

**PENGARUH PANJANG RANTAI ATOM KARBON DAN JUMLAH
IKATAN RANGKAP TERHADAP KARAKTERISTIK
PEMBAKARAN *DROPLET FATTY ACID METHYL ESTER***

**SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**BENEDICT AMADEUS VALENTINO
NIM. 165060207111020**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2020**



LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PANJANG RANTAI ATOM KARBON DAN JUMLAH IKATAN RANGKAP TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET FATTY ACID METHYL ESTER*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



BENEDICT AMADEUS VALENTINO

NIM. 165060207111020

Skripsi telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 24 Juli 2020

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT.
NIP. 19750702 200003 2 001

Dosen Pembimbing II

Winarto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19710710 200012 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Sarjana

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 24 Juli 2020

Mahasiswa,



Benedict Amadeus Valentino

NIM. 165060207111020



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 052/UN10.F07.12.21/PP/2020

Sertifikat ini diberikan kepada :

BENEDICT AMADEUS VALENTINO

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH PANJANG RANTAI ATOM KARBON DAN JUMLAH IKATAN
RANGKAP TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET FATTY
ACID METHYL ESTER***

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **18 AUG 2020**



Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng Mega Nur Sasongko, ST, MT
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI :**PENGARUH PAN JANG RANTAI ATOM KARBON DAN JUMLAH IKATAN RANGKAP TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET FATTY ACID METHYL ESTER***

Nama Mahasiswa : Benedict Amadeus Valentino
NIM : 165060207111020
Program Studi : Teknik Mesin
Konsentrasi : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Dosen Pembimbing I : Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.
Dosen Pembimbing II : Winarto, ST., MT., Ph.D.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Redi Bintarto, ST., M.Eng.Pract

Tanggal Ujian : 09 Juli 2020
SK Penguji : 1239/UN10.F07/SK/2020



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Minyak Nabati.....	6
2.2.1 Minyak Jarak.....	7
2.2.2 Minyak Kelapa Sawit.....	8
2.2.3 Minyak Kelapa.....	9
2.3 Panjang Rantai Karbon.....	10
2.4 Ikatan Rangkap.....	10
2.5 Biodiesel.....	11
2.6 Asam Lemak.....	14
2.6.1 Asam Oleat.....	15
2.6.2 Asam Palmitat.....	16
2.6.3 Asam Linoleat.....	16
2.6.4 Asam Laurat.....	17
2.6.5 Asam Miristat.....	18
2.6.6 Asam Stearat.....	18
2.7 <i>Fatty Acid Methyl Ester (FAME)</i>	19
2.7.1 Metil Oleat.....	20
2.7.2 Metil Palmitat.....	20
2.7.3 Metil Stearat.....	21
2.7.4 Metil Linoleat.....	21

2.7.5	Metil Laurat	22
2.7.6	Metil Miristat	22
2.8	Esterifikasi	22
2.9	Pembakaran	24
2.10	Pembakaran <i>Droplet</i>	24
2.11	Karakteristik Pembakaran	25
2.12	Hipotesis	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Metode Penelitian	29
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.3	Variabel Penelitian	29
3.4	Alat-Alat Penelitian	30
3.5	Prosedur Pembuatan FAME (<i>Fatty Acid Methyl Ester</i>)	36
3.6	Diagram Alir Pembuatan FAME (<i>Fatty Acid Methyl Ester</i>)	36
3.7	Reaksi Esterifikasi	37
3.7.1	Reaksi Esterifikasi Asam Palmitat	37
3.7.1	Reaksi Esterifikasi Asam Oleat	37
3.7.1	Reaksi Esterifikasi Asam Stearat	37
3.7.1	Reaksi Esterifikasi Asam Linoleat	37
3.7.1	Reaksi Esterifikasi Asam Miristat	38
3.7.1	Reaksi Esterifikasi Asam Laurat	38
3.8	Skema Instalasi Penelitian	39
3.9	Prosedur Pengambilan Data	40
3.10	Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Pengambilan dan Pengukuran Data Penelitian	43
4.2	Analisis dan Pembahasan	45
4.2.1	Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap <i>Fatty Acid Methyl Ester Terhadap Ignition Delay Time</i>	45
4.2.2	Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap <i>Fatty Acid Methyl Ester Terhadap Temperatur Droplet</i>	46
4.2.3	Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap <i>Fatty Acid Methyl Ester Terhadap Diameter Droplet</i>	48

4.2.4 Pengaruh Panjang Rantai Atom Karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap Terhadap Visualisasi Nyala Api.....49

4.2.5 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap *Burning Rate*.....54

BAB V PENUTUP.....57

5.1 Kesimpulan.....57

5.2 Saran.....57

DAFTAR PUSTAKA.....59



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Asam Lemak Minyak Jarak 8

Tabel 2.2 Karakteristik Minyak Jarak 8

Tabel 2.3 Komposisi Asam Lemak pada Minyak Kelapa Sawit 9

Tabel 2.4 Properti dari Minyak Kelapa Sawit 9

Tabel 2.5 Komposisi Minyak Kelapa 9

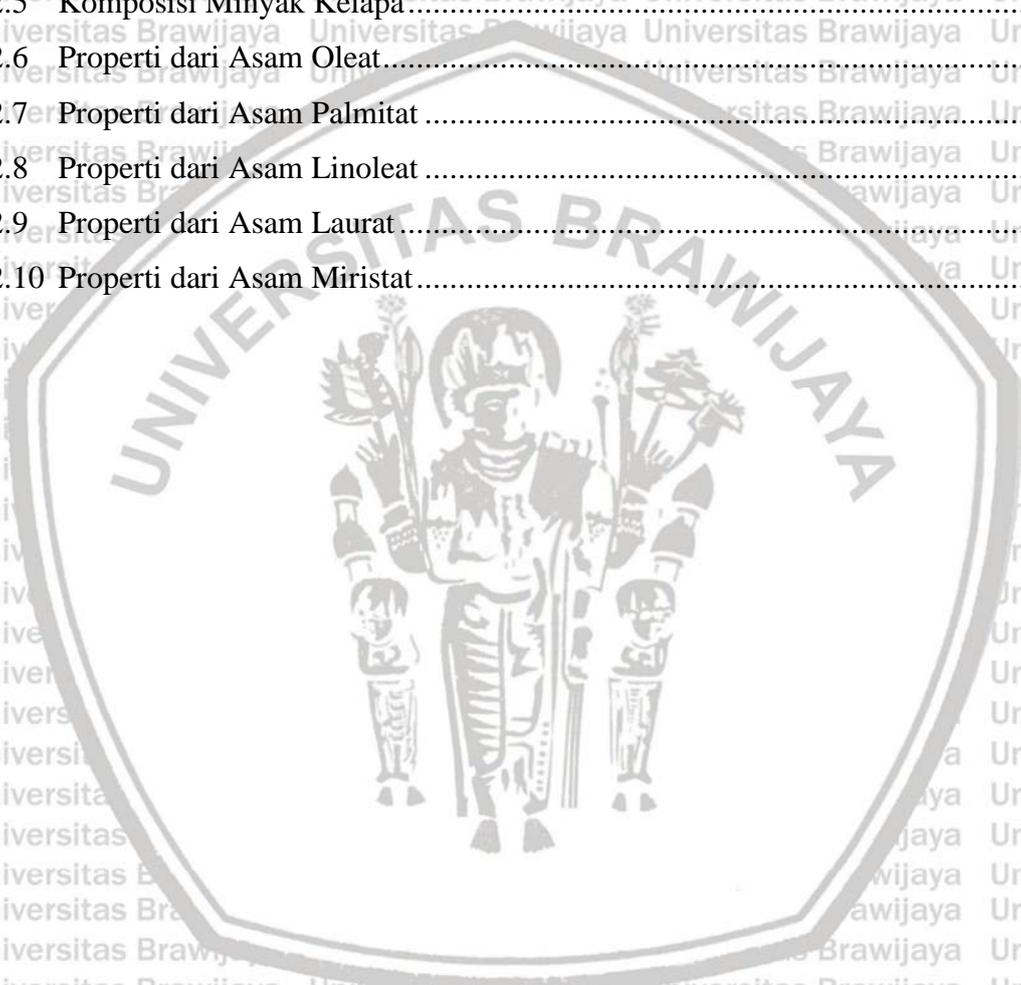
Tabel 2.6 Properti dari Asam Oleat 15

Tabel 2.7 Properti dari Asam Palmitat 16

Tabel 2.8 Properti dari Asam Linoleat 17

Tabel 2.9 Properti dari Asam Laurat 17

Tabel 2.10 Properti dari Asam Miristat 18



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pembuatan Minyak Jarak.....	8
Gambar 2.2	Proses Transesterifikasi Pada Trigliserida Dengan Alkohol.....	11
Gambar 2.3	Proses Pembuatan Biodiesel.....	12
Gambar 2.4	Standar ASTM Biodiesel.....	13
Gambar 2.5	Properti Biodiesel dari Beberapa Bahan Baku.....	13
Gambar 2.6	Angka Setana dari <i>Fatty Acid Methyl Ester</i> Pada Biodiesel.....	14
Gambar 2.7	<i>Physicochemical</i> Properties dari Asam Lemak.....	15
Gambar 2.8	Struktur Kimia Asam Oleat.....	15
Gambar 2.9	Struktur Kimia Asam Palmitat.....	16
Gambar 2.10	Struktur Kimia Asam Linoleat.....	17
Gambar 2.11	Struktur Kimia Asam Laurat.....	17
Gambar 2.12	Struktur Kimia Asam Miristat.....	18
Gambar 2.13	Struktur Metil Oleat.....	20
Gambar 2.14	Struktur Metil Palmitat.....	20
Gambar 2.15	Struktur Metil Stearat.....	21
Gambar 2.16	Struktur Metil Linoleat.....	21
Gambar 2.17	Struktur Metil Laurat.....	22
Gambar 2.18	Struktur Metil Miristat.....	22
Gambar 2.19	Reaksi Esterifikasi Pada Asam Lemak Bebas.....	23
Gambar 2.20	Teknik-teknik pembakaran <i>droplet</i>	25
Gambar 3.1	Alat Pengatur Volume <i>Droplet</i>	30
Gambar 3.2	Alat Suntik.....	30
Gambar 3.3	<i>Thermocouple</i>	31
Gambar 3.4	<i>Accumulator</i>	31
Gambar 3.5	Saklar.....	31
Gambar 3.6	<i>Heater</i>	32
Gambar 3.7	<i>Datalogger</i>	32
Gambar 3.8	Laptop.....	33
Gambar 3.9	Kamera.....	33
Gambar 3.10	<i>Tripod</i>	33
Gambar 3.11	Gelas Kimia.....	34
Gambar 3.12	Tabung Reaksi.....	34

Gambar 3.13 Timbangan Elektrik.....34

Gambar 3.14 *Burette*35

Gambar 3.15 *Hot Plate Stirrer*.....35

Gambar 3.16 Diagram Alir Pembuatan FAME36

Gambar 3.17 Skema Instalasi Penelitian39

Gambar 3.18 Diagram Alir Penelitian.....41

Gambar 4.1 Jarak Antara *Coil* dan *Thermocouple*43

Gambar 4.2 Contoh Pengukuran Diameter *Droplet*.....44

Gambar 4.3 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap *Ignition Delay Time*.....45

Gambar 4.4 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap Termperatur *Droplet*46

Gambar 4.5 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap Diameter *Droplet*48

Gambar 4.6 Visualisasi Pembakaran Metil Stearat49

Gambar 4.7 Visualisasi Pembakaran Metil Oleat49

Gambar 4.8 Visualisasi Pembakaran Metil Linoleat.....50

Gambar 4.9 Visualisasi Pembakaran Metil Palmitat50

Gambar 4.10 Visualisasi Pembakaran Metil Miristat51

Gambar 4.11 Visualisasi Pembakaran Metil Laurat.....51

Gambar 4.12 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap Tinggi Api.....52

Gambar 4.13 Pengaruh Panjang Rantai Atom Karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap Lebar Api.....53

Gambar 4.14 Laju Perubahan Luas Permukaan *Droplet* Terhadap Waktu54

Gambar 4.15 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap *Burning Rate Constant*55



RINGKASAN

Benedict Amadeus Valentino, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2020, Pengaruh Panjang Rantai Atom Karbon Dan Jumlah Ikatan Rangkap Terhadap Karakteristik Pembakaran *Droplet Fatty Acid Methyl Ester*, Dosen Pembimbing: Dr.Eng. Lilis Yuliati, ST., MT., dan Winarto, ST., MT., Ph.D.

Kebutuhan akan bahan bakar di seluruh sektor semakin besar setiap tahunnya, salah satu contohnya adalah peningkatan konsumsi minyak bumi. Pembakaran dari bahan bakar fosil adalah sumber utama terjadinya polusi udara yang mengandung CO, NO_x, SO_x, HC, senyawa partikulat, dan karsiogenik. Selain tidak ramah lingkungan, bahan bakar fosil juga merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Pemerintah harus mencari solusi berupa sumber energi baru yang dapat menggantikan bahan bakar fosil karena keterbatasannya. Salah satu sumber energi yang dapat dijadikan sebagai solusi untuk menggantikan bahan bakar fosil adalah biodiesel. Biodiesel sebagai bahan bakar alternatif yang dapat meningkatkan kondisi lingkungan dan membuat kontribusi tertentu dalam mendapatkan kesinambungan energi. Berdasarkan kondisi ini, maka diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik pembakaran dari setiap jenis *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang merupakan penyusun dari biodiesel.

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengamati dan menganalisa pembakar *droplet* FAME dimana *droplet* diletakan pada *thermocouple junction* yang berada diatas coil pemanas. Selama proses pembakaran *droplet*, video diambil menggunakan kamera agar visualisasi api pada *droplet* dapat dianalisa. Video yang telah diambil kemudian dipisahkan menjadi gambar-gambar yang kemudian dianalisa menggunakan software *ImageJ*. Selain visualisasi api, data temperatur pada saat proses pembakaran *droplet* diambil menggunakan *thermocouple* yang tersambung ke *datalogger*. Data yang diambil oleh *datalogger* kemudian diolah menggunakan software DAQNav-USB4718 dimana perubahan temperatur dapat terlihat.

Dalam penelitian ini ditemukan bahwa *ignition delay time* meningkat akibat peningkatan dari *flash point* yang menyebabkan penguapan terjadi lebih lama. Temperatur *droplet* mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya *higher heating value* yang dimiliki oleh *fatty acid methyl ester* tersebut. Tidak ada fluktuasi yang terjadi pada perubahan diameter *droplet* yang menyatakan laju penguapan. Tinggi api maksimum dan lebar api maksimum meningkat seiring dengan bertambah panjangnya rantai atom karbon pada *fatty acid methyl ester*, *fatty acid methyl ester* yang memiliki ikatan rangkap memiliki temperatur maksimum yang lebih tinggi karena *fatty acid methyl ester* tersebut memiliki *burning rate constant* yang lebih rendah. *Burning rate constant* mengalami kenaikan seiring dengan bertambah panjangnya rantai atom karbon.

Kata Kunci: *Droplet*, pembakaran, *fatty acid methyl ester*, *ignition delay time*, *burning rate*, temperatur pembakaran

SUMMARY

Benedict Amadeus Valentino, Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2020, *Effect of Carbon Atom Chain Length and Number of Double Bonds on Fatty Acid Methyl Ester Droplet Combustion Characteristics*, Advisor Lecturer: Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST., MT. and Winarto, ST., MT., Ph.D.

The need for fuel in all sectors is getting bigger every year, one example is the increase in oil consumption. Burning from fossil fuels is the main source of air pollution that contains CO, NO_x, SO_x, HC, particulate compounds, and carcinogenic. Besides being environmentally unfriendly, fossil fuels are also non-renewable fuels. The government must find solutions in the form of new energy sources that can replace fossil fuels because of their limitations. One source of energy that can be used as a solution to replace fossil fuels is biodiesel. Biodiesel as an alternative fuel that can improve environmental conditions and make certain contributions in getting energy sustainability. Under these conditions, further research is needed regarding the combustion characteristics of each type of Fatty Acid Methyl Ester (FAME) which is a constituent of biodiesel.

This research was conducted by observing and analyzing the FAME droplet burner where the droplet is placed on the thermocouple junction which is above the heating coil. During the droplet burning process, videos are taken using a camera so that the visualization of the fire on the droplet can be analyzed. Videos that have been taken are then separated into images which are then analyzed using ImageJ software. In addition to fire visualization, temperature data during the droplet combustion process is taken using a thermocouple connected to the datalogger. Data taken by the datalogger is then processed using DAQNav-USB4718 software where changes in temperature can be seen.

In this study it was found that ignition delay time increased due to an increase in the flash point which caused evaporation to occur longer. The droplet temperature increased along with the higher heating value held by the fatty acid methyl ester. No fluctuations occur in the change in the diameter of the droplet which states the rate of evaporation. The maximum flame height and maximum flame width increase with increasing length of the carbon atom chain in the fatty acid methyl ester, fatty acid methyl ester which has a double bond has a higher maximum temperature because the fatty acid methyl ester has a lower burning rate constant. The burning rate constant increases with the length of the carbon atom chain.

Keywords: Droplet, combustion, fatty acid methyl ester, ignition delay time, burning rate, combustion temperature

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan hal mendasar yang sangat penting dalam kehidupan manusia.

Memenuhi permintaan energi yang setiap tahunnya semakin meningkat merupakan tantangan utama pada abad ke-21. Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbanyak keempat di dunia. Jumlah populasi dan kebutuhan energi di Indonesia tentunya akan terus meningkat setiap harinya (Silitonga, et al, 2011). Salah satu energi yang memiliki peran penting adalah energi fosil (energi yang tak terbarukan) khususnya minyak bumi.

Penggunaan energi sektor transportasi dalam mendorong berbagai sektor, kenyataannya 90% berupa bahan bakar minyak yang cenderung meningkat 8,6% setiap per tahun yang lebih besar dari pada peningkatan energi untuk rumah tangga 3,7%. Peningkatan energi pada pembangkit listrik 4,6%, tetapi lebih sedikit dibandingkan peningkatan energi untuk konsumsi industri yaitu 9,1% (Hidayat, et al, 2014). Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor yang besar, 21,17% per tahun menyebabkan konsumsi BBM yang cukup besar menyebabkan meningkatnya pencemaran udara yang terjadi (Hidayat, et al, 2019). Kebutuhan akan bahan bakar di seluruh sektor semakin besar setiap tahunnya, salah satu contohnya adalah peningkatan konsumsi minyak bumi. Minyak bumi merupakan bahan bakar fosil yang terbatas. Berdasarkan data *British Petroleum* (BP) bahwa konsumsi minyak bumi rata-rata meningkat sebesar 1,5% atau diatas 1,4 juta barel per hari dimana China (680.000 barel per hari) dan Amerika Serikat (500.000 barel per hari) adalah kontributor terbesar dalam peningkatan konsumsi minyak bumi (BP, 2018).

Peningkatan penggunaan minyak bumi menyebabkan banyak masalah lingkungan bagi masyarakat. Pembakaran dari bahan bakar fosil adalah sumber utama terjadinya polusi udara yang mengandung CO, NO_x, SO_x, HC, senyawa partikulat, dan karsiogenik (panneerselvam, et al, 2015). Salah satu cara yang dapat dilakukan oleh pemerintah yaitu mencari sumber energi yang mudah didapatkan dari alam, dapat diperbaharui, dan juga ramah lingkungan. Salah satu sumber energi yang dapat dijadikan sebagai solusi untuk menggantikan bahan bakar fosil adalah minyak nabati. Minyak nabati dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti solar pada mesin diesel.

Seiring dengan banyaknya penelitian yang meneliti minyak nabati, diharapkan minyak nabati ini dapat mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap minyak bumi yang kurang

ramah lingkungan sehingga dampak kerusakan lingkungan dapat dikurangi. Kelebihan minyak nabati sebagai bahan bakar diesel adalah pelumasan yang dapat dilakukan dan juga *flash point* yang lebih tinggi. Sementara kerugian menggunakan minyak nabati adalah viskositasnya yang terlalu tinggi, hal ini dapat menyebabkan berkurangnya kualitas atomisasi serta tersumbatnya pompa injector. Oleh karena itu hal yang dapat dilakukan untuk menurunkan viskositas dari minyak nabati itu sendiri adalah dengan mengolahnya menjadi biodiesel (Rakopoulos, et al, 2015).

Biodiesel adalah bahan bakar yang dihasilkan dari biomassa seperti pohon, rumput, mikroalga, limbah pengolahan makanan, residu kehutanan dan pertanian. Komponen terikat oksigen yang utama pada biodiesel yaitu *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME), memiliki efek mengurangi konsentrasi polutan pada gas buang karena pembakaran yang terjadi di mesin lebih baik. Hal ini menggambarkan biodiesel sebagai bahan bakar alternative yang dapat meningkatkan kondisi lingkungan dan membuat kontribusi tertentu dalam mendapatkan kesinambungan energi (Wu, et al, 2006).

Berbagai penelitian mengenai sifat fisik dan kimia bahan bakar biodiesel menunjukkan bahwa bahan bakar biodiesel umumnya terdiri dari beberapa rantai karbon yang berupa FAME. Beberapa jenis FAME yang banyak ditemui pada berbagai biodiesel adalah metil linolenat, metil linoleat dan metil oleat yang merupakan FAME tak jenuh, serta metil stearat dan metil palmitat yang merupakan FAME jenuh. Namun sampai saat ini belum ada penelitian mengenai pembakaran FAME tunggal yang dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik pembakaran setiap jenis FAME dan dapat digunakan untuk memperkirakan campuran dari pembakaran FAME dengan komposisi tertentu.

Karakteristik pembakaran yang akan diamati dalam penelitian ini meliputi *ignition delay time*, temperatur *droplet*, tinggi api, lebar api, diameter *droplet*, dan *burning rate*. Pengamatan akan dilakukan pada pembakaran beberapa *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) penyusun biodiesel dengan pengaruh struktur molekul yang berbeda-beda seperti jumlah ikatan rangkap dan panjang rantai atom karbon yang dimiliki FAME tersebut.

Ikatan rangkap yang semakin banyak dapat menyebabkan *ignition delay time* turun dan laju pembakaran menjadi lebih lama. Sedangkan panjang rantai karbon yang semakin panjang dapat menyebabkan tingginya *ignition delay time* dan laju pembakaran yang semakin cepat. Berdasarkan pengaruh dari struktur molekul (ikatan rangkap dan panjang rantai atom karbon) tentunya ada efek positif dan negatif yang dapat ditimbulkan pada karakteristik pembakaran sebuah *fatty acid methyl ester*. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai masing- masing *fatty acid methyl ester* yang memiliki struktur molekul berbeda dengan variasi

panjang rantai atom karbon dan banyaknya ikatan rangkap sehingga dapat diciptakan suatu bahan bakar biodiesel yang memiliki karakteristik pembakaran yang lebih optimum serta kualitas bahan bakar yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana karakteristik pembakaran yang meliputi *ignition delay time*, temperatur *droplet*, tinggi api, lebar api, diameter *droplet*, dan *burning rate* dari metil oleat, metil palmitat, metil linoleat, metil stearat, metil miristat, dan metil laurat penyusun biodiesel dengan pengaruh struktur molekul yang berbeda-beda seperti jumlah ikatan rangkap dan panjang rantai atom karbon yang dimiliki FAME tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini agar pembahasan tidak melebar, adalah:

1. Temperatur saat dilakukannya pengujian adalah temperature ruangan ($27^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$), dan dalam interval temperatur ini propertis udara diasumsikan tidak berubah.
2. *Fatty acid methyl ester* yang digunakan dianggap murni.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap pada *fatty acid methyl ester* penyusun utama biodiesel terhadap karakteristik pembakaran yang meliputi *ignition delay time*, temperatur *droplet*, tinggi api, lebar api, diameter *droplet*, dan *burning rate* yang diamati dengan metode *suspended droplet combustion*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat dijadikan sebagai referensi dalam mempelajari pengembangan sumber energi alternatif.
2. Sebagai wawasan tambahan untuk penelitian *droplet*, terutama mengenai *droplet* biodiesel.
3. Sebagai bentuk aplikasi dari ilmu yang telah di pelajari dalam perkuliahan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Jiaqiang, et al (2016) telah melakukan penelitian mengenai efek struktur molekul *fatty acid methyl ester* terhadap karakteristik pembakaran dan emisi dari mesin diesel berbahan bakar biodiesel. Terdapat dua faktor yang dapat mempengaruhi *global ignition delay* yaitu *chemical ignition delay* dan *physical ignition delay*. Makin jenuh *fatty acid methyl ester* pada suatu biodiesel maka semakin singkat *chemical ignition delay*-nya. *Physical ignition delay* akan semakin tinggi akibat kenaikan jumlah atom karbon. Hal ini dapat terjadi akibat viskositas kinematik yang tinggi dapat memperlama proses atomisasi bahan bakar (*spray break-up*), memperburuk campuran udara-bahan bakar, dan memperburuk karakteristik penguapan biodiesel tersebut sehingga dapat mengurangi efisiensi pembakaran. Dapat dilihat pula untuk atom karbon yang sama namun dengan jumlah ikatan ganda yang lebih tinggi akan menghasilkan viskositas kinematik yang lebih rendah dan diprediksi dapat memberikan efisiensi pembakaran yang lebih baik. Penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk membuktikan hal ini.

Li, et al (2018) telah melakukan penelitian mengenai studi numerik dari efek ketidak-jenuhan suatu biodiesel minyak nabati terhadap karakteristik pembakaran dan emisi pada mesin diesel. Hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa biodiesel dengan tingkat ketidak-jenuhan yang lebih tinggi dengan viskositas kinematik yang lebih rendah menghasilkan campuran *air-fuel* yang lebih baik sehingga *physical ignition delay* nya menjadi lebih rendah. Hal ini dibuktikan dengan *grapeseed biodiesel* yang memiliki viskositas kinematik sebesar $4,1 \text{ mm}^2/\text{s}$ pada 40°C paling rendah diantara kelima biodiesel yang diteliti dan memiliki jumlah *polyunsaturated fatty acid methyl ester* nya yang paling tinggi yaitu 69,49% dari beratnya. *Grapeseed biodiesel* memiliki emisi karbon monoksida (CO) yang paling rendah akibat campuran *air-fuel* nya yang lebih baik dan kandungan oksigen lebih banyak. *Grapeseed biodiesel* memiliki emisi NO_x yang paling tinggi disebabkan oleh temperatur lokal saat pembakaran yang paling tinggi dan kandungan oksigennya yang lebih tinggi pula.

Semakin tinggi tingkat ketidak-jenuhan *fatty acid methyl ester* maka emisi jelaga atau (C) menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya jumlah ikatan rangkap dan pembakaran *premix* yang lebih singkat.

Plank, et al (2017) telah melakukan penelitian tentang karakteristik nyala api dari minyak nabati terhadap parameter pembakaran dan injeksi serta komposisi asam lemaknya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa ditemukan suatu nilai prediksi angka *cetane* yang terkandung dalam minyak nabati tersebut yaitu *Estimated Cetane Number of Vegetable Oil* (ECNO) dengan pengujian menggunakan satu bahan bakar diesel sebagai acuan angka *cetane* dan parameter-parameter yang berbeda-beda seperti suhu ruang bakar dan tekanan injeksi. Berbeda dengan bahan bakar solar pada umumnya, ECNO pada minyak nabati dapat berubah-ubah dan sangat dipengaruhi oleh suhu ruang bakar dan tekanan injeksinya. Semakin tinggi suatu suhu ruang bakar dan tekanan injeksi yang merepresentasikan kondisi beban mesin yang tinggi (*high engine load*) maka nilai ECNO akan lebih tinggi bahkan lebih tinggi dari angka *cetane* bahan bakar solar pada umumnya. Sebaliknya, semakin rendah suhu ruang bakar dan tekanan injeksinya yang merepresentasikan kondisi beban mesin yang rendah (*low engine load*) maka nilai ECNO akan menurun. Terdapat kaitan erat dengan derajat kejenuhan suatu minyak nabati dengan nilai ECNO-nya. Semakin tinggi jumlah ikatan rangkap suatu minyak nabati maka nilai ECNO akan menurun. Hal ini berlaku untuk *fatty acid* dan *fatty acid methyl ester*.

2.2 Minyak Nabati

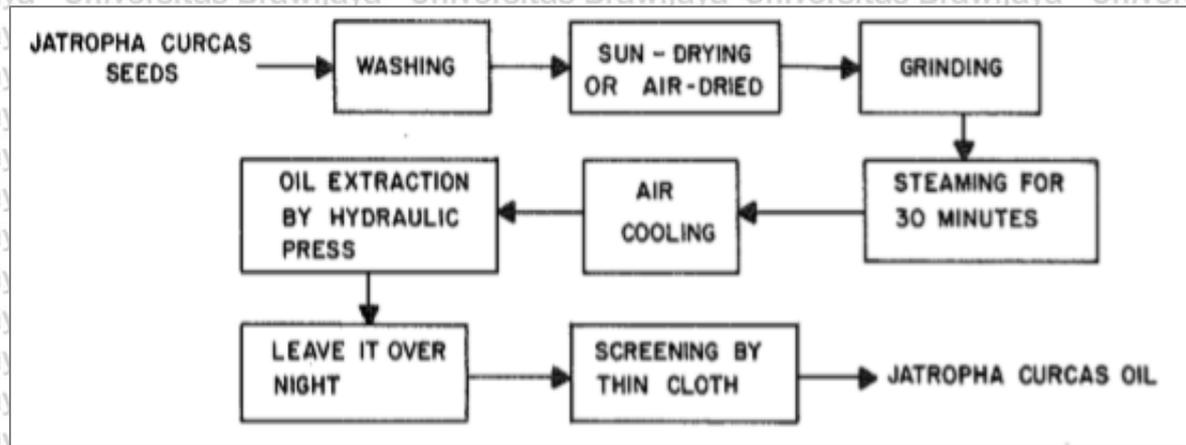
Minyak nabati adalah cairan yang diekstraksi dari biji dan buah tumbuh-tumbuhan dan terdiri dari campuran senyawa organik yang ada di dalamnya. biasanya mengandung trigliserida dari asam lemak rantai menengah dan panjang tak jenuh (90% –95% b / b), fosfolipid, asam lemak bebas, dan produk yang tidak dapat disertifikasi seperti pigmen dan sterol atau vitamin yang larut dalam lemak (seperti karotenoid dan tokoferol). Minyak dari sumber nabati yang berbeda memiliki komposisi asam lemak yang berbeda-beda (Siram, et al, 2019). Minyak nabati adalah alternatif yang menjanjikan karena memiliki beberapa keunggulan, dapat diperbaharui, ramah lingkungan, dan dapat diproduksi dengan mudah bahkan di daerah pinggiran (Bozbas, 2006). Minyak nabati memiliki viskositas yang tinggi hingga 10 sampai 20 kali lipat daripada bahan bakar fosil, angka *cetane* yang tinggi, kecenderungan higroskopik, stabilitas oksidasi yang rendah, nilai kalor yang rendah dan volatilitas yang rendah. (Rakopoulos, et al, 2015). Tetapi minyak nabati memiliki kelebihan daripada bakar diesel, yaitu kandungan sulfur dan aroma yang sedikit, titik nyala yang tinggi, dan pelumasan yang tinggi.

2.2.1 Minyak Jarak

Minyak jarak atau *Jatropha curcas* (L.) adalah dari family *Spurge* (*Euphorbiaceae*). Baru-baru ini, telah menerima banyak perhatian sebagai sumber potensial minyak nabati sebagai pengganti minyak bumi, dan, khususnya untuk produksi biodiesel (King, et al 2019). *Jatropha curcas* ini dapat tumbuh dalam kondisi yang buruk dan mampu untuk tumbuh di tanah yang *marginal* serta tahan kekeringan. *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang dimiliki oleh *Jatropha curcas* termasuk dari 26 FAME yang paling cocok digunakan untuk memproduksi biodiesel (Bojan, et al, 2012).

Minyak jarak dihasilkan dari tanaman jarak pagar yang menghasilkan biji berkeandungan minyak sekitar 30 – 50 %. Gambar 2.1 menunjukkan proses pembuatan minyak jarak dimana proses tersebut dimulai dengan mencuci biji dari tanaman jarak pagar tersebut, setelah itu biji akan di jemur di matahari agar kering. Setelah dikeringkan, proses pembuatan minyak jarak dilakukan dengan melakukan *grinding* yang dilanjutkan dengan proses penguapan selama 30 menit dan *air cooling*. Minyak jarak didapatkan dengan memasukan biji yang sudah diupkan kedalam mesin *hydraulic press*. Setelah masuk ke mesin *hydraulic press*, minyak jarak yang dihasilkan didiamkan selama satu malam dan kemudian disaring untuk mengakhiri proses pembuatan minyak jarak ini. Komposisi asam lemak dalam minyak jarak yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Terkandung 16-18 atom karbon per molekul, jika dibandingkan dengan minyak bumi sebagai bahan baku minyak diesel mengandung 8 – 10 atom karbon. Kandungan atom karbon yang besar pada setiap molekul minyak jarak, mengakibatkan viskositas minyak jarak pagar lebih tinggi bila dibandingkan dengan minyak bumi. Propertis dari minyak jarak dapat dilihat pada Tabel 2.2. Minyak jarak ini memiliki daya pembakaran yang masih rendah untuk dapat dipergunakan sebagai bahan bakar motor diesel. Maka dari itu, proses transesterifikasi dapat digunakan untuk menurunkan viskositas minyak jarak dan meningkatkan daya pembakarannya sehingga sesuai dengan standar minyak diesel untuk kendaraan bermotor. Proses transesterifikasi minyak jarak dilakukan dengan menggunakan alkohol untuk mengubah trigliserida menjadi metil *ester* asam lemak (biodiesel) dan gliserol (Said, 2010).



Gambar 2.1 Proses pembuatan minyak jarak
 Sumber: Knothe (2017)

Tabel 2.1
 Komposisi Asam Lemak Minyak Jarak

<i>Fatty Acid</i>	<i>C18:1 (Oleic)</i>	<i>C18:2 (Linoleic)</i>	<i>C16:0 (Palmitic)</i>	<i>C18:0 (Stearic)</i>	<i>C16:0 (Palmitoleic)</i>
<i>wt. %</i>	41,71 ± 0,07	36,42 ± 0,09	13,37 ± 0,09	6,10 ± 0,007	0,82 ± 0,008

Sumber: Raia (2016)

Tabel 2.2
 Karakteristik Minyak Jarak

<i>Property</i>	<i>Value</i>
<i>Moisture (%)</i>	0.253 ± 0.019
<i>Viscosity at 40 °C (mm² s⁻¹)</i>	32.94 ± 0.71
<i>Relative density at 25 °C (g cm⁻¹)</i>	0.918 ± 0.003
<i>Saponification value (mg KOH g⁻¹)</i>	178.3 ± 2.6
<i>Free fatty acid value (mg KOH g⁻¹)</i>	13.99 ± 0.04

Sumber: Raia (2016)

2.2.2 Minyak Kelapa Sawit

Minyak Kelapa Sawit (*Palm Oil*) merupakan minyak nabati yang diambil dari bagian *mesocarp* pada buah dari pohon kelapa sawit (*Elaeis Guineensis*). Kelapa sawit dianggap sebagai tanaman yang menghasilkan minyak dengan produktivitas yang tinggi setiap hektarnya. Minyak kelapa sawit adalah bahan baku minyak nabati yang terkenal untuk menghasilkan biodiesel melalui proses transesterifikasi (Kurnia, et al, 2016). Minyak kelapa sawit memiliki kejenuhan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan minyak kedelai dan minyak rapa (rapeseed) karena memiliki asam lemak dominan palmitate (C16:0), oleat (C18:1), stearat (C18:0) dan linoleat (C18:2). Komposisi asam lemak dalam minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Minyak kelapa sawit (*Palm oil*) memiliki derajat kejenuhan yang tinggi dan memiliki suhu beku yang tinggi. Propertis dari minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.4. Minyak

seperti ini memiliki karakteristik aliran yang buruk dan akan mengkristal pada suhu yang rendah. Tetapi apabila minyak kelapa sawit dijadikan biodiesel akan memiliki performa yang lebih baik pada suhu yang sangat tinggi (Gunstone, 2004).

Tabel 2.3
Komposisi Asam Lemak pada Minyak Kelapa Sawit

<i>Fatty Acids</i>	<i>POBD100 (% mass)</i>
<i>Palmitic C16:0</i>	35,9
<i>Stearic C18:0</i>	6,1
<i>Oleic C18:1</i>	46,1
<i>Linoleic C18:2</i>	11,9
<i>Linoleic C18:3</i>	-

Sumber: Radhakrishnan (2017).

Tabel 2.4
Properti dari Minyak Kelapa Sawit

<i>Property</i>	<i>Palm Oil</i>
<i>Density @15°C, g/ml</i>	0,925
<i>Kin. Viscosity @40°C, mm²/s</i>	41
<i>Flash point, °C</i>	260

Sumber: El-Araby (2018).

2.2.3 Minyak Kelapa

Minyak kelapa adalah lemak yang sangat jenuh dan berbentuk padatan kristal putih pada suhu di bawah 20°C. Viskositas dari minyak kelapa lebih tinggi dari viskositas standar bahan bakar diesel pada suhu 25–30°C. Minyak kelapa hampir sama dengan beberapa minyak nabati lainnya dimana komposisinya terdiri dari berbagai jenis asam lemak trigliserida dan sekitar 90% adalah senyawa asam lemak jenuh dimana komposisi asam lemak dari minyak kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.5. Minyak kelapa kaya akan asam lemak berantai (C8-C12), terutama asam laurat dan asam miristat. Sebagai salah satu jenis minyak nabati, minyak kelapa memiliki keunggulan dibandingkan minyak nabati lainnya yaitu mengandung asam lemak rantai sedang sekitar 70% sehingga memungkinkan untuk memperoleh bahan bakar lain seperti bahan bakar minyak tanah atau jet (Rasyid, et al, 2018).

Tabel 2.5
Komposisi Minyak Kelapa

<i>No</i>	<i>Name of Fatty Acid</i>	<i>Composition (wt.%)</i>
1	<i>Caprylic Acid</i>	0,27
2	<i>Capric Acid</i>	3,91
3	<i>Lauric Acid</i>	41,21
4	<i>Myristic Acid</i>	23,9
5	<i>Palmitic Acid</i>	16,5

No	Name of Fatty Acid	Composition (wt.%)
6	Stearic Acid	3,14
7	Oleic Acid	9,47
8	Linoleic Acid	1,61

Sumber: Rasyid (2018)

2.3 Panjang Rantai Karbon

Pada tabel periodik, atom karbon merupakan unsur golongan 4A yang berada pada posisi tengah dalam kolom periodenya. Karbon sendiri mempunyai enam elektron yang memiliki konfigurasi $1s^2 2s^2 2p^2$. Atom yang berada di sebelah kanan karbon cenderung menarik elektron, sedangkan atom yang berada di sebelah kiri karbon cenderung memberikan elektron.

Dalam semua senyawa organik atom C tetap bervalensi 4. Model penggambaran lain untuk ikatan kovalen adalah dengan menggambarkan struktur kekulu dimana ikatan digambarkan sebagai sebuah garis. Pada struktur kekulu pasangan elektron bebas pada kulit terluar dapat diabaikan (Wardiyah, 2016).

Struktur dari *fatty acid methyl ester* adalah parameter yang penting yang mempengaruhi karakteristik pembakaran dari *fatty acid methyl ester* tersebut. Berdasarkan Panjang rantai karbonnya, FAME di bagi menjadi 3 yaitu *short chain* (C1-C5), *medium chain* (C6-C12), *long chain* (C13-C21), dan *very long chain* (C22 dan di atasnya) (Folayan, 2019).

2.4 Ikatan Rangkap

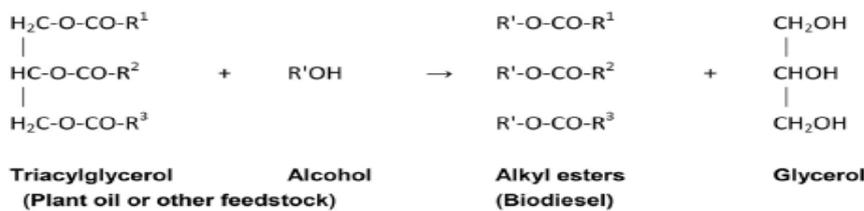
Sebuah ikatan ganda dalam kimia adalah ikatan kimia antara dua unsur kimia yang melibatkan empat elektron ikatan. Ikatan ganda yang paling umum yaitu ikatan antara dua atom karbon, yang dapat ditemukan dalam alkena. Banyak jenis ikatan ganda yang terdapat pada dua unsur yang berbeda. Contohnya, pada gugus karbonil, ikatan ganda terbentuk antara atom karbon dan oksigen. Ikatan ganda lainnya juga ditemukan dalam senyawa azo ($N=N$), imina ($C=N$) dan sulfoksida ($S=O$). Dalam rumus kerangka, ikatan ganda digambarkan sebagai garis paralel (=) antara dua atom yang berhubungan; secara tipografi menggunakan tanda sama dengan. Ikatan ganda yang melibatkan karbon lebih kuat daripada ikatan tunggal dan oleh karenanya panjang ikatannya juga lebih pendek. (Wardiyah, 2016)

2.5 Biodiesel

Nama Biodiesel diperkenalkan di Amerika Serikat pada tahun 1992 oleh *National Soy Diesel Development Board* yang memelopori komersialisasi dari biodiesel itu sendiri di Amerika Serikat. Biodiesel adalah salah satu sumber energi alternatif terbaik yang dapat digunakan untuk memenuhi permintaan konsumsi bahan bakar di dunia. Biodiesel dapat dihasilkan dari lemak hewani maupun minyak nabati. Biodiesel memiliki properti bahan bakar yang lebih baik dibandingkan dengan diesel seperti terbarukan, tidak beracun, aromanya sedikit, bebas dari sulfur, dan biodegradabilitas (Panneerselvam, et al, 2015).

Biodiesel dapat digunakan dalam pembakaran pada mesin diesel dengan sedikit modifikasi ataupun dengan tidak ada modifikasi pada mesin tersebut. Biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi dari diesel. Biodiesel memiliki *higher heating values* (HHVs) yang relatif tinggi, yaitu sekitar 39 sampai 41 MJ/kg. Apabila dibandingkan dengan bensin yang memiliki HHV 46 MJ/kg, petrodiesel (43 MJ/kg), ataupun minyak bumi (42 MJ/kg), tetapi lebih tinggi dari batubara yang memiliki HHV dengan nilai 32 sampai 37 MJ/kg (Demirbas, 2007). Karakteristik yang dimiliki oleh biodiesel sangat berpengaruh terhadap berkurangnya emisi dari karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan *Particulate matter* (PM) dalam gas buang jika dibandingkan dengan diesel (Manzanera, et al, 2008).

Pembuatan biodiesel kebanyakan dilakukan dengan proses transesterifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Transesterifikasi dari trigliserida menjadi molekul yang lebih kecil dan memiliki rantai ikatan kimia yang lurus dan pendek, biasa disebut *metil ester*. Dalam transesterifikasi dari berbagai jenis minyak, trigliserida bereaksi dengan alkohol yang umumnya berupa methanol atau etanol untuk menghasilkan *ester* dan gliserol. Prosesnya secara keseluruhan merupakan urutan dari tiga reaksi yang bersifat *reversible*. Selama reaksi pertama, trigliserida ditransformasikan menjadi digliserida. Kemudian dari digliserida, monogliserida diproduksi dalam reaksi kedua dan terakhir reaksi yang menghasilkan gliserol dari monogliserida. Dalam semua reaksi ini *ester* diproduksi, yang secara komersial dikenal sebagai biodiesel.

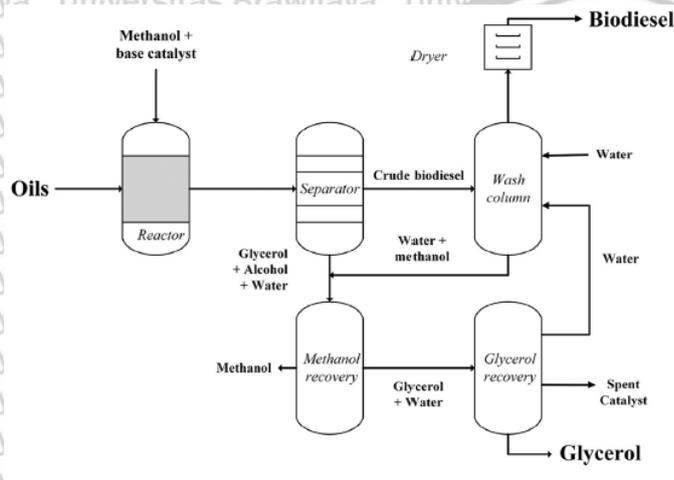


Gambar 2.2 Proses transesterifikasi pada trigliserida dengan alkohol
Sumber: Knothe (2017)



Menurut Bozbas (2006), biodiesel memiliki beberapa keunggulan, seperti:

- Biodiesel merupakan energi yang terbarukan
- Menghasilkan kinerja dan memiliki daya tahan (*durability*) yang sama dengan bahan bakar diesel
- Aman digunakan pada mesin diesel konvensional
- Tidak beracun dan tidak mudah terbakar
- Memiliki emisi yang rendah



Gambar 2.3 Proses pembuatan biodiesel

Sumber: Knothe (2017)

Dengan meningkatnya penggunaan *metil ester* dari minyak nabati sebagai biodiesel sejak pertengahan 1990, standar biodiesel terus dikembangkan. Standar pertama didirikan di Austria pada tahun 1991 diikuti oleh standar Eropa lainnya, terutama Standar Jerman DIN 51606. Standar di masing-masing negara Eropa telah digantikan oleh standar Eropa EN 14214. Standar ini berfungsi sebagai referensi untuk biodiesel lainnya. Standar ini memberikan informasi tentang kualitas berupa nilai viskositas kinematik yang dapat mengidentifikasi apakah suatu *metil ester* dapat digunakan menjadi biodiesel ataupun tidak. Dengan begitu, peneliti dapat menyesuaikan standar yang sesuai, dalam artian spesifikasi viskositasnya harus hampir sama dengan bahan bakar diesel seperti yang ditunjukkan pada ASTM (*American Society for Testing and Materials*) biodiesel dan sifat-sifat biodiesel yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 (Knothe, 2017).

Specification	ASTM D6751		EN 14214	
	Limit	Method	Limit	Method
Kinematic viscosity	1.9–6.0 mm ² /s	D445	3.5–5.0 mm ² /s	EN ISO 3104
Cetane number	47 min	D613, D6890	51 min	EN ISO 5165
Cloud point	Report		– _b	
Oxidation stability	3 h min	EN 14112	8 h min	EN 14112, EN 15751
Density	–	–	860–900 kg/m ³	
Free glycerol	0.02% mass max	D6584	0.02% mass max	EN 14105
Monoacylglycerols	0.4% mass max	D6584	0.7% mass max	EN 14105
Total glycerol	0.24% mass max	D6584	0.25% mass max	EN 14105
Acid value	0.5 mg KOH/g max	D664	0.5 mg KOH/g max	EN 14104
Na K combined	5 ppm (µg/g) max	EN 14538	5 mg/kg max	EN 14108, EN 14109
S	0.015 or 0.05% mass, max ^a	D5453	10 mg/kg	EN ISO 20846, EN ISO 20884
P	0.001% mass, max	D4951	4 mg/kg	EN 14107
Ca Mg combined	5 ppm (µg/g)	EN 14538	5 mg/kg	EN 14538

Gambar 2.4 Standar ASTM Biodiesel
Sumber: Knothe (2017)

Dapat dilihat properti yang umum dari biodiesel adalah viskositas, densitas, angka *cetane*, nilai kalor, *flash point*, *pour point*, dan lain-lain. Viskositas dalam bentuk viskositas kinematis merupakan faktor utama yang diperhatikan dalam memilih biodiesel. Standar ini digunakan untuk memastikan bahwa *ester* alkil adalah memang digunakan sebagai biodiesel. Beberapa penelitian juga menyatakan bahwa kandungan asam lemak dan komposisi kimiawi pada biodiesel memegang peranan penting terhadap properti biodiesel itu sendiri. Gambar 2.5 menjelaskan properti biodiesel yang dihasilkan dari berbagai minyak nabati.

Fuel	Density (kg/m ³)	Kinematic viscosity at 40 °C (mm ² /s)	Cetane no.	Heating value (MJ/kg)	Cloud point (°C)	Flash point (°C)	Fire point (°C)	Pour point (°C)	Refs.
Diesel	850	2.44–2.60	47–50	42–44.3	–	68–75	80	–20	[105–108]
Camelina	918	24	50.4	38	3	> 220	–	–7	[109]
Cocunut	877	3.18	60	36.98	1	136.5	–	–4	[109]
Safflower	920	26.64	51.1	–	–4	174	–	–7	[93]
Canola	872	4.22	53.7	39.289	–4	153	–	–6	[110]
Mahua	880–916	3.98–5.72	–	37–39.4	–	129–208	141	6	[105,111,112]
Karanja	880–890	4.37–9.6	48–58	36.12–42.13	–2–14.6	170–205	–	–6–5.1	[106,113,114] and [115–117]
Palm	870–878.4	4.5–5.11	50–62	37.2–39.91	14	173	182	8	[107,115,118]
Cotton seed	850–885	6–9.6	52	37.5–41.68	–2	–	–	–4	[115,119]
Jatropha	873	4.23	–	42.673	10.2	148	–	–2	[120]
Polanga	869	3.99	–	41.397	13.2	140	–	4.3	[114]
Soybean	885–914	4.057–39.5	37–51.3	37.3–39.66	–	69–163	–	–	[115,118,121,122]
Sunflower	880–885.6	4.381–4.4	50–51.6	37.5–39.95	–	183	–	–	[115,118]
Rapeseed	872–885	4.585–11	37.6–54.5	37.3–39.9	–	177–275	–	–	[115,121,123]
Honge	890	5.6	45	36.01	–	163	–	–	[124]
Peanut	886.4	5.251	54	39.7	–	193	–	–	[118]
Corn	885.8	4.363	55.4	39.87	–	167	–	–	[118]
Palm Kernel	876.6	3.248	62.1	38.53	–	131	–	–	[118]
Tallow	832	4.89	58.9	37.2	–	124	–	10	[125]
Waste Fried	884.2	4.869	55	39.68	–	167	–	–	[118]
Jojoba	866	19.2	63.5	43.38	–	61	–	–	[108]
Neem	820	8.8	51	40.1	–	–	–	–	[126]
Chicken fat	869	2.8	48	–	–7	74	–	–	[85]
Mutton fat	856	8.15	59	–	–4	–	–	–5	[85]

Gambar 2.5 Properti biodiesel dari beberapa bahan baku
Sumber: Jiaqiang (2016)

Sifat properti thermo-fisik pada biodiesel mempengaruhi performa mesin dan karakteristik emisi yang dihasilkan. Viskositas biodiesel adalah parameter yang paling penting diperiksa karena secara langsung mempengaruhi pada sistem injeksi mesin. Secara umum, viskositas yang lebih tinggi membuat pembakaran tidak sempurna, atomisasi bahan bakar yang buruk, dan emisi yang tinggi. Atomisasi bahan bakar pada viskositas yang tinggi menyebabkan ukuran tetesan yang dihasilkan besar, peningkatan pengenceran oli, penguapan yang buruk, penetrasi



dalam silinder yang lebih besar, dan sudut semprotan injeksi yang sempit (Jiaqiang, et al, 2017).

Saturated fatty acid methyl esters		Unsaturated fatty acid methyl esters	
Fatty acid methyl ester	Cetane number	Fatty acid methyl ester	Cetane number
8:0	39.75 [243]	16:1 Δ9c	56.6, 51.0 [237,243]
10:0	51.6 [243]	18:1 Δ6c	58.55 [238]
12:0	66.7 [243]	18:1 Δ9c	57 [238] ^a
14:0		18:1 Δ9c	57.15 [238]
16:0	85.9 [243]	18:1 Δ11c	53.9 [238]
18:0	101 [237]	18:2 Δ9c, Δ12c	38.2 [237]
20:0	112–120 ^b	18:2 Δ9c, Δ12c	43 [238]
22:0	125–130 ^b	18:3 Δ9c, Δ12c, Δ15c	22.7 [243]
24:0	135–145 ^b	18:3 Δ6c, Δ9c, Δ12c	29.2 [89]
		20:1 Δ11c	73.2 [105]
		20:4 Δ5c, Δ8c, Δ11c, Δ14c	29.6 [229]
		22:1 Δ13c	74.2 [105]
		22:6 Δ4c, Δ7c, Δ10c, Δ13c, Δ16c, Δ19c	24.4 [229]
		18:1 Δ9c 12-OH	37.4 [243]

Gambar 2.6 Angka setana dari *fatty acid methyl ester* pada biodiesel

Sumber: Knothe (2017)

Selain viskositas, angka setana merupakan parameter penting lainnya yang harus diperhatikan karena memiliki dampak pada kualitas pembakaran yang dihasilkan. Semakin tinggi angka setana, *ignition delay* akan lebih pendek yang akan menyebabkan meningkatnya durasi pembakaran pada mesin (Jiaqiang, et al, 2017). Angka setana yang dimiliki oleh biodiesel dapat dilihat pada Gambar 2.5.

2.6 Asam Lemak

Ada 3 jenis utama asam lemak yang terdapat dalam minyak nabati yang digunakan untuk biodiesel. 3 jenis asam lemak itu adalah trigliserida jenis *saturated* (Cn: 0), *monounsaturated* (Cn:1) dan *polyunsaturated* dengan 2 atau 3 ikatan rangkap (Cn:2,3). Berbagai macam minyak nabati dari berbagai bahan baku kebanyakan bisa dijadikan sebagai bahan baku untuk produksi *fatty acid methyl ester* (FAME) atau biodiesel. Minyak nabati untuk penggunaan biodiesel yang ideal adalah yang memiliki asam lemak jenis *monounsaturated* dikarenakan memiliki stabilitas terhadap oksigen yang lebih baik dan juga fluiditas pada temperature yang rendah sangat baik (Gunstone, 2004). Sifat fisik dan kimia dari asam lemak penyusun biodiesel dapat dilihat pada Gambar 2.7.

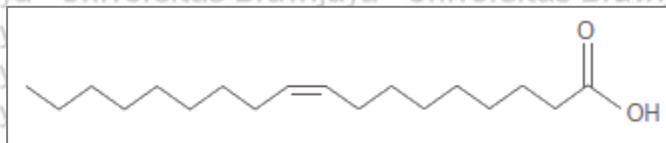
Property	Lauric Acid	Myristic Acid	Palmitic Acid	Stearic Acid	Oleic Acid
CAS Registry No.	143-07-7	544-63-8	57-10-3	57-11-4	112-80-1
Empirical formula ^a	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
Molecular weight	200.31 ^a , 200.33 ^b	228.36 ^a , 228.38 ^b	256.42 ^a , 256.43 ^b	284.47 ^a , 284.50 ^b	282.45 ^a , 282.47 ^b
Density (g/ml, °C)	0.8679 ₁ ^{50b}	0.8528 ₁ ^{70a}	0.8527 ₄ ^{62b}	0.847 ^{70a}	0.895 ₂₅ ^{25a}
Melting point (°C)	44, 48 ^a	58.5 ^a , 58 ^b , 54.4 ^c	63–64 ^a	69–70 ^{a,c} , 71.2 ^b	16.3 ^b
Boiling point (°C, P in atm) ^a	225 ₁₀₀	250.5 ₁₀₀	215 ₁₅	383 ₁	286 ₁₀₀
Solubility ^{a,b,d}				(decomposes at 360 ₁)	
Water	Insol.	Insol.	Insol.	Insol.	Insol.
Alcohol	v. sol.—ethanol propanol—1 g/ml	sol.—abs. ethanol v. sol.—methanol	v. sol.—ethanol + heat v. sol.—propanol	sl. sol.—1 g/21 ml ethanol	v. sol.—ethanol
Chloroform	sol.	sol.	v. sol.	sol.—1 g/2 ml	v. sol.
Benzene	v. sol.	v. sol.	sol.	sl. sol.—1 g/5 ml	v. sol.
Ether	v. sol.	sl. sol.	v. sol.	v. sol.	v. sol.
Viscosity (cp, °C) ^c	7.3 ⁵⁰	5.06 ⁷⁵	7.1 ⁷⁵	9.04 ⁷⁵	23.01 ³⁰
Iodine number ^a	—	—	—	—	89.9
Acid value	280.1 ^c	245.7 ^c	218.0 ^c	197.2 ^c	198.6 ^a

Gambar 2.7 Physicochemical properties dari asam lemak
Sumber: Liebert (1987)

2.6.1 Asam Oleat

Asam Oleat dalam bentuk teresterifikasi dapat ditemukan dalam banyak minyak nabati dan lemak hewani. Asam oleat mempunyai warna diantara tidak berwarna hingga pucat. Asam oleat ini merupakan cairan berminyak pada suhu diatas 5-7°C. Pada suhu 4°C, asam oleat membeku. Jika terpapar oksigen, asam oleat akan menjadi gelap warnanya secara bertahap, dan akan terdekomposisi Ketika dipanaskan hingga 80-10 0°C(Liebert, 1987). Asam oleat mempunyai rumus molekul C₁₈H₃₄O₂, memiliki satu ikatan rangkap (C18:1). Asam oleat memiliki massa molar sebesar 282,47 gr/cm³, flash point pada temperatur 113°C, viskositas kinematik sebesar 8,58 mpa/s, mampu dilarutkan pada alkohol tetapi tidak dapat dilarutkan didalam air, mempunyai nilai panas spesifik 2,046 J/mol.K, mempunyai nilai asam sebesar 198 mg KOH/g serta memiliki melting point pada temperatur 13,5°C (Sajjadi, et al, 2016). Pada

Gambar 2.8 dapat dilihat struktur kimia asam oleat.



Gambar 2.8 Struktur kimia asam oleat
Sumber: Hoekman (2011)

Tabel 2.6
Properti dari Asam Oleat

Fatty Acid Properties	Oleic Acid
Cn:db	C18:1
Mw g. mol-1	282,47
ρ g/cm ³	18,09
Viscosity mpa/s(cp)	8,58
Flash point	113

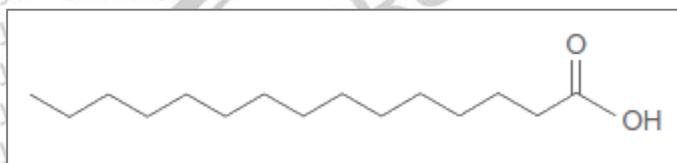


<i>Melting point</i>	13,5
<i>Specific heat, J/mol. K</i>	2,046

Sumber: Sajjadi (2016)

2.6.2 Asam Palmitat

Asam Palmitat adalah asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus molekul ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$). Asam palmitat memiliki titik cair (*melting point*) yang tinggi yaitu 62,5-63,1°C sehingga asam palmitat lebih tahan terhadap oksidasi dibandingkan asam lemak yang lain. Asam palmitat dapat ditemukan dalam wujud padat dan berwarna putih pada suhu ruangan. Asam palmitat memiliki massa molar sebesar 256,43, densitas sebesar 0,989 g/cm³, *flash point* pada temperatur 206°C, nilai *specific heat* sebesar 463,36 J/mol.K (Sajjadi, et al, 2016). Pada Gambar 2.9 dapat dilihat struktur kimia asam palmitat.



Gambar 2.9 Struktur kimia asam palmitat

Sumber: Hoekman (2011)

Tabel 2.7

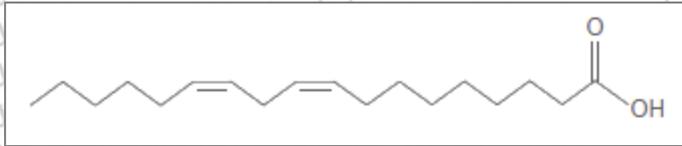
Properti dari Asam Palmitat

<i>Fatty Acid Properties</i>	<i>Palmitic Acid</i>
Cn:db	C16:0
Mw g. mol-1	256,43
ρ g/cm ³	0,989
<i>Viscosity</i> mpa/s(cp)	8,58
<i>Flash point</i>	206
<i>Melting point</i>	62,5-63,1
<i>Specific heat, J/mol. K</i>	463,36

Sumber: Sajjadi (2016).

2.6.3 Asam Linoleat

Asam linoleat merupakan asam lemak yang memiliki rumus molekul ($\text{C}_{18}\text{H}_{30}\text{O}_2$). Asam linoleat adalah asam lemak yang tidak jenuh dan dapat diperoleh dari tumbuhan. Nama IUPAC dari asam linoleat adalah 9, 12, 15-oktadekatrienoat. Asam linoleat adalah asam lemak tak jenuh yang memiliki 18 rantai karbon dengan 2 ikatan rangkap dua terletak pada posisi C9, C12 dan C15. Asam linoleat ini memiliki berat molekul sebesar 280,45 g/mol. Asam linoleat mempunyai densitas sebesar 0,902 g/cm³, *flash point* pada temperatur 112°C, serta *melting point* pada temperatur 5°C (Sajjadi, et al, 2016). Pada Gambar 2.10 dapat dilihat struktur kimia asam linoleat.



Gambar 2.10 Struktur kimia asam linoleat

Sumber: Hoekman (2011)

Tabel 2.8

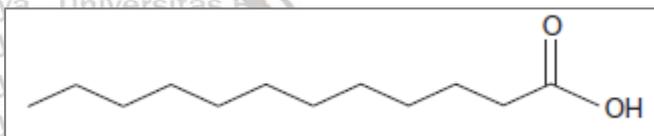
Properti dari Asam Linoleat

Fatty Acid Properties	Linoleic Acid
Cn:db	C18:2
Mw g. mol-1	280,45
ρ g/cm ³	0,902
Flash point	112
Melting point	5

Sumber: Sajjadi (2016)

2.6.4 Asam Laurat

Asam laurat (*Lauric Acid*) adalah satu dari tiga asam lemak yang paling banyak didistribusikan dan persediaannya bersamaan dengan asam palmitat dan asam stearat. Sumber asam laurat adalah minyak kelapa. Asam laurat berbentuk padat kristal dan berwarna putih kekuningan (Liebert, 1987). Asam laurat memiliki rumus molekul C₁₂H₂₄O₂, dan tidak memiliki ikatan rangkap (C12:0). Memiliki massa molar sebesar 200,32 g/mol, densitas sebesar 1,007 g/cm³, viskositas kinematik sebesar 7,12 mpa/s, *flash point* sebesar 113°C, *melting point* sebesar 43,8°C, mampu dilarutkan dalam alkohol namun tidak dapat larut dalam air, nilai asam sebesar 280,1 mg KOH/g, dan panas spesifik sebesar 404,28 J/mol.K (Sajjadi, et al 2016). Pada Gambar 2.11 dapat dilihat struktur kimia asam laurat.



Gambar 2.11 Struktur kimia asam laurat

Sumber: Hoekman (2011)

Tabel 2.9

Properti dari Asam Laurat

Fatty Acid Properties	Lauric Acid
Cn:db	C12:0
Mw g. mol-1	200,32
ρ g/cm ³	1,007
Viscosity mpa/s(cp)	7,12
Flash point	>113
Melting point	43,8
Specific heat, J/mol. K	404,28

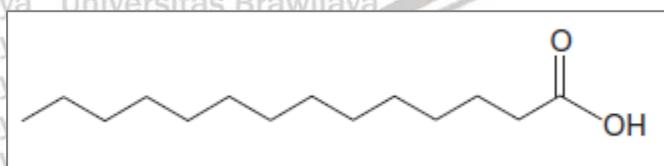
Sumber: Sajjadi (2016)



2.6.5 Asam Miristat

Asam miristat merupakan asam lemak yang memiliki rumus molekul $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$.

Asam Miristat memiliki massa molar sebesar 228,38 g/mol, viskositas kinematik sebesar 8,11 mpa/s, densitas sebesar $0,971 \text{ g/cm}^3$, *melting point* pada temperatur $54,4^\circ\text{C}$, *flash point* pada temperatur 110°C , panas spesifik sebesar $432,01 \text{ J/mol.K}$, dan memiliki nilai asam sebesar 245,7 KOH/g (Sajjadi, et al, 2016). Pada Gambar 2.12 dapat dilihat struktur kimia asam miristat.



Gambar 2.12 Struktur kimia asam miristat
Sumber: Hoekman (2011)

Tabel 2.10
Properti dari Asam Miristat

<i>Fatty Acid Properties</i>	<i>Myristic Acid</i>
Cn:db	C14:0
Mw g. mol-1	228,38
$\rho \text{ g/cm}^3$	0,971
Viscosity mpa/s(cp)	8,11
Flash point	110
Melting point	54,4
Specific heat, J/mol. K	432,01

Sumber: Sajjadi (2016)

2.6.6 Asam Stearat

Asam stearat memiliki nama IUPAC yaitu *octadecanoid acid* yang memiliki rumus molekul $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$. Struktur Asam stearat dapat dilihat pada Gambar 2.13. Asam stearat merupakan asam yang termasuk golongan *saturated acid* karena tidak memiliki ikatan rangkap.

Asam stearat memiliki panas spesifik sebesar $2,3 \text{ J/g.}^\circ\text{C}$, Kalor laten saat penguapan sebesar $79,09 \text{ kJ/mol}$, panas pembakaran sebesar $-11342,4 \text{ kJ/mol}$, nilai asam sebesar 195 mg KOH/g .

Asam stearat mampu larut dalam etanol dan air sebesar $0,597 \text{ mg/L}$ pada suhu 25, memiliki *flash point* sebesar 196°C , *auto-ignition temperature* sebesar 395°C , *boiling point* sebesar 383°C , memiliki massa molar sebesar $284,5 \text{ g/mol}$, memiliki densitas sebesar $0,86 \text{ g/cm}^3$, viskositas kinematik sebesar $5,86 \text{ mm}^2/\text{s}$, *melting point* sebesar $68,8^\circ\text{C}$ (Sajjadi, et al, 2017).



Gambar 2.13 Struktur molekul asam stearat
Sumber: Hoekman (2011)

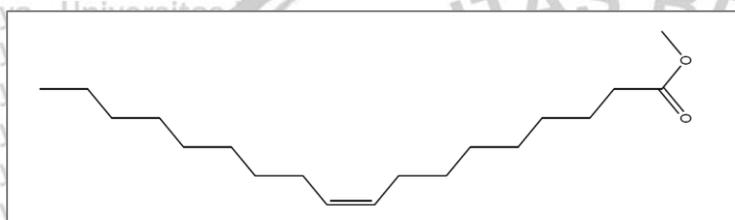
2.7 Fatty Acid Methyl Ester (FAME)

Fatty Acid Methyl Ester (FAME) atau bahan untuk biodiesel merupakan sumber energi yang sifatnya terbarukan dan ramah lingkungan. Dalam pembuatan FAME, digunakan proses esterifikasi dari trigliserida seperti lemak ataupun minyak. FAME merupakan bahan mentah untuk produksi rantai panjang asam karboksilat, maupun bahan bakar alternatif biodiesel (Hernando, et al, 2007). Menurut Lang, et al (2000), komposisi FAME dominan pada setiap minyak nabati bahan baku biodiesel memiliki peran utama dalam penentuan angka *cetane*. Asam lemak yang terdapat pada minyak nabati cenderung memiliki viskositas yang tinggi yang berpengaruh terhadap sifat reaktifnya pada saat pembakaran. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, adalah dengan melakukan reaksi kimia dengan tujuan membentuk *ester* alkohol (FAME) melalui proses transesterifikasi (Cao, et al, 2008). Asam lemak pada minyak nabati tidak bisa langsung dijadikan bahan bakar karena memiliki viskositas kinematik yang sangat tinggi dan volatilitas yang rendah. Penggunaan minyak nabati langsung sebagai bahan bakar diesel dapat menyebabkan masalah serius seperti deposisi, *ring sticking* dan *injector chocking* pada mesin (Lam, et al, 2010).

Semakin banyak ikatan karbon pada sebuah FAME akan berdampak pada *ignition delay* yang lebih lama sehingga *ignition* temperatur lebih tinggi serta efisiensi pembakaran yang kurang baik jika dibandingkan dengan FAME lainnya yang memiliki rantai karbon lebih pendek. Hal ini disebabkan karena semakin panjang rantai atom karbon pada sebuah FAME akan menyebabkan semakin tinggi juga viskositas kinematik yang dimiliki oleh FAME tersebut. Jika viskositas kinematik tinggi maka FAME tersebut akan lebih sulit menyebar pada ruang bakar dan dapat menciptakan rasio *air-fuel* yang buruk (Jiaqiang, et al, 2016) Semakin banyak ikatan rangkap yang ada pada sebuah FAME akan menghasilkan *fuel-air mixing* yang lebih baik, hal ini mengakibatkan *ignition delay* lebih pendek. Selain itu *fuel-air mixing* yang lebih baik membuat emisi CO yang terjadi pada saat pembakaran berkurang (Han Li, et al, 2018).

2.7.1 Metil Oleat

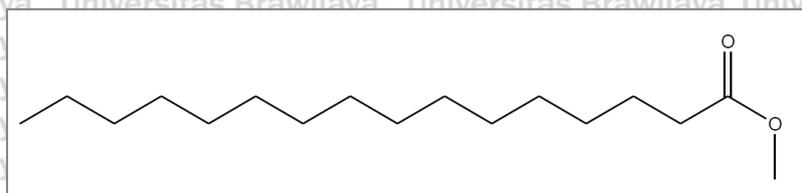
Metil oleat merupakan zat yang diperoleh dari reaksi esterifikasi antara asam oleat dengan methanol. Metil oleat memiliki rumus molekul $C_{19}H_{36}O_2$ (C18:1) dimana metil oleat termasuk dalam golongan FAME tidak jenuh karena memiliki sebuah ikatan rangkap pada struktur molekulnya yang dapat dilihat pada Gambar 2.13. Metil oleat mempunyai viskositas kinetik sebesar $4,60 \text{ mm}^2/\text{s}$, densitas sebesar $0,875 \text{ g/cm}^3$, berat molekul sebesar 296 g/mol , dan *higher calorific value* sebesar $40,092 \text{ MJ/kg}$ (Jiaqiang, et al, 2016). Metil oleat mempunyai wujud cair dengan warna kuning pucat hingga kuning muda dan mempunyai titik leleh sekitar -5°C dan memiliki titik didih diantara $218- 219^\circ\text{C}$. Metil oleat memiliki densitas $0,874 \text{ g/ml}$ dan juga *flash point* pada suhu 113°C (Handoko, 2015).



Gambar 2.13 Struktur metil oleat
Sumber: Handoko (2015)

2.7.2 Metil Palmitat

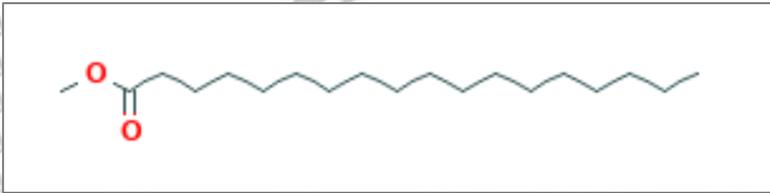
Metil Palmitat merupakan bentuk turunan dari asam palmitat. Metil palmitat didapatkan dengan mereaksikan asam palmitat dengan alkohol dan katalis. Dalam proses esterifikasi yang dilakukan, asam palmitat direaksikan dengan methanol. Metil palmitat memiliki rumus molekul yaitu $C_{17}H_{34}O_2$ (C16:0). Berdasarkan struktur dari metil palmitat pada Gambar 2.14, dapat diketahui bahwa metil palmitat tidak memiliki ikatan rangkap sehingga termasuk dalam golongan FAME jenuh. Metil palmitat memiliki viskositas kinetic sebesar $4,37 \text{ mm}^2/\text{s}$, densitas sebesar $0,864 \text{ g/cm}^3$, berat molekul sebesar 270 g/mol , dan *higher calorific value* sebesar $39,449 \text{ MJ/kg}$ (Jiaqiang, et al, 2016). Metil palmitat mempunyai warna putih serta berwujud padat dengan titik leleh 28°C dan titik didih pada $211,5^\circ\text{C}$, *melting point* pada 30°C (Handoko, 2015).



Gambar 2.14 Struktur metil palmitat
Sumber: Handoko (2015)

2.7.3 Metil Stearat

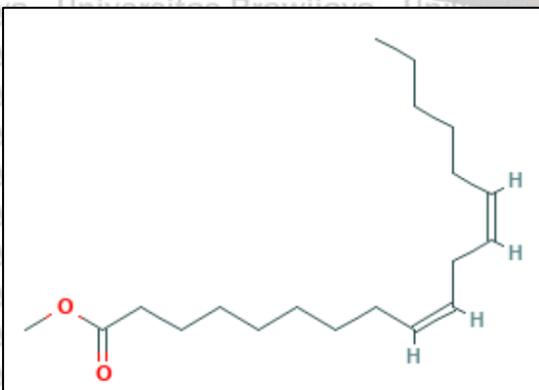
Metil stearat merupakan salah satu FAME yang termasuk dalam golongan FAME jenuh karena tidak memiliki ikatan rangkap pada struktur molekul yang dapat dilihat pada Gambar 2.15. Metil stearat memiliki rumus molekul $C_{19}H_{38}O_2$ ($C18:0$). Metil stearat merupakan bentuk turunan dari asam stearat. Metil stearat diperoleh dengan mereaksikan asam stearat dengan alkohol dan katalis. Dalam proses esterifikasi yang dilakukan, asam stearat direaksikan dengan methanol. Metil stearat memiliki viskositas kinematik sebesar $5,59 \text{ mm}^2/\text{s}$, densitas sebesar $0,863 \text{ g/cm}^3$, berat molekul sebesar 298 g/mol , dan *higher calorif value* sebesar $40,099 \text{ MJ/kg}$, titik didih sebesar 443°C , titik leleh pada $39,1^\circ\text{C}$, *flash point* pada 153°C (Jiaqiang, et al, 2016).



Gambar 2.15 Struktur metil stearat
Sumber: Zhu (2016)

2.7.4 Metil Linoleat

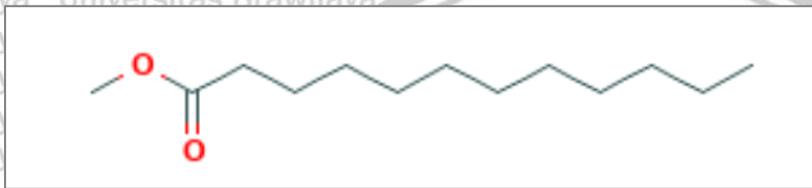
Metil linoleat merupakan bentuk turunan dari asam linoleat. Metil linoleat diperoleh dengan mereaksikan asam linoleat dengan alkohol dan katalis. Dalam proses esterifikasi yang dilakukan, asam linoleat direaksikan dengan methanol. Metil linoleat memiliki rumus molekul $C_{19}H_{34}O_2$ ($C18:2$). Dapat dilihat pada Gambar 2.16 bahwa metil linoleat memiliki 2 ikatan rangkap sehingga metil linoleate termasuk dalam golongan FAME tidak jenuh. Metil linoleat memiliki viskositas kinematik sebesar $3,79 \text{ mm}^2/\text{s}$, densitas sebesar $0,887 \text{ g/cm}^3$, berat molekul sebesar 294 g/mol , dan *higher calorif value* sebesar $39,698 \text{ MJ/kg}$, titik leleh pada -35°C , titik didih pada 229°C (Jiaqiang, et al, 2016).



Gambar 2.16 Struktur metil linoleat
Sumber: Zhu (2016)

2.7.5 Metil Laurat

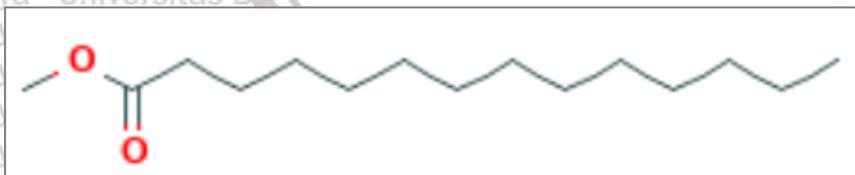
Metil laurat merupakan bentuk turunan dari asam laurat. Metil laurat diperoleh dengan mereaksikan asam laurat dengan alkohol dan katalis. Dalam proses esterifikasi yang dilakukan, asam laurat direaksikan dengan methanol. Metil laurat berwujud sebagai cairan yang tidak memiliki warna. Metil laurat memiliki rumus molekul $C_{13}H_{26}O_2$ yang mempunyai titik didih pada 262°C , titik leleh pada 5°C , densitas sebesar $0,873 \text{ kg/m}^3$, *flash point* pada 113°C , viskositas kinematik sebesar $3,27 \text{ mm}^2/\text{s}$, *higher calorific value* sebesar $37,968 \text{ MJ/kg}$, dan juga berat molekul sebesar $214,34 \text{ g/mol}$ (Zhu, et al, 2016).



Gambar 2.17 Struktur metil laurat
Sumber: Zhu (2016)

2.7.6 Metil Miristat

Metil miristat merupakan bentuk turunan dari asam miristat. Metil miristat diperoleh dengan mereaksikan asam miristat dengan alkohol dan katalis. Dalam proses esterifikasi yang dilakukan, asam miristat direaksikan dengan methanol. Metil miristat mempunyai rumus molekul $C_{15}H_{30}O_2$ yang memiliki berat molekul sebesar $242,2 \text{ g/mol}$, titik didih pada 323°C , titik leleh pada 18°C , densitas sebesar $0,855 \text{ g/cm}^3$, viskositas kinematik sebesar $3,30 \text{ mm}^2/\text{s}$, dan juga *higher calorific value* sebesar $38,89 \text{ MJ/kg}$ (Knothe, et al, 2005).

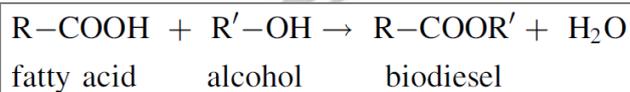


Gambar 2.18 Struktur metil miristat
Sumber: Zhu (2016)

2.8 Esterifikasi

Esterifikasi adalah proses untuk mengkonversi asam lemak bebas (*free fatty acid*) menjadi ester dengan katalis asam (Nourredine, 2010). Reaksi esterifikasi asam lemak bebas dengan alkohol merupakan reaksi yang *reversible*, sehingga untuk membuat ester digunakan alkohol berlebih (*excess* alkohol) atau dengan menghilangkan air dari system reaksi (Holilah, et al, 2014). Biasanya, FAME diproduksi langsung dari minyak nabati itu sendiri (trigliserida)

dengan reaksi transesterifikasi. Namun, terdapat reaksi saponifikasi yang merupakan reaksi yang tidak diinginkan sehingga menyebabkan pemisahan alkil *ester* dan gliserol menjadi sulit. Reaksi saponifikasi juga dapat menyebabkan terjadinya penggumpalan pada saat proses penyaringan FAME. Esterifikasi memakan waktu reaksi yang lebih cepat untuk menghasilkan FAME apabila dibandingkan dengan transesterifikasi. Karena esterifikasi hanya membutuhkan satu kali reaksi dari *free fatty acid* menjadi FAME, sedangkan transesterifikasi merupakan reaksi 3 tahap yaitu mengubah trigliserida menjadi digliserida, monogliserida kemudian menjadi FAME. (Aranda, et al, 2007). Gambar 2.19 dibawah ini menunjukkan reaksi pada esterifikasi.



Gambar 2.19 Reaksi esterifikasi pada asam lemak bebas
Sumber: Aranda, et al (2007)

Reaksi ini dikatalisis oleh asam kuat, yang mana asam yang digunakan pada penelitian ini adalah asam sulfat (H_2SO_4). Fungsi dari asam kuat adalah untuk mengubah asam karboksilat menjadi asam terkonjugasi. Gugus karbonil kemudian mengalami serangan nukleofilik oleh atom oksigen dari alkohol yang akan menghasilkan spesies terprotonasi. Terjadi transfer proton yang berlangsung cepat antar atom oksigen. Proton dari oksigen yang berada dekat dengan R' berpindah lalu bergabung dengan proton pada atom oksigen yang lain. Selanjutnya elektron mengalami pergeseran dan molekul air lepas sehingga terbentuk asam konjugat dari *ester*. Proton kemudian lepas sehingga dihasilkan *ester*. Pemilihan katalis asam sulfat didasari oleh kecepatan reaksi yang dihasilkannya. Menurut Kastratovic (2018) pada penelitiannya yang mengesterifikasi asam stearat, penambahan asam sulfat meningkatkan kecepatan reaksi dari esterifikasi itu sendiri.

Pada proses esterifikasi yang dilakukan oleh Refaat (2008), reaksi selama 1 jam pertama pada suhu $65^\circ C$, dapat menghasilkan *yield* sekitar 83%. Melaksanakan reaksi selama 3 jam tidak akan mempengaruhi *yield* yang signifikan. Suhu $65^\circ C$ merupakan suhu optimum untuk menghasilkan *yield* FAME yang optimum pada reaksi esterifikasi (Shinde, 2009). Hohilah (2014) menyatakan bahwa saponifikasi akan semakin mudah terjadi jika presentasi katalis semakin tinggi, saponifikasi ini akan menyulitkan pemisahan produk hasil yaitu FAME dan air. Untuk mencapai hasil reaksi esterifikasi yang optimal, maka diperlukan penambahan persentase katalis yang tepat. Persentase katalis optimal yaitu sebesar 0,5 %wt sampai 1 %wt.

2.9 Pembakaran

Pembakaran merupakan salah satu reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas serta cahaya. Pembakaran akan terjadi jika memiliki 3 unsur utama, yaitu bahan bakar, pengoksidasi (oksigen / udara), dan energi aktivasi.

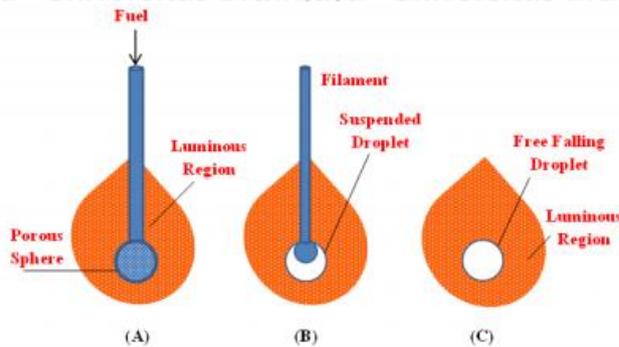
Energi aktivasi adalah panas yang digunakan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar. Terdapat 2 jenis pembakaran, yaitu premixed dan pembakaran difusi (Wardana, 2008).

Pembakaran difusi merupakan proses pembakaran bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak di campur terlebih dahulu secara mekanik, namun di biarkan tercampur secara alamiah melalui proses difusi sebelum terjadi pembakaran. Sementara itu Pembakaran *premixed* merupakan pembakaran yang terjadi karena sudah terjadi pencampuran bahan bakar dan udara secara mekanik terlebih dahulu, sebelum terjadi pembakaran. (Wardana, 2008)

2.10 Pembakaran *Droplet*

Atomisasi didefinisikan sebagai konversi dari sekumpulan liquid menjadi spray ataupun droplet yang terdispersi. Pembakaran droplet berlangsung secara difusi. Pembakaran droplet bertujuan untuk mengamati secara fisik apa saja proses yang terjadi pada saat pembakaran berlangsung.

Tiga teknik dasar telah dikembangkan untuk menyelidiki pembakaran *droplet* tunggal, yaitu *droplet* tersuspensi, *droplet* bebas, dan *droplet* bola berpori. Metode *droplet* tersuspensi adalah dengan membuat *droplet* yang ditempelkan pada filamen kuarsa tipis. Metode *droplet* bebas dengan cara menyelidiki pengaruh konveksi paksa terhadap pembakaran. Metode *droplet* bola berpori dengan cara bahan bakar diumpankan dengan jarum suntik tipis dengan memastikan bahwa laju permukaan bolanya tetap basah secara kontinu dan sama dengan laju pembakarannya (Chomiak, 1990). Fenomena tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.20 yang menunjukkan pembakaran *single droplet*. Pembakaran *droplet* tidak ada yang ideal menghasilkan api berbentuk bola karena proses pembakaran selalu menginduksi gaya apung yang akan mendorong gas panas keatas sehingga api akan berbentuk lonjong dan bahkan memanjang keatas (Wardana, 2008).



Gambar 2.20 Teknik-teknik pembakaran *droplet*
Sumber: Law (2016)

2.11 Karakteristik Pembakaran

Pada penelitian ini, terdapat beberapa karakteristik pembakaran yang diamati, yaitu:

1. Temperatur *Droplet*

Temperatur *droplet* merupakan temperatur yang dihasilkan oleh *droplet* dikarenakan proses pembakaran dari FAME yang sudah ditentukan yaitu metil laurat, metil miristat, metil oleat, metil linoleat, metil stearat, dan metil palmitat.

2. *Ignition Delay Time*

Ignition delay time merupakan waktu yang dihitung tepat setelah *droplet* dipanaskan hingga *droplet* yang dipanaskan tersebut mulai terbakar. Pada penelitian ini *ignition delay* yang digunakan adalah *ignition delay* secara global. *Ignition delay* secara global sendiri dipengaruhi oleh *physical ignition delay* dan *chemical ignition delay* (Jiaqiang, et al, 2016). *Physical ignition delay* merupakan waktu yang dihitung saat bahan bakar masuk ke ruang bakar hingga bahan bakar mencapai temperatur *auto-ignition* nya dimana bahan bakar telah teratomisasi dan bercampur dengan udara. *Chemical ignition delay* merupakan waktu yang dihitung setelah waktu *interval physical ignition delay* hingga bahan bakar menyala dan api mulai muncul (Zheng, et al, 2013).

3. *Burning rate constant*

Burning rate constant adalah kecepatan dari bahan bakar terbakar sampai bahan bakar tersebut habis. Konstanta laju pembakaran *droplet* tidak benar-benar merefleksikan laju pembakaran dari *droplet* tersebut dikarenakan ia hanya sekedar mengevaluasi laju perubahan diameter *droplet* terhadap waktu, dan karena laju perubahannya tak dapat dievaluasi secara pasti akibat interaksi antara efek penguapan asam lemak dari permukaan *droplet* yang berujung pada ukuran *droplet* yang menyusut dan mengembang tidak merata di keseluruhan permukaan *droplet*. (Faik, 2006). *Burning rate constant* dapat di hitung dengan menggunakan rumus “d2 law” dibawah ini.

$$D^2(t) = D_0^2 - K_c \cdot t \quad \dots \dots \dots (2-1)$$

Sumber: Mishra, (2014:34)

dengan:

D = diameter *droplet* pada waktu tertentu (mm)

D_0 = diameter *droplet* awal (mm)

K_c = *burning rate constant* (mm^2/s)

t = *burning lifetime* (s)

4. Tinggi Api

Tinggi api adalah tinggi dari api yang dihasilkan dari proses pembakaran api difusi, dalam hal ini lebar api yang diamati berasal dari pembakaran metil miristat, metil linoleat, metil stearate, metil palmitat, metil oleat, dan metil laurat. Setelah uap FAME terbakar, tinggi api perlahan menurun yang dipengaruhi juga oleh laju penguapan dari *droplet* asam lemak tersebut (Faik, 2006).

5. Lebar Api

Lebar api adalah lebar dari api yang dihasilkan dari proses pembakaran api difusi, dalam hal ini lebar api yang diamati berasal dari metil laurat, metil stearate, metil oleat, metil linoleat, metil palmitat, metil laurat, dan metil miristat. Lebar api bisa dianggap sebagai diameter dari nyala api dan lebar api cenderung konstan dan tidak begitu dipengaruhi oleh gaya apung udara keatas (Faik, 2006).

6. Diameter *Droplet*

Diameter awal *droplet* merupakan besarnya diameter dari *droplet* yang digunakan saat pengujian. Dalam penelitian ini diameter *droplet* dijadikan sebagai variabel kontrol dimana diameternya adalah sebesar 1.80 mm yang diletakan menggantung (*suspended droplet method*) karena dianggap paling ideal dengan mekanisme pembakaran yang dipakai pada penelitian kali ini menggunakan koil dari kawat *nickel* sebagai *heater* atau pemanas. Apabila diameter *droplet* terlalu kecil maka proses pembakaran terjadi terlalu cepat dan akan sulit untuk diamati karakteristik pembakarannya. Sedangkan untuk diameter *droplet* yang terlalu besar akan menghasilkan kondisi *droplet* yang tak stabil dan terjatuh pada saat terjadi proses penguapan.

2.12 Hipotesis

Karakteristik pembakaran biodiesel sangat dipengaruhi oleh struktur dan komposisi dari *fatty acid methyl ester* (FAME) yang menyusun biodiesel tersebut. Dengan diketahuinya berbagai macam karakteristik pembakaran yang dimiliki oleh FAME penyusun biodiesel, maka kedepan diharapkan dapat diciptakan biodiesel yang memiliki karakteristik pembakaran yang baik serta efisiensi pembakaran yang baik.

Pada penelitian ini, struktur dari FAME yang diperhatikan adalah banyaknya atom karbon dan jumlah ikatan rangkap yang ada pada struktur molekul tersebut. Dari penelitian-penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa semakin banyak atom karbon maka *ignition delay time* akan, *ignition temperature* semakin tinggi, dimensi nyala api semakin besar, dan *burning rate constant* lebih tinggi. Sementara itu, semakin banyak ikatan rangkap pada *droplet* FAME maka akan menurunkan *ignition delay time* dan *burning rate* serta membuat temperatur pembakaran semakin tinggi.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental (*Experimental Research*) dimana pada metode ini pengamatan dilakukan secara langsung pada objek yang diamati. Data-data yang didapatkan dari penelitian akan langsung dibandingkan dengan hipotesis.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mesin – Mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang sejak bulan Maret 2020 hingga bulan Mei 2020

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan didalam penelitian ini dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya tidak dipengaruhi dan tidak ditentukan oleh variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel bebas yang digunakan adalah jenis jenis *fatty acid methyl ester (FAME)*. Dalam penelitian ini diamati jenis FAME dengan variasi jumlah atom karbon pada *saturated FAME* dan jumlah ikatan rangkap pada FAME dengan jumlah atom karbon 18.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas dan hasilnya akan didapatkan setelah penelitian dilakukan. Pada penelitian ini, variabel terikat yang digunakan adalah *ignition delay time*, lama waktu pembakaran, *burning rate*, temperatur nyala api, serta lebar api, dan tinggi api.

3. Variabel Kontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang telah ditentukan sebelum penelitian dilakukan dan nilainya konstan. Dalam penelitian ini, variabel terkontrolnya adalah diameter *droplet* sebesar 1.8 mm, temperature *heater* sebesar 720 °C.

3.4 Alat-Alat Penelitian

Dalam penelitian ini, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Alat Pembentuk *Droplet*

Alat ini berfungsi untuk membentuk *droplet* dari *fatty acid methy ester* yang nantinya akan diletakan pada *thermocouple* ada pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2, Alat ini terdiri dari:

Alat pengatur volume *droplet*

Spesifikasi:

Merek : NovoPen 4 Novo Nordisk

Buatan : China

Skala Ukuran : 0,05 ml



Gambar 3.1 Alat pengatur volume *droplet*

Alat suntik

Spesifikasi:

Merek : One Med

Diameter jarum : 0,1 mm

Volume tabung : 1 ml

Buatan : Jerman



Gambar 3.2 Alat suntik

2. *Thermocouple*

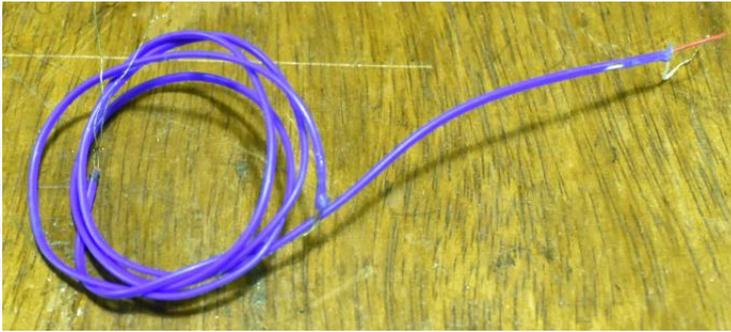
Alat dalam Gambar 3.3 digunakan untuk mengukur dan mendeteksi perubahan temperatur dengan dua jenis logam konduktor yang dihubungkan pada ujungnya.

Spesifikasi:

Tipe : K

Diameter : 0,2 mm

Temperatur yang mampu diuji : 0°C – 1370°C



Gambar 3.3 Thermocouple

3. **Accumulator**

Gambar 3.4 berfungsi sebagai sumber daya *heater* yang digunakan pada penelitian ini.

Spesifikasi:

- Merek : GS Astra
- Tegangan : 12 Volt
- Arus : 5 Ampere



Gambar 3.4 Accumulator

4. **Saklar**

Gambar 3.5 berfungsi sebagai pemutus dan penyambung arus.

Spesifikasi:

- Jumlah Saklar : 1 Unit



Gambar 3.5 Saklar

5. Heater

Gambar 3.6 berfungsi untuk memanaskan *droplet* agar menimbulkan nyala api pada *droplet*.

Spesifikasi:

Material : Ni

Diameter : 0,5 mm



Gambar 3.6 Heater

6. Datalogger

Gambar 3.7 merupakan alat yang digunakan untuk mengubah data dari *thermocouple* menjadi data digital yang nantinya akan dibaca melalui laptop.

Spesifikasi:

Merek : Advantech

Aplikasi : DAQNav-USB4718

Tipe : USB-4718



Gambar 3.7 Datalogger

7. Laptop

Alat dalam Gambar 3.8 berfungsi untuk mengolah dan menyimpan data yang didapatkan dari *datalogger*.

Spesifikasi:

Merek dan Tipe : Asus X456URK

Sistem Operasi : Windows 10 Home Single Language 64-bit

Processor : Intel® Core™ i5-7200U CPU @ 2,50 GHz

Memory : 8GB / 1 TB



Gambar 3.8 Laptop

8. Kamera

Gambar 3.9 berfungsi untuk merekam proses pengambilan data yang dilakukan:

Spesifikasi:

- Merek : Nikon
- Tipe : D3400
- Resolusi perekam video : Full HD 1080p / 60 FPS
- Memory eksternal : 16 GB



Gambar 3.9 Kamera

9. Tripod

Gambar 3.10 berfungsi sebagai tempat dudukan kamera agar kualitas video yang diperoleh baik.

Spesifikasi:

- Tinggi Maksimal : 1060 mm



Gambar 3.10 Tripod

10. Gelas Kimia

Gambar 3.11 digunakan untuk menampung air untuk mencairkan asam lemak dan mencampurkan FAME

Spesifikasi:

Merek : Duran

Volume : 100 ml



Gambar 3.11 Gelas kimia

11. Tabung Reaksi

Gambar 3.12 digunakan untuk memanaskan FAME yang akan diuji karakteristik pembakarannya.

Spesifikasi:

Merek : Iwaki



Gambar 3.12 Tabung reaksi

12. Timbangan elektrik

Timbangan elektrik pada Gambar 3.13 adalah alat yang berfungsi untuk menimbang bahan yang ingin digunakan dalam proses esterifikasi untuk menghasilkan FAME.

Spesifikasi:

Merek : Casio



Gambar 3.13 Timbangan elektrik

13. *Burette*

Gambar 3.14 berfungsi untuk mengendapkan dan memisahkan air dan juga FAME yang merupakan hasil dari proses esterifikasi.

Spesifikasi:

Merek : Pyrex

Ukuran : 250 ml



Gambar 3.14 Burette

14. *Hot Plate Stirrer*

Gambar 3.15 digunakan untuk memanaskan dan mengaduk asam lemak, methanol, katalis yaitu H_2SO_4 Untuk merubah *fatty acid* menjadi FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*).

Spesifikasi:

Merek : Faithful Magnetic Stirrer



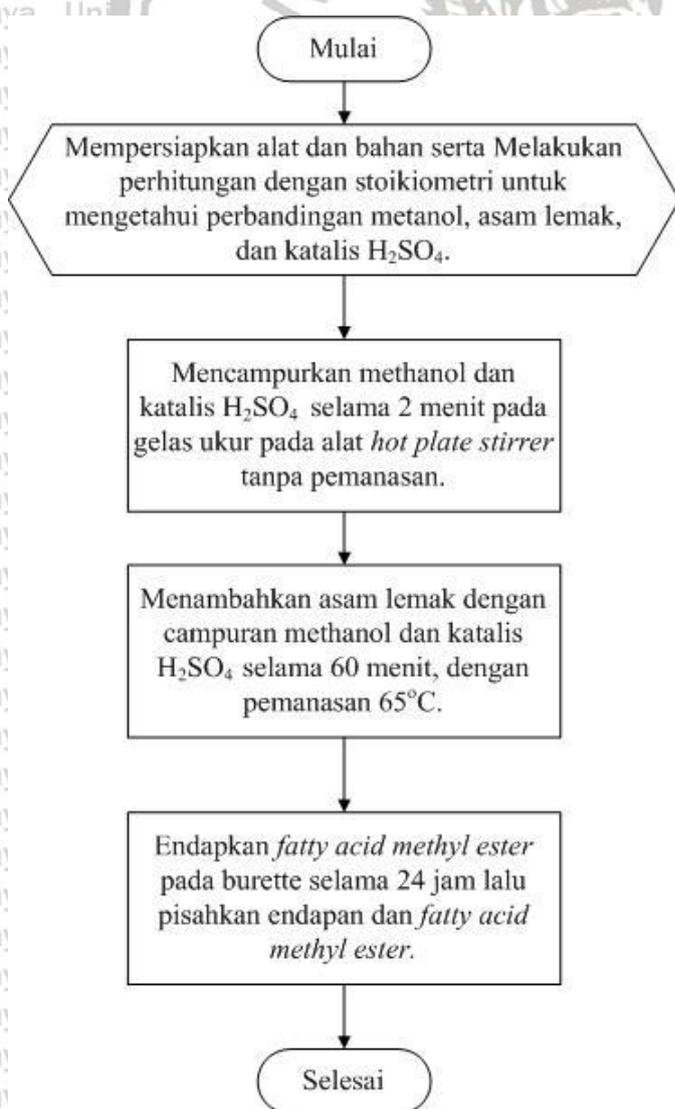
Gambar 3.15 Hot plate stirrer

3.5 Prosedur Pembuatan FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*)

1. Melakukan perhitungan dengan stoikiometri untuk mengetahui perbandingan methanol, asam lemak, dan katalis H_2SO_4 .
2. Mencampurkan methanol dan katalis H_2SO_4 selama 2 menit pada gelas ukur pada alat *hot plate stirrer* tanpa pemanasan.
3. Menambahkan asam lemak dengan campuran methanol dan katalis H_2SO_4 selama 60 menit, dengan pemanasan $65^\circ C$.
4. Memanaskan *fatty acid methyl ester* dengan suhu $100^\circ C$ untuk menguapkan air yang tersisa selama 30 menit.
5. Selesai.

3.6 Diagram alir pembuatan FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*)

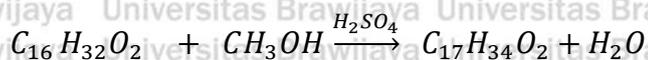
Gambar 3.16 merupakan diagram alir dalam penelitian ini.



Gambar 3.16 Diagram alir pembuatan FAME

3.7 Reaksi Esterifikasi

1. Reaksi Esterifikasi Asam Palmitat



256,43 gr/mol 32,04 gr/mol

8 : 1

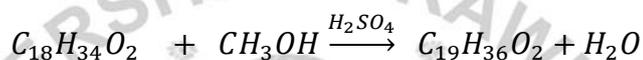
8 : 2 ≈ 4 : 1 (*excess alcohol 100%*)

100 gram : 25 gram

$H_2SO_4 = 0,5$ % massa reaktan

$$\text{Massa } H_2SO_4 = \frac{0,5}{100} \times (100 \text{ gram} + 25 \text{ gram}) = 0,625 \text{ gram}$$

2. Reaksi Esterifikasi Asam Oleat



282,49 gr/mol 32,04 gr/mol

8,82 : 1

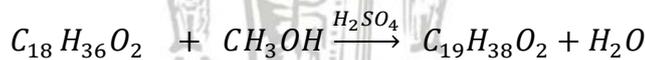
8,82 : 2 ≈ 4,41 : 1 (*excess alcohol 100%*)

100 gram : 22,68 gram

$H_2SO_4 = 0,5$ % massa reaktan

$$\text{Massa } H_2SO_4 = \frac{0,5}{100} \times (100 \text{ gram} + 22,68 \text{ gram}) = 0,613 \text{ gram}$$

3. Reaksi Esterifikasi Asam Stearat



284,48 gr/mol 32,04 gr/mol

8,88 : 1

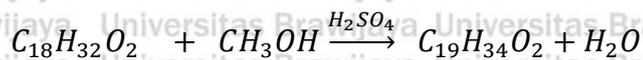
8,88 : 2 ≈ 4,44 : 1 (*excess alcohol 100%*)

100 gram : 22,52 gram

$H_2SO_4 = 0,5$ % massa reaktan

$$\text{Massa } H_2SO_4 = \frac{0,5}{100} \times (100 \text{ gram} + 22,52 \text{ gram}) = 0,61 \text{ gram}$$

4. Reaksi Esterifikasi Asam Linoleat



280,45 gr/mol 32,04 gr/mol

8,75 : 1

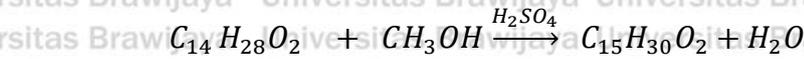
8,75 : 2 ≈ 4,375 : 1 (*excess alcohol 100%*)

100 gram : 22,86 gram

$H_2SO_4 = 0,5 \%$ massa reaktan

$$\text{Massa } H_2SO_4 = \frac{0,5}{100} \times (100 \text{ gram} + 22,86 \text{ gram}) = 0,614 \text{ gram}$$

5. Reaksi Esterifikasi Asam Miristat



$$228,37 \text{ gr/mol} \quad 32,04 \text{ gr/mol}$$

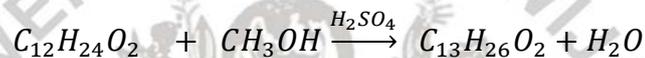
$$7.13 \quad : \quad 1$$

$$7.13 \quad : \quad 2 \approx 3.565 : 1 \text{ (excess alcohol 100\%)}$$

$$100 \text{ gram} \quad : \quad 28.05 \text{ gram}$$

$H_2SO_4 = 0,5 \%$ massa reaktan

6. Reaksi Esterifikasi Asam Laurat



$$200,32 \text{ gr/mol} \quad 32,04 \text{ gr/mol}$$

$$6.25 \quad : \quad 1$$

$$6.25 \quad : \quad 2 \approx 3.125 : 1 \text{ (excess alcohol 100\%)}$$

$$100 \text{ gram} \quad : \quad 32 \text{ gram}$$

$H_2SO_4 = 0,5 \%$ massa reaktan

$$\text{Massa } H_2SO_4 = \frac{0,5}{100} \times (100 \text{ gram} + 32 \text{ gram}) = 0,66 \text{ gram}$$



3.8 Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.17 Skema instalasi penelitian

Keterangan Gambar 3.17:

1. Laptop
2. Data Logger
3. Thermocouple
4. Coil Heater
5. Mekanisme penggerak coil
6. Accumulator

7. Thermocouple junction

8. Kamera DSLR

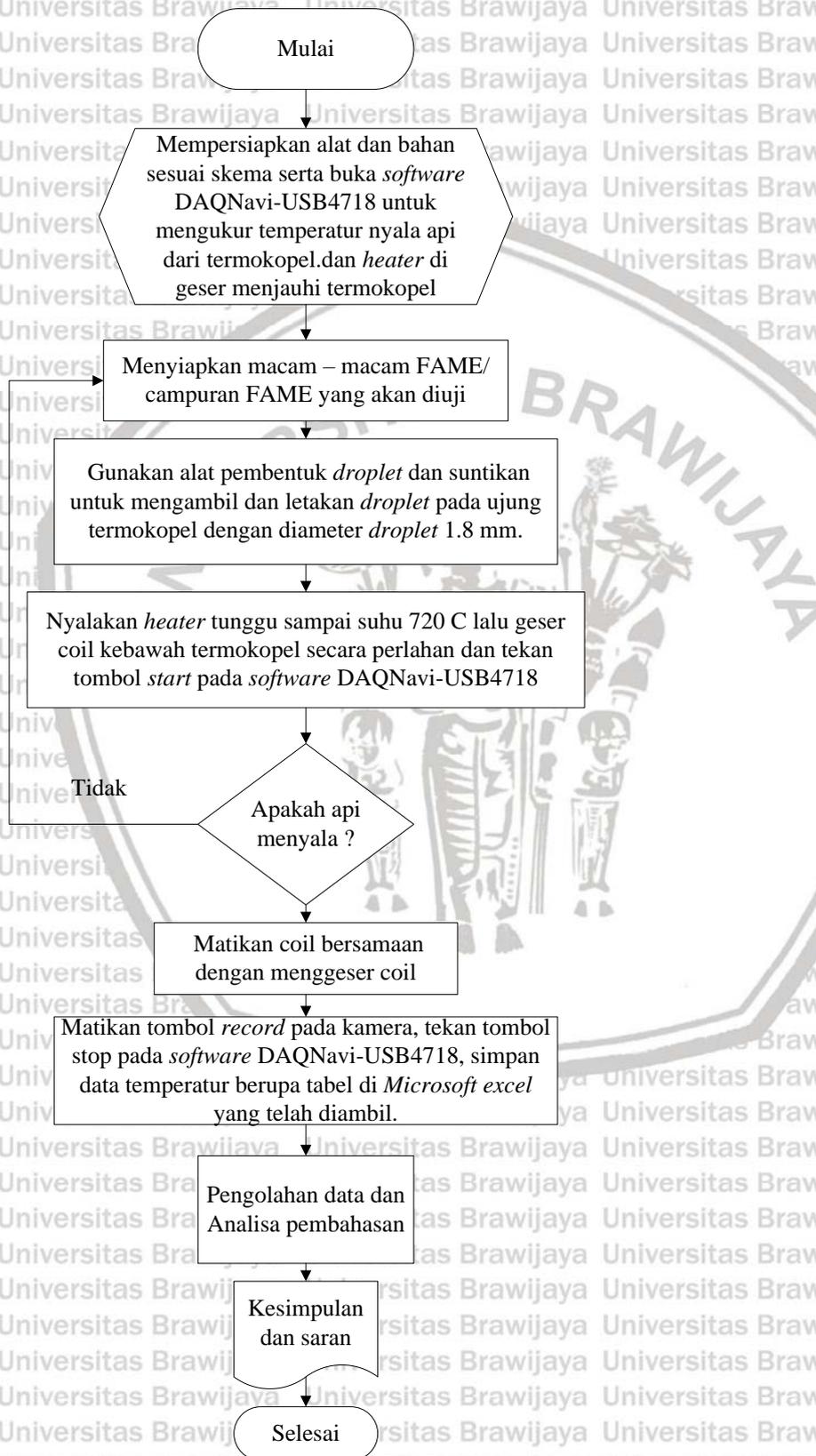
3.9 Prosedur Pengambilan Data

Urutan langkah – langkah yang dilakukan dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Pasang dan atur kamera di bagian depan *coil* untuk melihat nyala api selama proses pembakaran *droplet*.
2. Sambungkan *datalogger* pada laptop dan termokopel.
3. Atur termokopel tepat diatas *coil* dengan jarak antar keduanya 3 mm.
4. Menggeser heater menjauhi termokopel.
5. Nyalakan laptop dan buka *software* DAQNav-USB4718 untuk mengukur temperatur nyala api dari termokopel.
6. Siapkan FAME yang akan diuji , yaitu metil oleat, metil linoleat, metil miristat, metil palmitat, metil stearate, dan metil laurat.
7. Gunakan alat pembentuk *droplet* dan suntikan untuk mengambil FAME.
8. Taruh *droplet* asam lemak pada ujung sambungan termokopel dengan bantuan alat pembentuk *droplet* dan posisikan suntikan insulin pada angka sekitar 20-22. Ini akan membentuk diameter *droplet* pada ukuran sekitar 1.80 mm. Hidupkan *coil* dengan menyalakan saklar yang tersambung pada *accumulator* dan *coil*.
9. Tunggu hingga temperatur *coil* mencapai 720 °C.
10. Pada saat yang bersamaan dengan *coil* yang akan digeser, tekan tombol “*record*” pada kamera dan “*start acquisition*” pada laptop.
11. Menggeser *coil* kebawah termokopel secara perlahan.
12. Lakukan perekaman pada kamera dan pengambilan data suhu pada *datalogger*.
13. Saat *droplet* mulai terbakar, matikan *coil* dan geser *coil* menjauhi termokopel.
14. Setelah proses pembakaran FAME selesai, tekan tombol “*record*” kembali pada kamera dan “*stop acquisition*” pada laptop.
15. Simpan data temperatur berupa tabel di Microsoft excel yang telah diambil.
16. Hasil pembakaran *droplet* yang terekam kamera diolah untuk memperoleh gambar setiap proses penyalaan api hingga mati.
17. Kembali ke langkah 7 untuk mengambil data masing-masing variasi sebanyak 5 kali.
18. Lakukan langkah yang sama untuk variasi yang lainnya.
19. Selesai.

3.10 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.18 merupakan alur dalam skripsi ini.

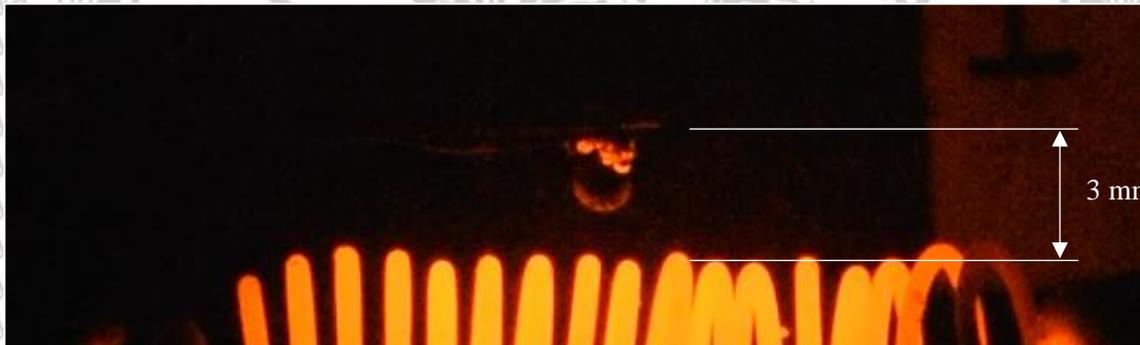


Gambar 3.18 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan dan Pengukuran Data Penelitian

Proses awal yang dilakukan yaitu membuat *droplet* dengan diameter 1,8 mm dengan toleransi $\pm 0,1$ mm. Diameter awal *droplet* yang dibuat yaitu diantara 1,7 mm hingga 1,9 mm. Toleransi terhadap diameter *droplet* diberikan karena sulit untuk membuat *droplet* dengan diameter yang sama besarnya. *Droplet* yang telah dibuat digantungkan pada *thermocouple* yang memiliki jarak 3 mm dengan *coil* yang digunakan untuk memanaskan *droplet* tersebut seperti pada Gambar 4.1 dibawah ini.

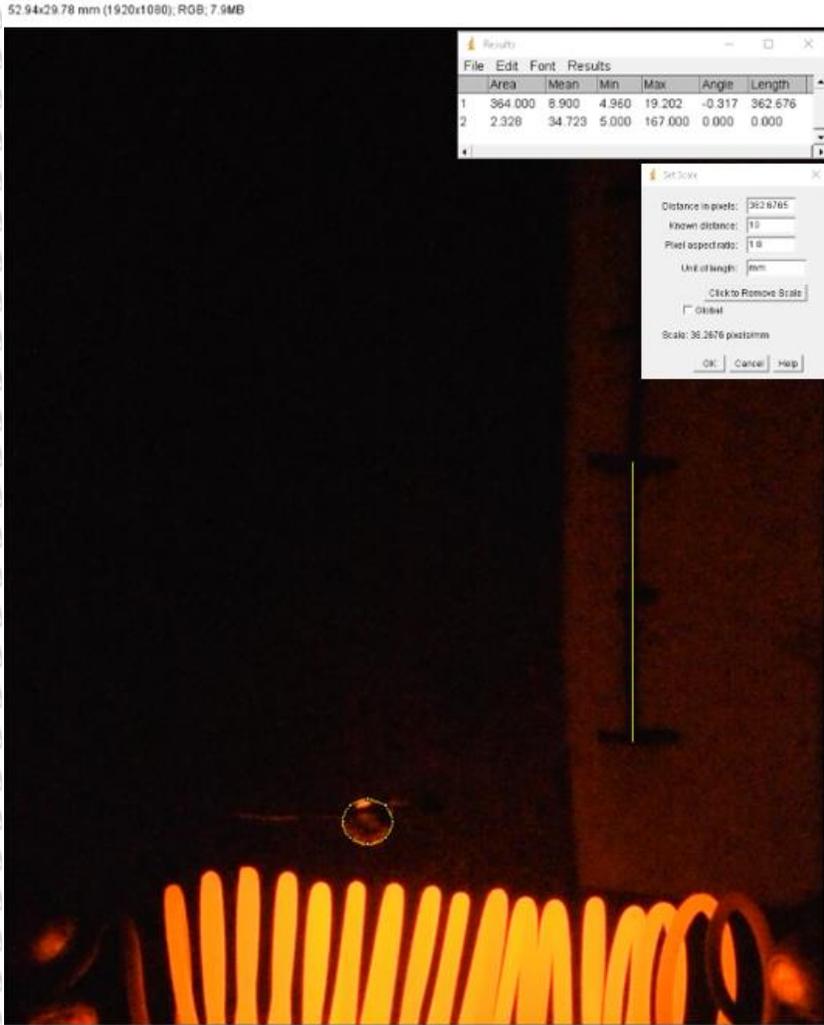


Gambar 4.1 Jarak antara *coil* dan *thermocouple*

Setelah *droplet* dinyalakan, didapatkan data-data yaitu data *Ignition Delay Time* yang dihasilkan dari video 60 fps yang diubah menjadi gambar menggunakan *software* Adobe Premiere Pro. Diameter *droplet* terhadap waktu, tinggi api terhadap waktu, dan lebar api terhadap waktu didapatkan berdasarkan pengukuran yang dilakukan menggunakan *software* ImageJ. Data temperatur *droplet* terhadap waktu berasal dari *datalogger* yang menggunakan aplikasi DaqNavi, dan juga *burning rate constant* yang didapatkan melalui perhitungan.

Untuk mengukur diameter *droplet*, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pilih salah satu gambar *droplet* yang akan diukur
2. Letakan gambar tersebut pada *software* ImageJ.
3. Lakukan pengukuran garis kuning yang ada di samping *droplet*.
4. Lakukan pengaturan Skala dari garis yang ada di samping *droplet*.
5. Lakukan pengukuran luas lingkaran *droplet*.
6. Hitung diameter *droplet* menggunakan rumus luas lingkaran.



Gambar 4.2 Contoh pengukuran diameter *droplet*

Contoh perhitungan diameter *droplet* pada metil palmitat pada Gambar 4.2:

$$L = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times L}$$

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 2.328}$$

$$D = 1,722$$

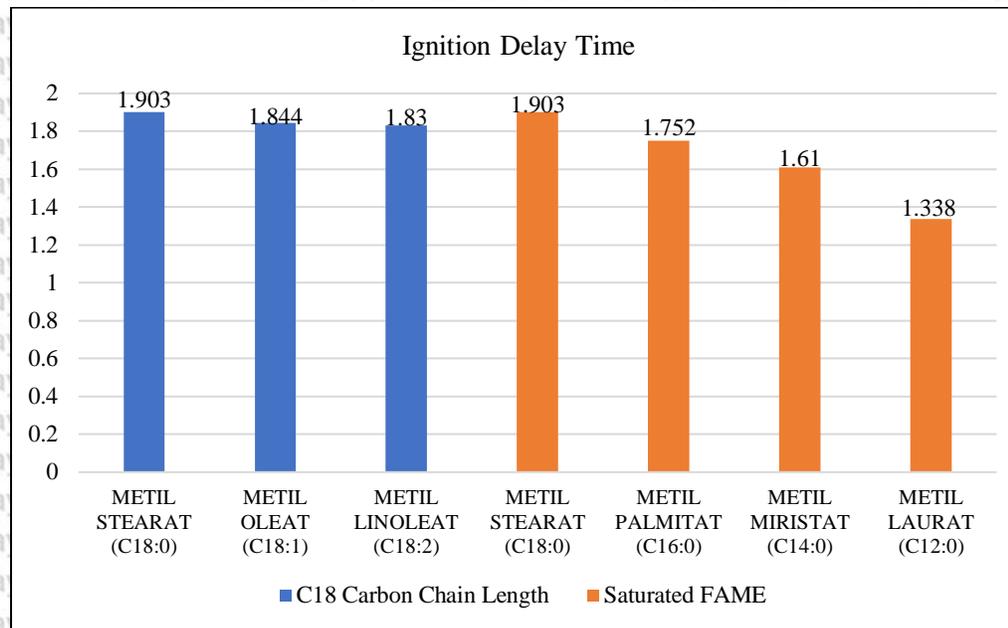
dengan:

L = Luas lingkaran *droplet* metil palmitat (mm²)

D = Diameter *droplet* metil palmitat (mm)

4.2 Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap *Ignition Delay Time*



Gambar 4.3 Pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap *ignition delay time*

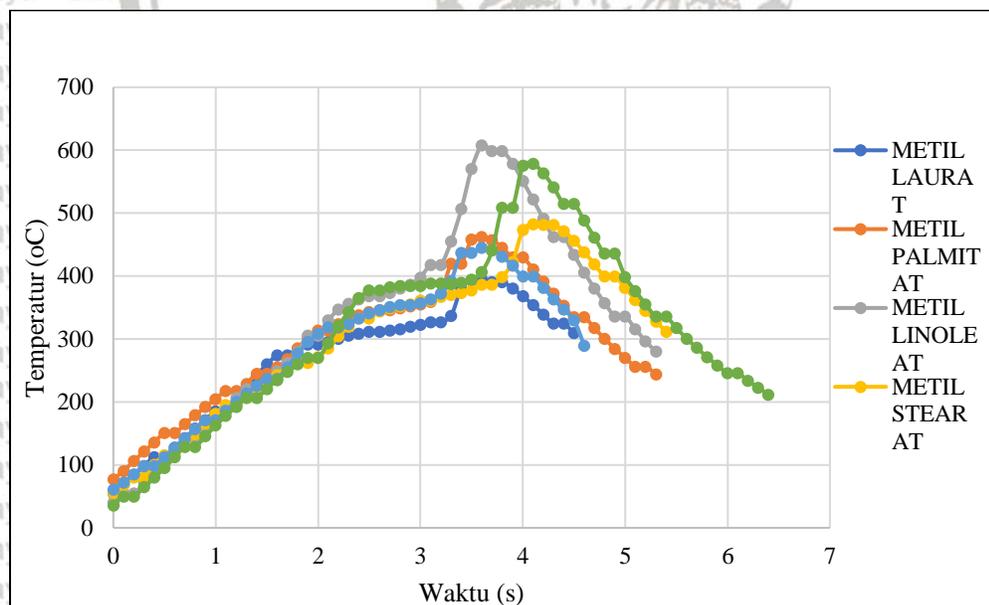
Pada Gambar 4.3, *ignition delay time* dihitung sejak ujung dari *coil* berada di bawah *droplet* hingga munculnya api pada reaksi pembakaran *droplet*. Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa metil stearat memiliki *ignition delay time* yang paling tinggi yaitu 1,903 detik. Hal ini disebabkan karena metil stearat memiliki rantai karbon paling panjang yang berjumlah 18 atom karbon. Semakin panjang rantai karbon yang ada pada *fatty acid methyl ester* menyebabkan viskositas kinematik yang dimiliki oleh FAME tersebut semakin tinggi sehingga mengakibatkan *fuel-air mixing* yang tidak baik, sulit untuk menguap, dan hal ini mengakibatkan *ignition delay time* semakin lama.

Pada grafik ini terlihat bahwa nilai *ignition delay time* tertinggi pada FAME jenuh dimiliki oleh metil stearate (C18:0) dan yang paling rendah dimiliki oleh metil laurat (C12:0). Sedangkan pada FAME yang panjang rantai atom karbonnya sama, *ignition delay time* tertinggi dimiliki oleh metil stearate (C18:0) dan paling rendah dimiliki oleh metil linoleate (C18:2). Semakin banyak atom karbon yang dimiliki oleh sebuah FAME akan membuat energi aktivasi yang dibutuhkan semakin tinggi sehingga proses FAME bercampur dengan oksigen akan lebih lama. Sementara itu semakin banyak ikatan rangkap dari sebuah FAME mengakibatkan penurunan energi aktivasi yang

dibutuhkan, hal ini membuat FAME yang ikatan rangkapnya lebih banyak memiliki *ignition delay* yang lebih cepat.

Ignition delay time juga di pengaruhi oleh *flash point* yang dimiliki oleh masing-masing FAME. *Flash point* merupakan titik nyala suatu bahan bakar pada suhu terendah, dimana pada suhu tersebut bahan bakar menguap dan bercampur dengan udara agar membentuk campuran yang dapat terbakar, sehingga semakin tinggi nilai *flash point* dari suatu bahan bakar akan menyebabkan *ignition delay time* yang lebih lama akibat kecepatan penguapannya yang lebih rendah. *Fatty acid methyl ester* yang memiliki rantai atom karbon lebih panjang memiliki *flash point* yang lebih tinggi dibandingkan dengan FAME yang rantai atom karbonnya lebih sedikit. Hal ini menyebabkan *ignition delay time* dari metil stearat memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan FAME lainnya.

4.2.2 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester* Terhadap Temperatur *Droplet*



Gambar 4.4 Pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap temperatur *droplet*

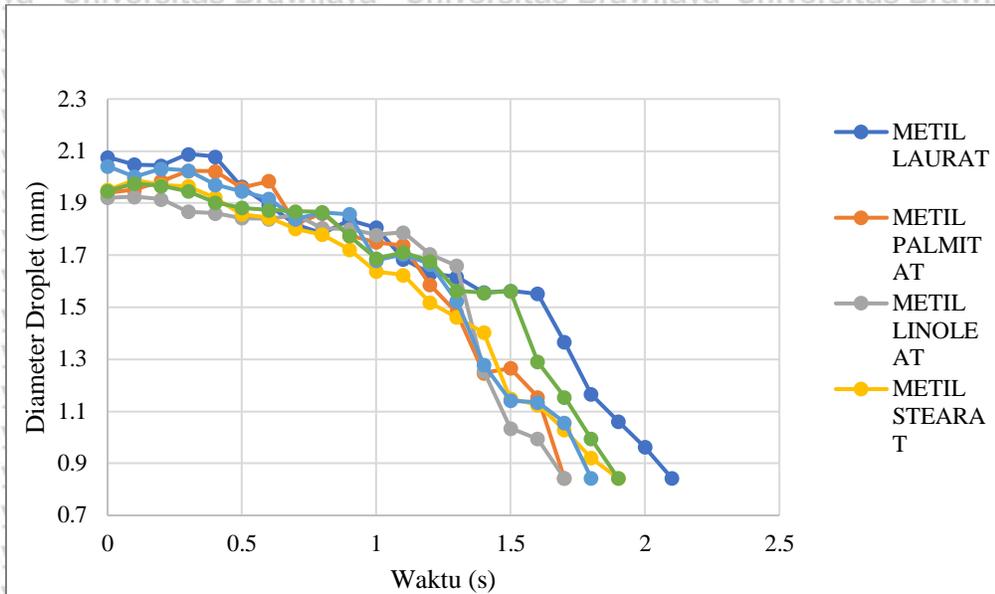
Gambar 4.4 menunjukkan grafik pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap temperatur *droplet* dimana temperatur *droplet* dihitung pada saat ujung *coil* berada di bawah *droplet* hingga api pada *thermocouple* habis. Dapat dilihat pada grafik ini bahwa metil linoleat menunjukkan temperatur maksimum yang paling tinggi sebesar

607,5°C, sedangkan metil laurat memiliki nilai temperatur maksimum terendah dibandingkan dengan yang lain yaitu sebesar 396°C.

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 kenaikan temperatur pada awal pembakaran *droplet* disebabkan karena adanya panas yang diberikan oleh *coil*. Setelah adanya kenaikan temperatur yang signifikan akibat pemanasan dari *coil*, kenaikan temperatur cenderung sedikit disebabkan karena *droplet* sudah mencapai titik didihnya dan sedang mengalami penguapan. Pada bagian ini walaupun api sudah menyala tetapi temperatur tidak meningkat secara signifikan karena *thermocouple junction* masih terbungkus *droplet* yang sedang dalam proses penguapan. Setelah melewati bagian ini temperatur *droplet* akan meningkat secara ekstrem dikarenakan *droplet* yang membungkus *thermocouple junction* sudah hampir habis akibat penguapan. Temperatur tertinggi pada grafik ini terjadi saat *droplet* sudah seluruhnya menguap tetapi api masih menyala sehingga api langsung menyentuh *thermocouple junction*.

Temperatur maksimum mengalami peningkatan seiring dengan semakin panjang rantai atom karbon yang ada pada *fatty acid methyl ester* tersebut. Temperatur maksimum pembakaran pada *droplet* FAME salah satunya dipengaruhi oleh nilai *higher heating value* (HHV) yang dimiliki oleh FAME tersebut. Nilai HHV tertinggi yaitu pada metil stearat sebesar 40,099 MJ/kg, sedangkan yang paling rendah yaitu pada metil laurat sebesar 37,968 MJ/kg. Berdasarkan propertis dari FAME, nilai HHV FAME yang memiliki ikatan karbon lebih sedikit cenderung lebih rendah dibandingkan FAME yang memiliki ikatan karbon yang lebih panjang. Semakin tinggi HHV yang dimiliki FAME maka kalor yang dilepas akan semakin besar dan menghasilkan temperatur maksimum yang lebih tinggi.

4.2.3 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester Terhadap Diameter Droplet*



Gambar 4.5 Pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap diameter *droplet*

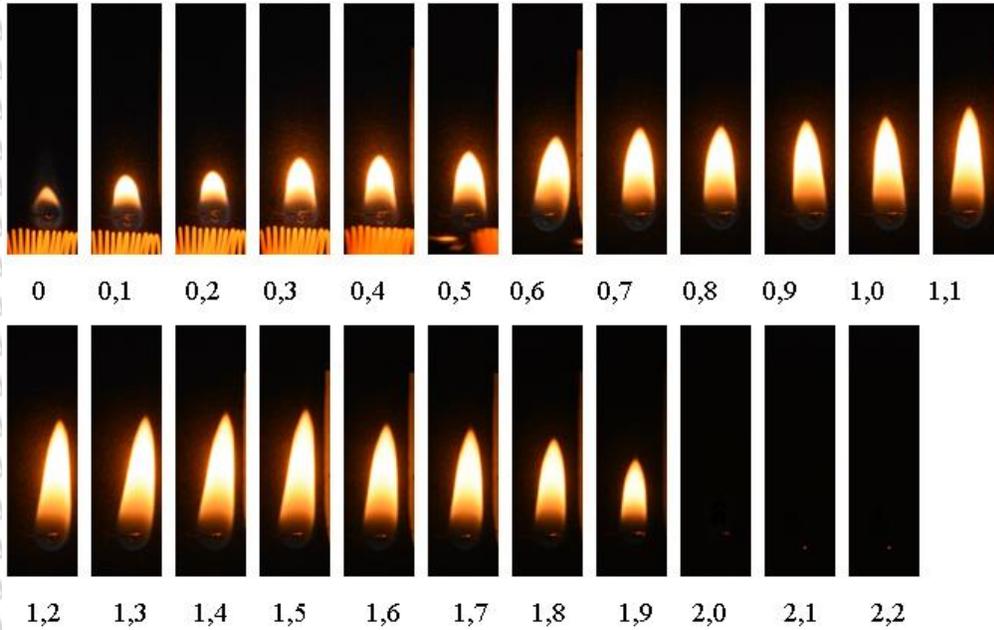
Diameter *droplet* dihitung pada saat api mulai menyala pada *droplet* hingga *droplet* menguap sampai habis. Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin lama diameter *droplet* akan semakin kecil. Diameter *droplet* semakin kecil terjadi karena lama kelamaan *droplet* akan habis akibat terjadinya pembakaran. Pada saat api baru menyala perubahan diameter *droplet* cenderung sedikit hingga sekitar 0,5 s setelah api menyala. Perubahan diameter *droplet* yang sedikit ini disebabkan karena *droplet* FAME yang menguap masih sedikit dimana laju penguapannya masih rendah sehingga diameternya cenderung hampir sama. Setelah itu diameter *droplet* akan menurun dikarenakan FAME sudah mencapai titik didihnya dan mulai menguap. Sebelum *droplet* habis terbakar terjadi penurunan diameter *droplet* yang sangat signifikan, hal ini disebabkan karena laju penguapan pada *droplet* tersebut meningkat.

Adanya fluktuasi yang ekstrem biasanya terjadi akibat adanya berbagai macam asam lemak dalam sebuah *droplet* sehingga menyebabkan *droplet* mengembang dan mengecil karena adanya perbedaan temperature penguapan. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa dari metil laurat, metil miristat, metil palmitat, metil stearat, metil linoleat, dan juga metil oleat tidak terjadi fluktuasi ukuran diameter *droplet* yang ekstrem dimana perubahan diameternya cenderung stabil. Hal ini

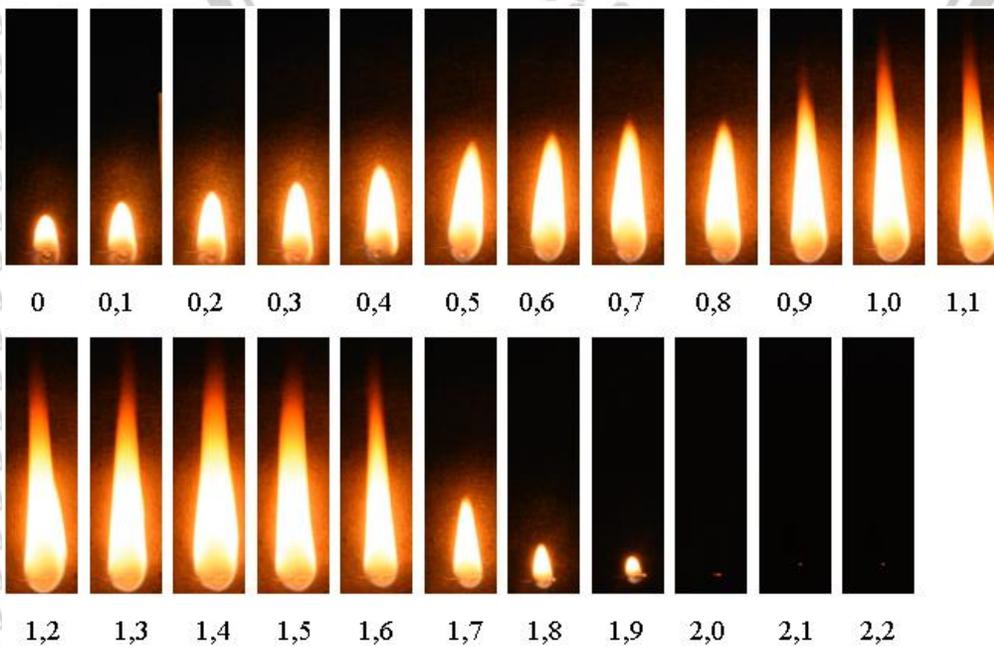
terjadi karena *droplet* FAME yang di bakar bukan merupakan FAME campuran, sehingga tidak ada perbedaan temperatur penguapan pada *droplet*.

4.2.4 Pengaruh Panjang Rantai Atom Karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap Terhadap

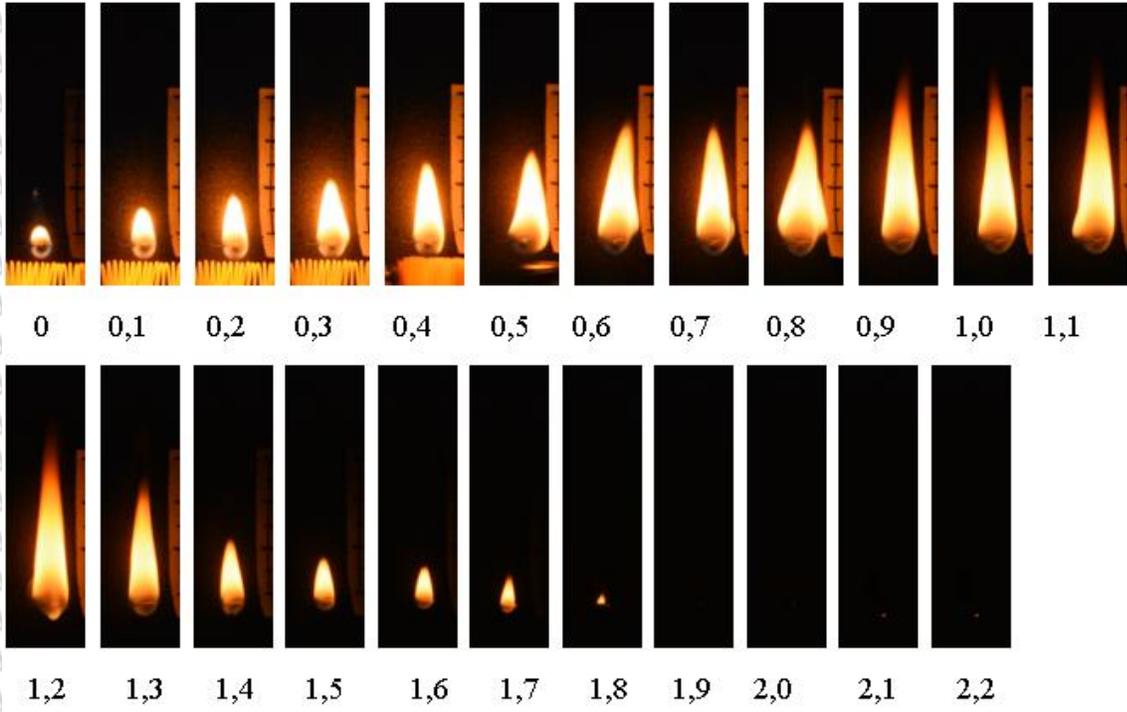
Visualisasi Nyala Api



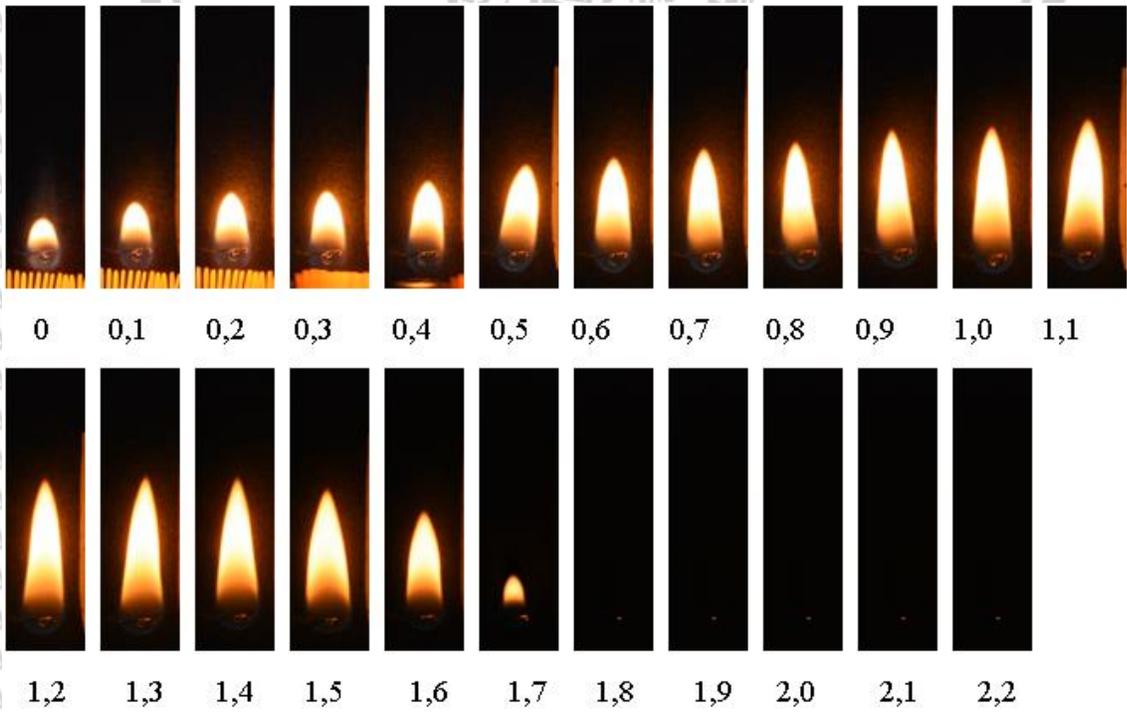
Gambar 4.6 Visualisasi pembakaran metil stearat



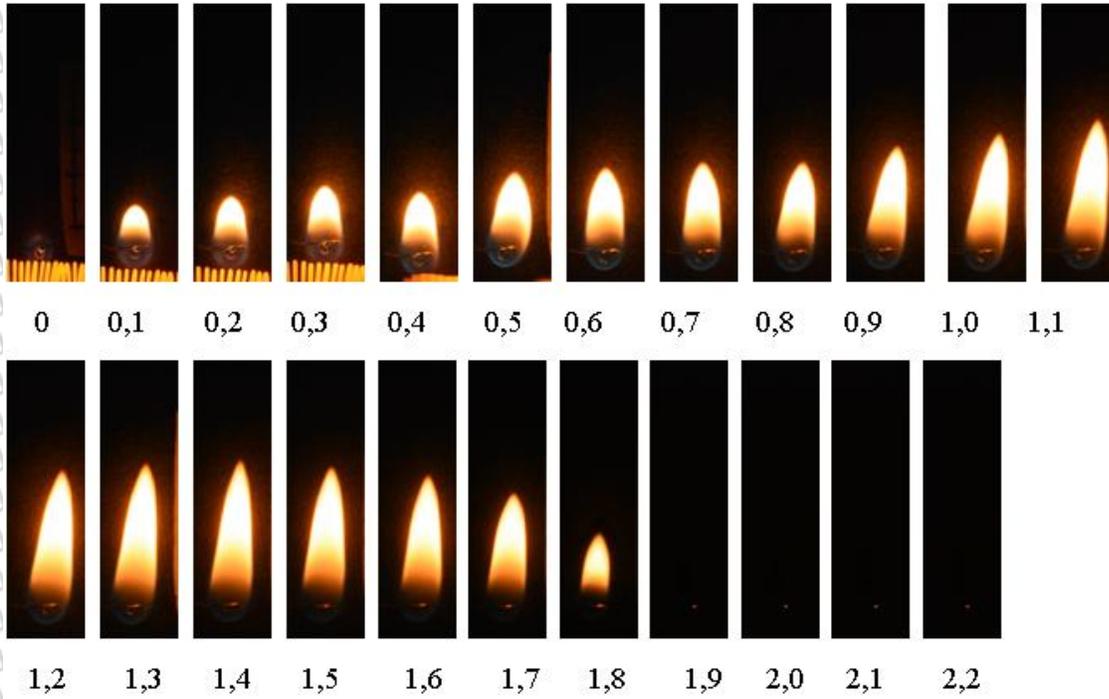
Gambar 4.7 Visualisasi pembakaran metil oleat



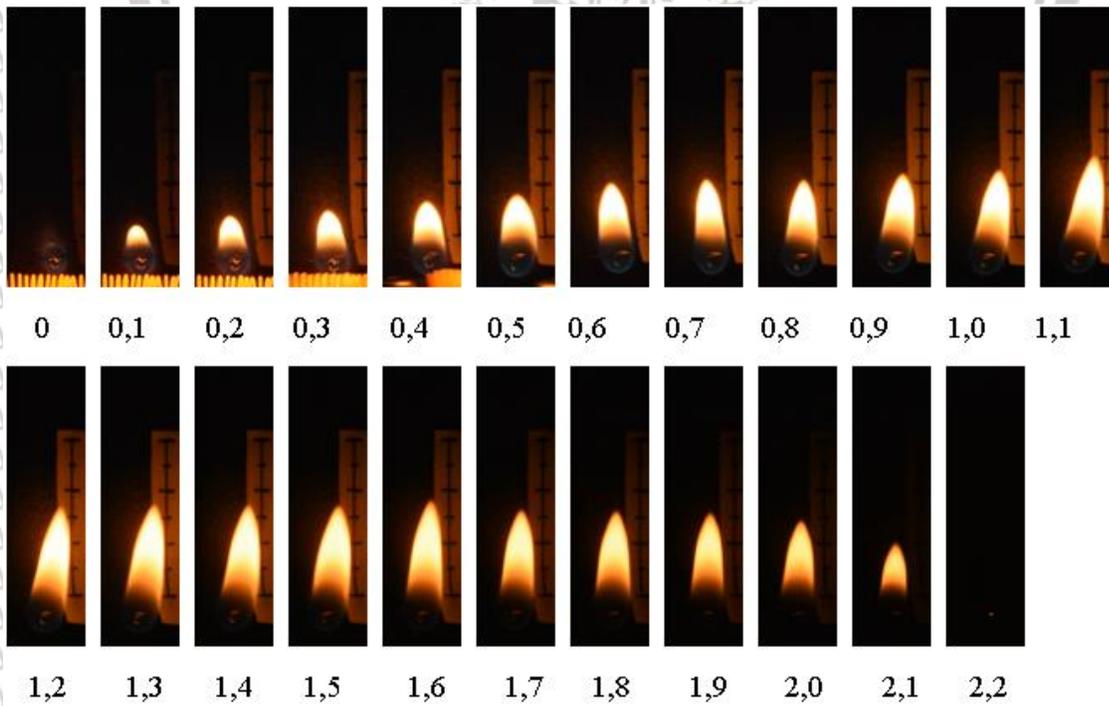
Gambar 4.8 Visualisasi pembakaran metil linoleat



Gambar 4.9 Visualisasi pembakaran metil palmitat



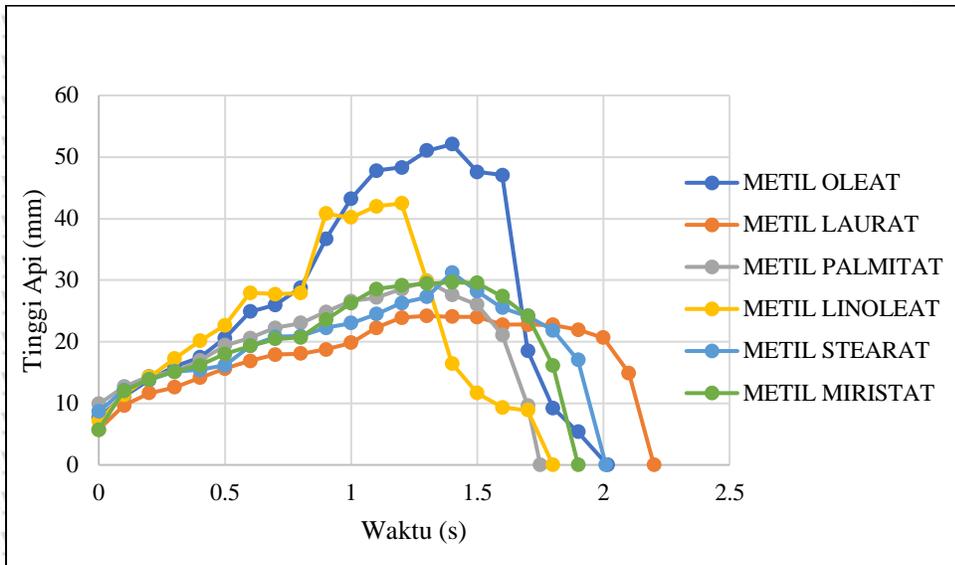
Gambar 4.10 Visualisasi pembakaran metil miristat



Gambar 4.11 Visualisasi pembakaran metil laurat

Gambar 4.6 hingga Gambar 4.11 menunjukkan visualisasi nyala api pada *droplet fatty acid methyl ester*. Gambar visualisasi nyala api ini didapatkan dari video yang kemudian dijadikan

gambar dengan pengaturan 10 *frame* per sekon. Visualisasi ini ditujukan untuk menganalisa dimensi api, dimana hasil dari gambar visualisasi ini akan dibuat menjadi grafik tinggi api terhadap waktu dan juga lebar api terhadap waktu.



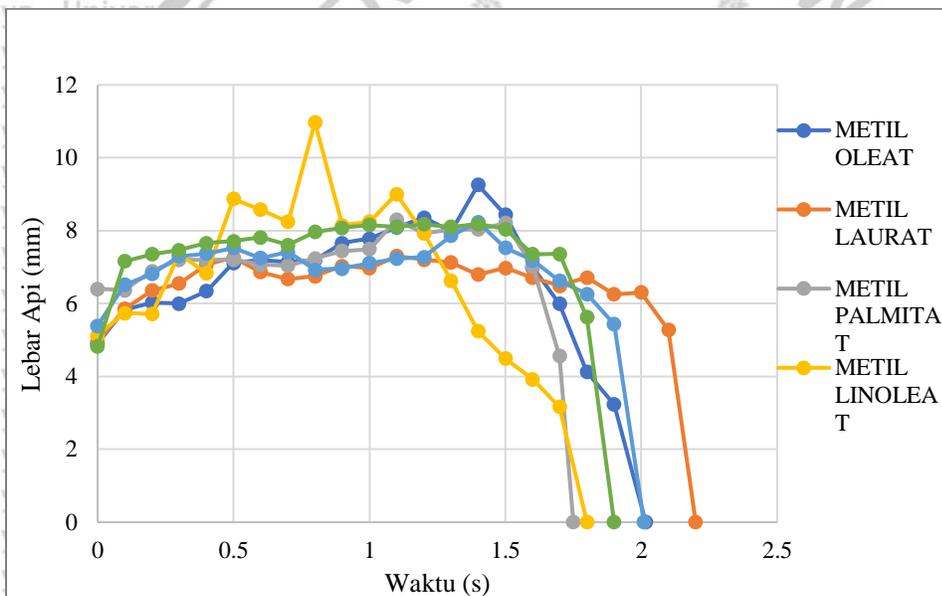
Gambar 4.12 Pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap tinggi api

Pada Gambar 4.12 menunjukkan grafik pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap tinggi api. Pada grafik ini sumbu x menunjukkan waktu dalam satuan detik, dan sumbu y menunjukkan tinggi api (mm). Tinggi api terhadap waktu dihitung mulai dari menyalanya api pada *droplet* hingga matinya api pada reaksi pembakaran *droplet*. Metil oleat memiliki tinggi api maksimum dengan yaitu 52,064 mm, diikuti oleh metil linoleat dengan tinggi 42,46 mm, metil stearat dengan tinggi 31,256 mm, metil palmitat dengan tinggi 29,853 mm, metil miristat dengan tinggi 29,672 mm, dan yang memiliki tinggi api maksimum paling rendah adalah metil laurat dengan tinggi 24,197 mm.

Grafik ini dapat dihubungkan dengan grafik sebelumnya yaitu grafik pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap diameter *droplet*. Pada pembakaran *droplet* tinggi api dipengaruhi oleh laju penguapan dan difusi bahan bakar. Berdasarkan Gambar 4.12 saat api baru menyala tinggi api masih rendah, hal ini disebabkan karena saat api baru menyala perubahan diameter *droplet* kecil sehingga laju penguapannya kecil. Saat perubahan diameter sudah mulai besar akibat penguapan, maka api akan semakin tinggi akibat laju penguapan yang semakin tinggi. FAME yang memiliki ikatan rangkap memiliki tinggi api maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan FAME jenuh. Hal ini disebabkan karena FAME

tak jenuh memiliki *burning rate* yang lebih rendah dibandingkan dengan FAME jenuh akibatnya kecepatan pembakarannya rendah. Semakin banyak ikatan rangkap akan mengakibatkan peningkatan *burning rate* oleh karena itu, metil linoleate memiliki tinggi api maksimum yang paling tinggi.

Pada grafik ini lama waktu nyala api *droplet* FAME lebih sedikit lebih lama dibandingkan dengan waktu menguapnya seluruh *droplet*. Hal ini terjadi karena pada saat bahan bakar cair berupa *droplet* tersebut habis masih ada uap bahan bakar yang bereaksi dengan udara dan masih menghasilkan api. Sementara itu jika api sudah tidak terlihat menunjukkan bahwa seluruh bahan bakar telah habis bereaksi.



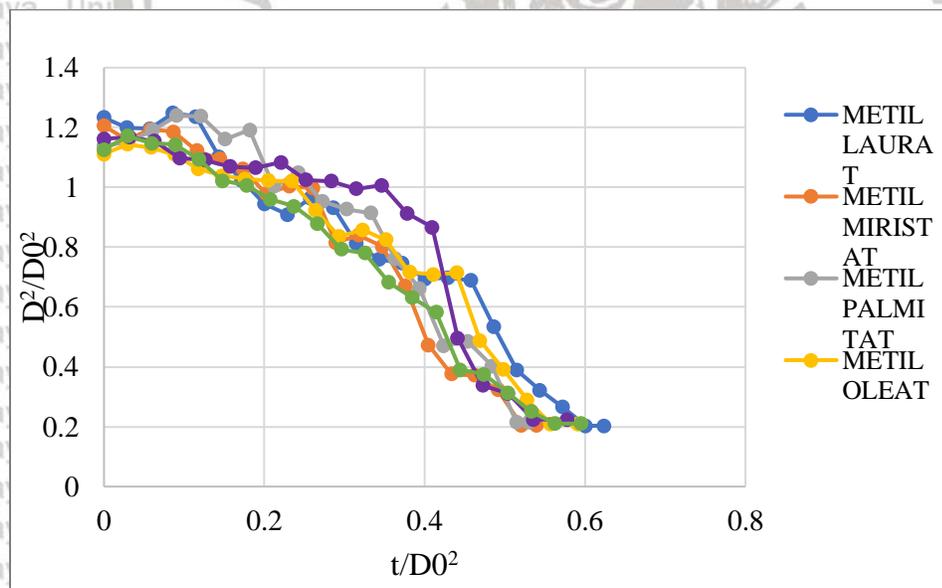
Gambar 4.13 Pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap lebar api

Gambar 4.13 menunjukkan grafik pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap lebar api. Sumbu x pada grafik ini menunjukkan waktu (s) dan sumbu y pada grafik ini menunjukkan nilai lebar api (mm). Pada penelitian ini lebar api terhadap waktu dihitung mulai dari menyalanya api pada *droplet* hingga matinya api pada reaksi pembakaran *droplet*. Pada Gambar 4,10 dapat terlihat bahwa metil linoleat memiliki lebar api maksimum yang paling tinggi dengan nilai 10,975 mm, diikuti dengan metil oleat dengan nilai 9,254 mm, metil stearate dengan nilai 8,239 mm, metil palmitat dengan nilai 8,207 mm, metil miristat dengan nilai 8,185 mm, dan metil laurat dengan nilai 7,301 mm.

Metil linoleate memiliki lebar yang paling besar dan diikuti oleh metil oleat. Hal ini disebabkan karena keduanya merupakan FAME tidak jenuh yang memiliki *burning rate* yang rendah. Proses pembakaran yang terjadi dalam waktu yang lebih lama akan menghasilkan ukuran api yang lebih besar dibandingkan dengan proses pembakaran yang berlangsung cepat.

Pada grafik ini dapat terlihat perbedaan karakteristik pembakaran dari FAME jenuh dan FAME tak jenuh. Berdasarkan fase terakhir sebelum api padam, dapat terlihat bahwa FAME tak jenuh mengalami penurunan lebar api secara gradual dan lebih bertahap dibandingkan FAME jenuh. Hal ini terjadi karena FAME tak jenuh memiliki laju difusi yang lebih lambat dibandingkan dengan FAME jenuh sehingga penurunan lebar apinya lebih perlahan dari FAME jenuh.

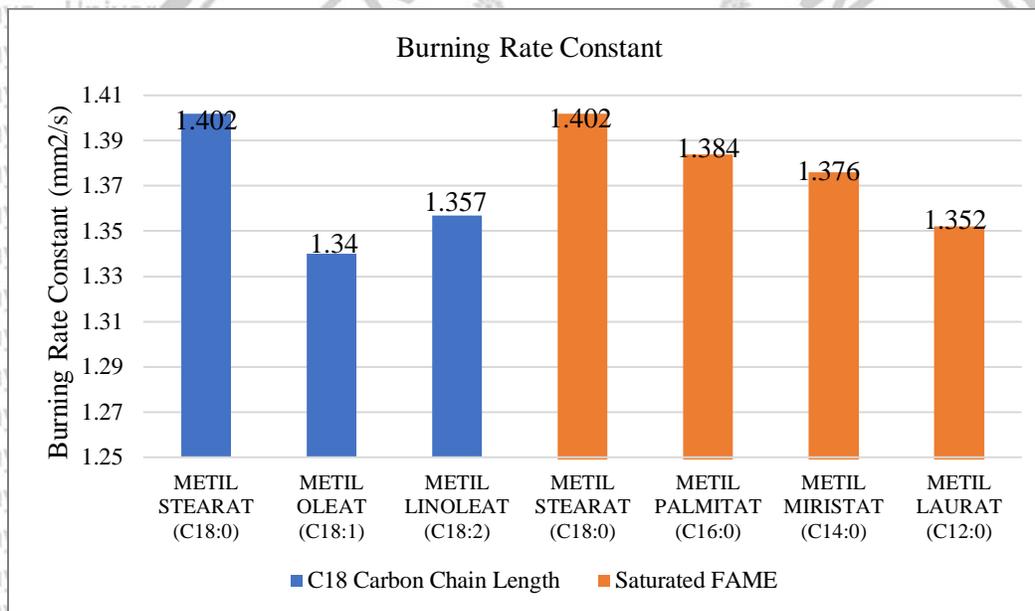
4.2.5 Pengaruh Panjang Rantai Atom karbon dan Jumlah Ikatan Rangkap *Fatty Acid Methyl Ester Terhadap Burning Rate*



Gambar 4.14 Laju perubahan luas permukaan droplet terhadap waktu

Grafik yang bisa dilihat pada Gambar 4.14 menunjukkan perubahan luas permukaan *droplet* terhadap waktu pembakaran yang dilakukan pada enam jenis *fatty acid methyl ester*. Pada grafik ini sumbu X menunjukkan t/D_0^2 yang mewakili lama waktu pembakaran, dan sumbu Y mewakili D^2/D_0^2 yang menunjukkan perbandingan antara luas permukaan awal *droplet* dan luas permukaan *droplet* di awal. Dimana pada grafik ini D_0 yang digunakan merupakan diameter awal *droplet* yang dijadikan sebagai variabel kontrol.

Berdasarkan Gambar 4.14, nilai $D^2/D0^2$ yang melebihi 1 menandakan adanya luas penampang *droplet* yang mengembang selama proses pemanasan yang dilakukan oleh *coil*. Luas permukaan dari semua FAME yang diuji menurun hal ini di karenakan adanya penguapan yang terjadi pada *droplet*. Penguapan tersebut terjadi karena *droplet* sudah mencapai suhu penguapannya masing-masing, setelah menguap FAME bercampur dengan oksigen dan terbakar. Sementara itu disisi lain ada juga diameter *droplet* yang mengalami kenaikan sedikit lalu setelah itu turun. Kenaikan ini disebabkan oleh penguapan yang terjadi pada *droplet* membuat munculnya gelembung pada *droplet* sehingga diameter *droplet* sedikit membesar. Dari grafik ini kita dapat mengetahui perubahan luas permukaan pada setiap interval waktu yang telah ditentukan.



Gambar 4.15 Pengaruh panjang rantai atom karbon dan jumlah ikatan rangkap *fatty acid methyl ester* terhadap *burning rate constant*

Pada Gambar 4.15 memperlihatkan kecepatan pembakaran dari *droplet fatty acid methyl ester* dimana *burning rate constant* merupakan perbandingan antara diameter *droplet* terhadap lama waktu pembakaran *droplet* tersebut. Lama waktu pembakaran *droplet* adalah waktu diantara menyalanya api pada *droplet* hingga api pada *droplet* padam. Pada grafik ini sumbu x menunjukkan nilai *burning rate constant* (mm²/s) dan sumbu y menunjukkan macam-macam FAME yang diuji. Semakin cepat waktu nyala api pembakaran *droplet* maka kecepatan pembakaran *droplet* tersebut juga semakin cepat.

Pada Gambar 4.16 dapat bahwa nilai *burning rate constant* tertinggi untuk FAME jenuh dimiliki oleh metil stearat dengan nilai 1.402 mm²/s, dan yang paling rendah dimiliki oleh metil

laurat dengan nilai $1.352 \text{ mm}^2/\text{s}$. Berdasarkan data tersebut, dapat diprediksikan bahwa semakin panjang rantai atom karbon yang dimiliki oleh sebuah FAME akan meningkatkan laju difusi dari FAME tersebut. Laju difusi yang tinggi menyebabkan FAME yang memiliki panjang rantai atom karbon yang lebih tinggi memiliki *burning rate constant* yang lebih tinggi.

Sedangkan pada droplet FAME yang memiliki rantai atom karbon 18 (metil stearat, metil linoleat, metil oleat), *burning time constant* dari metil stearat ($1.402 \text{ mm}^2/\text{s}$) lebih tinggi dari metil oleat ($1.34 \text{ mm}^2/\text{s}$) dan metil linoleat ($1.357 \text{ mm}^2/\text{s}$). Berdasarkan data diatas maka diprediksikan FAME yang memiliki ikatan rangkap memiliki laju difusi yang lebih rendah sehingga mengakibatkan *burning rate constant* yang dimiliki FAME tersebut lebih rendah dibandingkan dengan FAME yang tidak memiliki ikatan rangkap.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan data yang telah dianalisa dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Semakin panjang rantai atom karbon maka *higher heating value*, juga *flash point* pada *fatty acid methyl ester* akan meningkat. Hal ini akan menyebabkan *ignition delay time* meningkat, temperatur pembakaran maksimum meningkat, serta dimensi api (lebar api dan tinggi api), dan juga *burning rate* yang lebih tinggi pada *droplet fatty acid methyl ester*.

Sementara itu, dengan semakin banyaknya ikatan rangkap yang ada pada struktur molekul *fatty acid methyl ester* dapat menurunkan energi aktivasi, meningkatkan *higher heating value*, dan laju penyusutan *droplet* menjadi lebih lambat. Hal ini menyebabkan turunnya *ignition delay time*, meningkatkan temperatur pembakaran maksimum, dan *burning rate*. Sedangkan turunnya laju penyusutan *droplet* menyebabkan dimensi api yang lebih besar pada *droplet fatty acid methyl ester*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, beberapa saran yang perlu disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Peneliti sebaiknya menggunakan alat-alat penelitian yang memiliki tingkat ketelitian yang tinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sifat-sifat fisik yang dimiliki oleh *fatty acid methyl ester*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aranda, D. A., Santos, R. T., Tapanes, N. C., Ramos, A. L. D., & Antunes, O. A. C. (2008). Acid-catalyzed homogeneous esterification reaction for biodiesel production from palm fatty acids. *Catalysis letters*, 122(1-2), 20-25.
- Bojan, S. G., & Durairaj, S. K. (2012). Producing biodiesel from high free fatty acid *Jatropha curcas* oil by a two step method-an Indian case study. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 3, 63-66.
- Bozbas, K. (2008). Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2), 542-552.
- Cao, P., Dubé, M. A., & Tremblay, A. Y. (2008). High-purity fatty acid methyl ester production from canola, soybean, palm, and yellow grease lipids by means of a membrane reactor. *Biomass and Bioenergy*, 32(11), 1028-1036.
- Chomiak, T. & Rychter, T. J. (1990). *Universal Method for Determination of Burned-Gas Zone Geometry in SI Piston Engines*. Makalah dalam International Congress and Exposition. Society of Automotive Engineers. Detroit, 26 Februari – 2 Maret 1990.
- D Handoko, S. P. Produksi biogasoline berbahan dasar minyak sawit secara katalitik menggunakan reaktor sistem flow fixed bed multiple plat column.
- Demirbas, A. H., & Demirbas, I. (2007). Importance of rural bioenergy for developing countries. *Energy Conversion and Management*, 48(8), 2386-2398.
- Dudley, B. (2018). BP statistical review of world energy. BP Statistical Review, London, UK, accessed Aug, 6, 2018.
- El-Araby, R., Amin, A., El Morsi, A. K., El-Ibiari, N. N., & El-Diwani, G. I. (2018). Study on the characteristics of palm oil–biodiesel–diesel fuel blend. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(2), 187-194.
- Faik, A. M. E. D. (2016). Quantitative Investigation of the Multicomponent Fuel Droplet Combustion Using High Speed Imaging and Digital Image Processing (Doctoral dissertation, University of Sheffield).
- Gunstone, Frank. 2013. *Edible Oil Processing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd.
- H. Li, W. Yang, D. Zhou, W. Yu., (2018). Numerical study of the effects of biodiesel unsaturation on combustion and emission characteristics in diesel engine. *Applied Thermal Engineering Journal*. S1359-4311(18)30053-X:11-12.
- Hernando, J., Leton, P., Matia, M. P., Novella, J. L., & Alvarez-Builla, J. (2007). Biodiesel and FAME synthesis assisted by microwaves: homogeneous batch and flow processes. *Fuel*, 86(10-11), 1641-1644.
- S. Kent Hoekman, Amber Broch, Curtis Robbins, Eric Ceniceros, Mani Natarajan (2011) Review of biodiesel composition, properties, and specifications *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 143– 169

Holilah, H., Prasetyoko, D., Oetami, T. P., Santosa, E. B., Zein, Y. M., Bahruji, H., ... & Juwari, J. (2015). The potential of Reutealis trisperma seed as a new non-edible source for biodiesel production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 5(4), 347-353.

Jiaqiang, Pham, Minhhieu & Zhao, D. (2017). Effect of different technologies on combustion and emissions of the diesel engine fueled with biodiesel: A review. *ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 80:642.

Kastratović, V., & Bigović, M. (2018). Esterification of stearic acid with lower monohydroxylic alcohols. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 24(3), 283-291.

King, A. J., He, W., Cuevas, J. A., Freudenberger, M., Ramiaramanana, D., & Graham, I. A. (2009). Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. *Journal of experimental botany*, 60(10), 2897-2905.

Knothe, G., & Razon, L. F. (2017). Biodiesel fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 58, 36-59.

Kurnia J., Jangam, S & Akhtar, S. (2016). Advances in biofuel production from oil palm and palm oil processing wastes: A review. *Biofuel Research Journal*. 9:332-346

Lam, M. K., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2010). Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review. *Biotechnology advances*, 28(4), 500-518.

Lang, I., Hodac, L., Friedl, T., & Feussner, I. (2011). Fatty acid profiles and their distribution patterns in microalgae: a comprehensive analysis of more than 2000 strains from the SAG culture collection. *BMC plant biology*, 11(1), 124

Liebert mary ann (1987) *Journal of the american collage of toxicology* volume 6 number 3 inc publisher.

Manzanera, M., Molina-Muñoz, M. L., & González-López, J. (2008). Biodiesel: An alternative fuel. *Recent patents on biotechnology*, 2(1), 25-34.

Mishra, D. P., & Patyal, A. (2012). Effects of initial droplet diameter and pressure on burning of ATF gel propellant droplets. *Fuel*, 95, 226-233.

Panneerselvam, N., Murugesan, A. & Vijayakumar, C. (2015). Effects of injection timing on bio-diesel fuelled engine characteristics. *ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Review*. 50:17-18.

Plank, Matthias., Wachtmeister, Georg & Remmele, Edgar. (2017). Ignition characteristics of straight vegetable oils in relation to combustion and injection parameters, as well as their fatty acid composition, *ELSEVIER Fuel Processing Technology Journal*. 167:271-280.

Radhakrishnan, S., Devarajan, Y., Mahalingam, A., & Nagappan, B. (2017). Emissions analysis on diesel engine fueled with palm oil biodiesel and pentanol blends. *Journal of Oil Palm Research*, 29(3), 380-386.

Raia, R. Z., da Silva, L. S., Marcucci, S. M. P., & Arroyo, P. A. (2017). Biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil by simultaneous esterification and transesterification using sulphated zirconia. *Catalysis Today*, 289, 105-114.



Rasyid, Rismawati., Sabara, Zakir., Pratiwi, Ainun. (2018). The Production Of Biodiesel From A Traditional Coconut Oil Using NaOH/ γ -Al₂O₃ Heterogeneous Catalyst. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 175:1-2.

Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., & Giakoumis, E. G. (2015). Impact of properties of vegetable oil, bio-diesel, ethanol and n-butanol on the combustion and emissions of turbocharged HDDI diesel engine operating under steady and transient conditions. *Fuel*, 156, 1-19.

Refaat, A. A., Attia, N. K., Sibak, H. A., El Sheltawy, S. T., & ElDiwani, G. I. (2008). Production optimization and quality assessment of biodiesel from waste vegetable oil. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 5(1), 75-82.

Sajjadi, B., Raman, Abdul Aziz. & Arandiyana, H. (2016). A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications and prediction models. *ELSEVIER Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 63:62-65.

Shinde, A. G. B., Sapkal, V. S., Sapkal, R. S., & Raut, N. B. Transesterification by Reactive distillation for characterization and synthesis of biodiesel.

Sitorus, B., Hidayat, R. D. R., & Prasetya, O. (2014). Pengelolaan penggunaan bahan bakar minyak yang efektif pada transportasi darat. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(2), 117-126.

Silitonga, A. S., Atabani, A. E., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Badruddin, I. A., & Mekhilef, S. (2011). A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3733-3756.

Siram, K., Rahman, S. H., Balakumar, K., Duganath, N., Chandrasekar, R., & Hariprasad, R. (2019). Pharmaceutical nanotechnology: Brief perspective on lipid drug delivery and its current scenario. In *Biomedical Applications of Nanoparticles* (pp. 91-115). William Andrew Publishing.

Wardana, ING. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya Brawijaya University Press.

Wu, Y. P. G., Lin, Y. F., & Chang, C. T. (2007). Combustion characteristics of fatty acid methyl esters derived from recycled cooking oil. *Fuel*, 86(17-18), 2810-2816.

Zhang, Z., Jiaqiang, E., Deng, Y., Pham, M., Zuo, W., Peng, Q., & Yin, Z. (2018). Effects of fatty acid methyl esters proportion on combustion and emission characteristics of a biodiesel fueled marine diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 159, 244-253.

Zhou, Y. J., Buijs, N. A., Zhu, Z., Qin, J., Siewers, V., & Nielsen, J. (2016). Production of fatty acid-derived oleochemicals and biofuels by synthetic yeast cell factories. *Nature communications*, 7(1), 1-9.

Lei Zhu, C.S. Cheung, Zhen Huang (2016). Impact of chemical structure of individual fatty acid esters on combustion and emission characteristics of diesel engine. Energy 107 305e320

