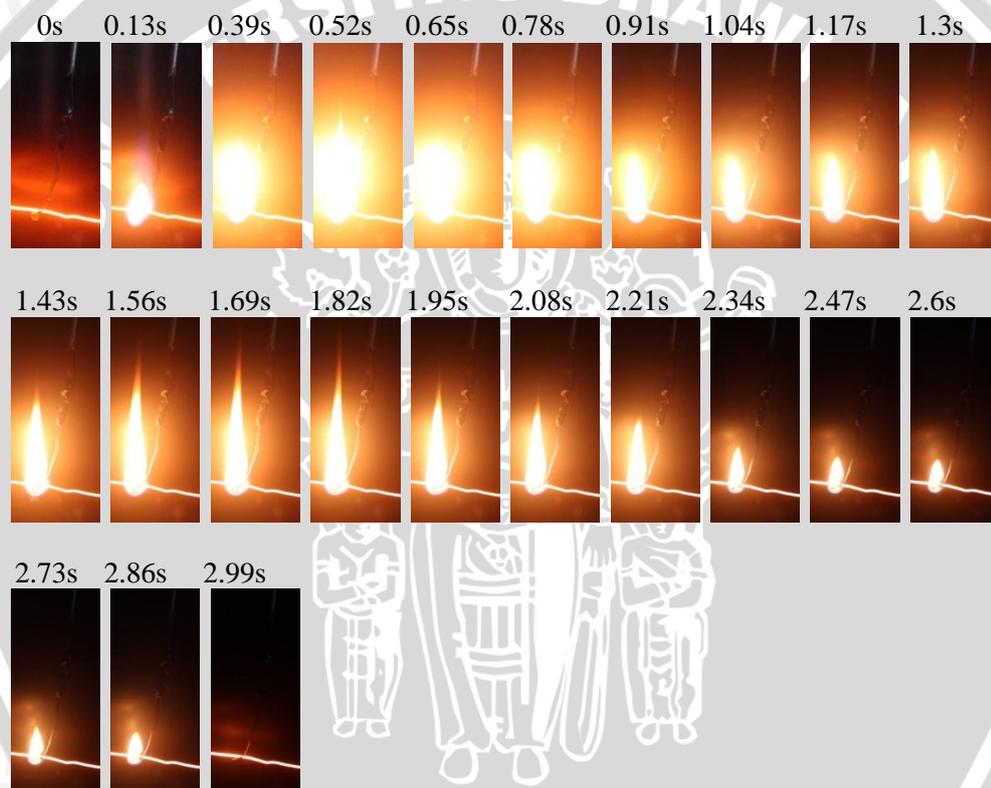
dihasilkan mmemiliki kecenderungan menurun. Minyak sampel dengan penambahan etanol 5% menghasilkan lebar api paling besar yakni sebesar 8.44 mm dan minyak sampel dengan penambahan etanol 20% menghasilkan lebar api paling kecil yakni sebesar 6.24 mm.

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar presentase etanol yang ditambahkan ke dalam minyak sampel maka akan mengakibatkan semakin mengecilkan lebar api yang dihasilkan, sama halnya dengan analisa dan pembahasan tinggi api sebelumnya, hal ini disebabkan karena jumlah minyak yang terbakar menjadi api menjadi semakin sedikit karena presentase etanol yang ditambahkan semakin besar. Saat *heater* mulai dinyalakan, panas dari *heater* perlahan-lahan meningkat dan menguapkan etanol perlahan-lahan sehingga menyisakan minyak yang akan terbakar menjadi api. Semakin banyak etanol yang ditambahkan artinya semakin sedikit minyak yang akan terbakar menjadi api. Maka dari itulah lebar api pembakaran yang dihasilkan akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya presentase etanol yang ditambahkan. Grafik tinggin dan lebar api sangat berhubungan dengan grafik *burning rate*, dimana *burning rate* menunjukkan seberapa cepat sebuah *droplet* dengan ukuran tertentu dapat habis terbakar. Semakin tinggi nilai *burning rate* menunjukkan bahwa semakin cepat *droplet* tersebut habis terbakar. Semakin kecilnya dimensi api pembakaran yang dihasilkan menunjukkan bahwa semakin cepat *droplet* tersebut habis terbakar atau tidak dibutuhkan waktu yang lama untuk menghabiskan sebuah *droplet*.

f. Analisa dan Pembahasan Data Visualisasi Nyala Api Pembakaran

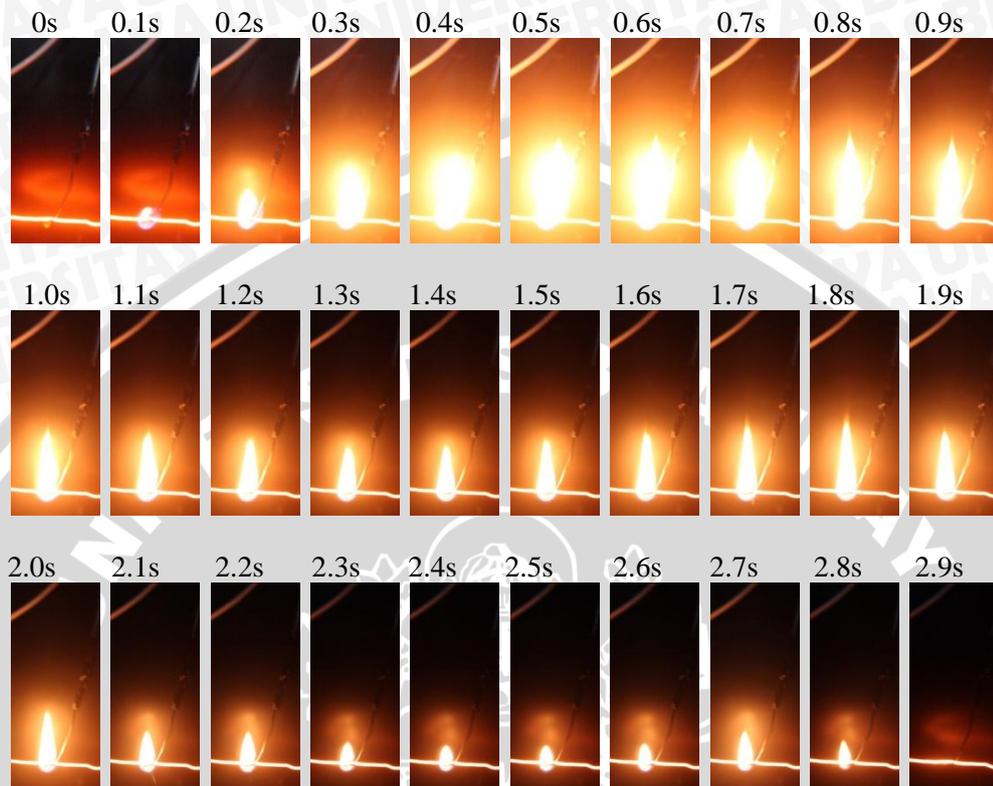
Berikut ini merupakan analisa visualisasi yang menunjukkan perubahan bentuk nyala api yang dihasilkan selama selang waktu pembakaran droplet minyak biji karet esterifikasi tanpa penambahan etanol hingga minyak biji karet esterifikasi dengan penambahan etanol 20%.

- ❖ Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi tanpa penambahan etanol (100% minyak, 0% etanol)



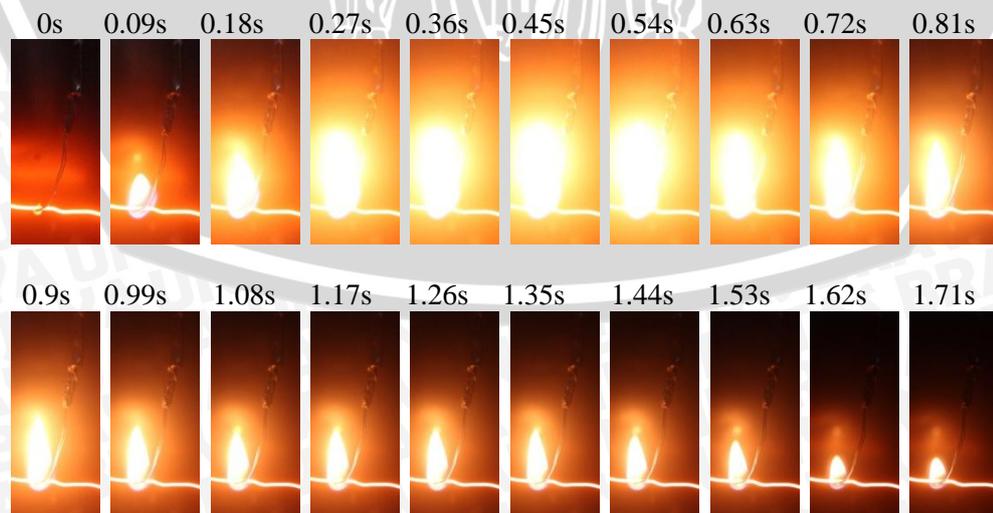
Gambar 4.12 Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet tanpa penambahan etanol

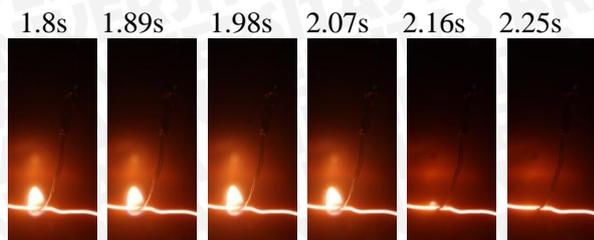
❖ Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol 5 (95% minyak, 5% etanol)



Gambar 4.13 Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet dengan penambahan etanol 5%

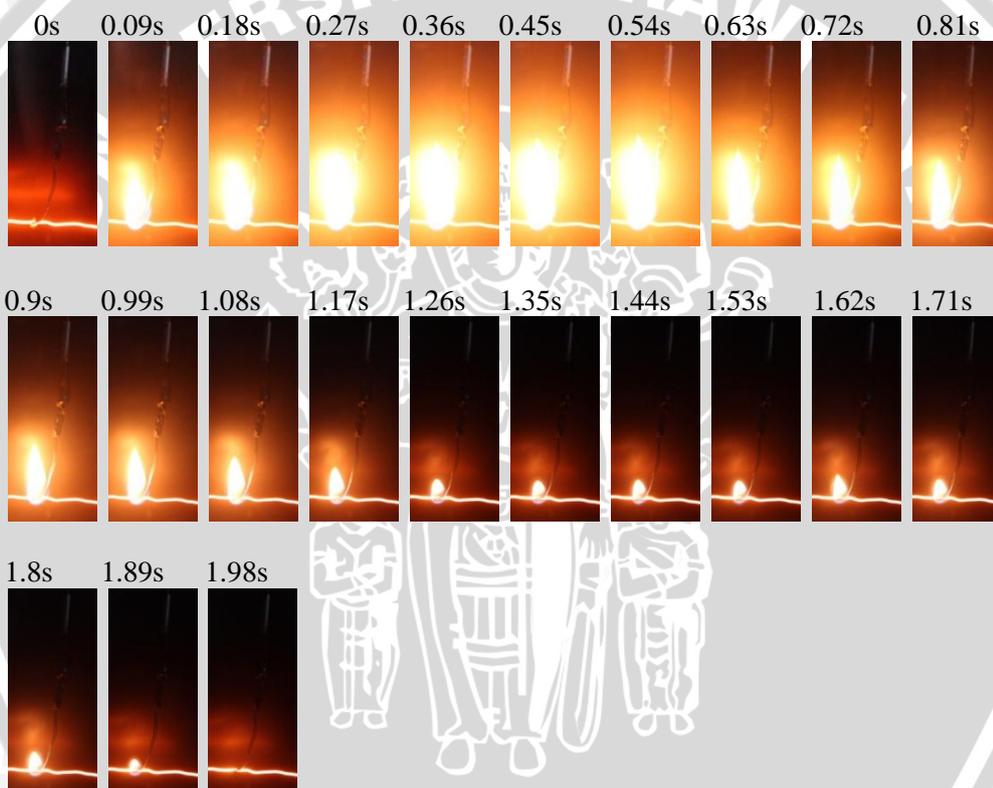
❖ Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol 10% (90% minyak, 10% etanol)





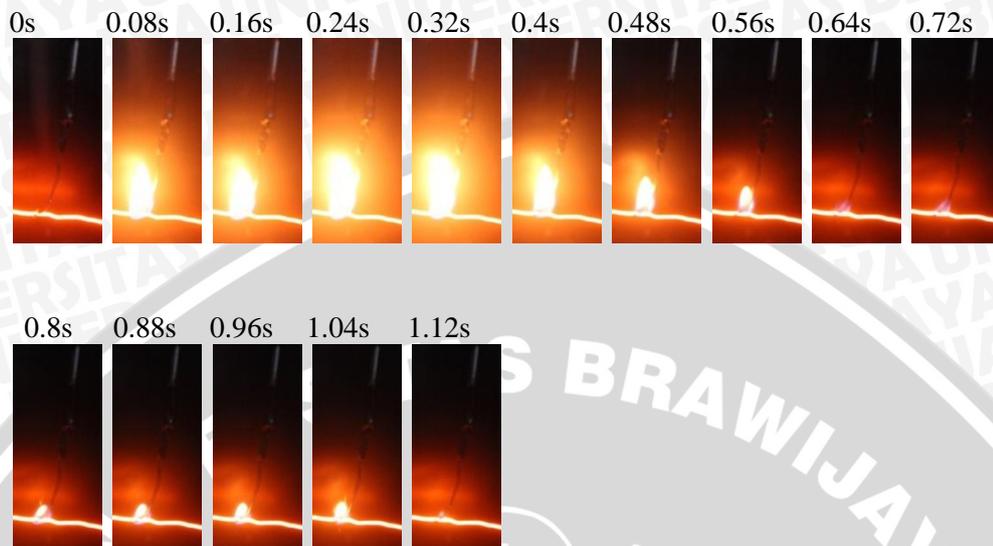
Gambar 4.14 Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet dengan penambahan etanol 10%

❖ Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol 15% (85% minyak, 15% etanol)



Gambar 4.15 Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet dengan penambahan etanol 15%

- ❖ Minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi dengan penambahan etanol 20% (80% minyak, 20% etanol)



Gambar 4.16 Visualisasi nyala api pembakaran minyak biji karet dengan penambahan etanol 20%

Dari serangkaian gambar visualisasi nyala api pembakaran di atas dihitung jumlah *frame* yang dihasilkan mulai dari awal *droplet* terbakar hingga *droplet* habis terbakar seutuhnya. Pada sampel minyak biji karet tanpa penambahan etanol dihasilkan 23 *frame*. Mulai dari sampel minyak penambahan 5% etanol hingga 20% etanol, jumlah *frame* yang dihasilkan semakin lama semakin sedikit, yakni pada penambahan etanol 5% dihasilkan 30 *frame*, penambahan etanol 10% dihasilkan 26 *frame*, penambahan etanol 15% dihasilkan 23 *frame*, dan penambahan etanol 20% dihasilkan 15 *frame*. Jumlah *frame* yang dihasilkan pada setiap pembakaran minyak sampel menunjukkan bahwa proses pembakaran *droplet* hingga habis. Semakin banyak *frame* yang dihasilkan maka proses pembakaran akan memakan waktu yang lebih lama pula. Semakin banyak presentase etanol menghasilkan jumlah *frame* yang semakin sedikit, hal ini dikarenakan semakin banyaknya etanol yang dicampurkan maka presentase minyak yang ada pada *droplet* akan semakin sedikit, oleh karena itu minyak yang dibakar menjadi api akan

semakin sedikit sehingga *droplet* tersebut semakin cepat untuk terbakar habis atau menghasilkan *frame* yang sedikit.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengamatan dan analisis terhadap grafik hasil percobaan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan etanol pada minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi menyebabkan semakin turunnya temperatur maksimum pembakaran karena etanol sendiri memiliki gugus OH⁻ yang artinya etanol memiliki kandungan air cukup banyak sehingga dengan menambahkan etanol pada minyak sampel dapat menurunkan temperatur maksimum yang dicapai pada pembakaran. Sifat higroskopis yang dimiliki etanol membuat kandungan air pada etanol semakin banyak karena sifat higroskopis etanol tersebut membuat etanol menyerap uap air langsung dari atmosfer.
2. Penambahan etanol pada biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi menyebabkan semakin turunnya nilai *ignition delay time* pembakaran, artinya waktu yang dibutuhkan *droplet* untuk mulai terbakar semakin cepat. Hal ini dikarenakan oleh kandungan etanol yang memiliki banyak atom oksigen yang membuat pembakaran akan semakin mudah terjadi.
3. Penambahan etanol pada biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi menyebabkan meningkatnya nilai *burning rate*, artinya semakin sedikit waktu yang dibutuhkan untuk membakar habis sebuah *droplet*. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak etanol yang ditambahkan menyebabkan semakin sedikit presentase minyak yang terbakar sehingga waktu yang dibutuhkan untuk membakar habis sebuah *droplet* menjadi semakin singkat.
4. Penambahan etanol biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil esterifikasi menyebabkan menurunnya ukuran api pembakaran yang dihasilkan baik tinggi maupun lebar api. Hal tersebut dikarenakan semakin banyaknya etanol yang ditambahkan menyebabkan semakin sedikit presentase minyak yang terbakar sehingga ukuran api yang dihasilkan akan semakin kecil.

1.2 Saran

1. Proses pengambilan data sebaiknya menggunakan alat ukur yang memiliki tingkat kesensitifan dan keakurasian yang lebih tinggi agar data yang dihasilkan lebih akurat dan valid.
2. Proses pengambilan data sebaiknya dilakukan lebih teliti agar didapatkan data yang lebih akurat.
3. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pembakaran minyak dari sumber nabati lain
4. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pembakaran *droplet* minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) dengan variasi penambahan etanol yang lebih besar.
5. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pembakaran *droplet* minyak nabati dengan kondisi ruang vakum.



DAFTAR PUSTAKA

- A, Chairil, et al; 2007: *Biodiesel from CPO and Application as Blending Components*; 3rd Asian Petroleum Technology Symposium Program. Jakarta. http://www.pecj.or.jp/japanese/division/division09/asia_symp_3rd/pdf_3rd/25_LEMIGAS_MrChairilAnwar.pdf (diakses tanggal 1 Agustus 2014)
- Choi, M.Y., and Dyer, F.L; 2001: *Microgravity Combustion : Fire in Free Fall* (Howard Ross, ed.) Academic Press
- Demirbas, A; 2007: *Biodiesel Fuel from Vegetable Oil via Catalytic and non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications and other Methods; A Survey. Energy Conversion and Management 44 2093-2109*
- Halliday,. and Resnick; 1991: *Fisika Jilid I*: PT. Erlangga, Jakarta
- Holmann, J.P; 1984: *Metode Pengukuran Teknik* : PT. Erlangga.Jakarta
- Kataren, S; 1986: *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*; UI-Press, Jakarta
- Keneth K. Kuo; 1986: *Principles of Combustion*
- Mittlebach, Martin; 2004: *Biofuel from waste and non-edible feedstock*; Department of Renewable Resources University of Graz, Austria
- Prihandana, Rama, dkk; 2006: *Menghasilkan Biodiesel Murah*; Agromedia Pustaka, Jakarta
- Ralph H, Petrucci; 1996; *Kimia Dasar*; Erlangga, Jakarta
- Soerawidjaja, Tatang H; 2006: *Fondasi-Fondasi Ilmiah dan Keteknikan dari Teknologi Pembuatan Biodiesel; Handout Seminar Nasional "Biodiesel sebagai Energi Alternatif Masa Depan"*. press UGM, Yogyakarta
- Wardana, I.N.G; 2008; *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*; PT. Danar Wijaya – Brawijaya University Press, Malang

Zandy, Agustinus; 2007: *Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel*; ITB & PT.
Rekayasa Industri

http://journeytoforever.org/biofuel_library/transesterification%20paper.pdf

(diakses tanggal 1 Agustus 2014)

<https://bengkeltip.wordpress.com/2011/12/22/mengenal-tanaman-karet/> (diakses
pada tanggal 2 Agustus 2014)

http://en.wikipedia.org/wiki/Hevea_brasiliensis (diakses pada tanggal 2 Agustus
2014)

<http://www.nmri.go.jp/> (diakses pada 2 Agustus 2014)

<http://www.capitalanalytical.com> (diakses pada tanggal 5 Agustus 2014)

<https://www.omega.com/pptst/OM-DAQPRO-5300.html> (diakses pada tanggal 5
Agustus 2014)

