

**PERANAN POLARITAS, GEOMETRI MOLEKUL ASAM LEMAK DAN
RESPON PENAMBAHAN 1,8-SINEOL TERHADAP KARAKTERISTIK
PENYALAAAN, PENDIDIHAN DROPLET MINYAK NABATI**

DISERTASI

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK MESIN
MINAT KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Doktor Teknik



**ENA MARLINA
NIM. 157060200111006**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**

DISERTASI

PERANAN POLARITAS, GEOMETRI MOLEKUL ASAM LEMAK DAN RESPON PENAMBAHAN 1,8-SINEOL TERHADAP KARAKTERISTIK PENYALAHAN, PENDIDIHAN *DROPLET* MINYAK NABATI

ENA MARLINA

157060200111006

Telah dipertahankan di depan komisi penguji
pada tanggal 3 Juli 2019
dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Doktor Teknik

Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping I

Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.

Dr.Eng, Lilis Yuliati, S.T., M.T.

Pembimbing Pendamping 2

Dr.Eng. Widya Wijayanti, S.T., M.T.

Malang,

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Ketua Program Doktor Teknik Mesin

Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590703 198303 1 002

TIM PEMBIMBING DAN PENGUJI

Judul Disertasi: **Peran Polaritas, Geometri Molekul Asam Lemak dan Respon Penambahan 1,8-sineol terhadap Karakteristik Penyalaan, Pendiidihan Droplet Minyak Nabati**

Nama Mahasiswa : Ena Marlina
 NIM : 157060200111006
 Program Studi : Doktor Teknik Mesin
 Minat : Mesin Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing Utama : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D
 Pembimbing Pendamping I : Dr. Eng. Lilis Yuliati, S.T., M.T.
 Pembimbing Pendamping II : Dr. Eng. Widya Wijayanti, S.T., M.T.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Slamet Wahyudi, S.T., M.T.
 Dosen Penguji II : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, S.T., M.Eng.
 Dosen Penguji Tamu : Prof. Dr. Mohammad Efendi, M.Pd., Ph.D.

Tanggal Ujian tertutup : 3 Juli 2019

SK Penguji :

PERNYATAAN ORIGINALITAS DISERTASI

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

Malang, 3 Juli 2019

Mahasiswa,

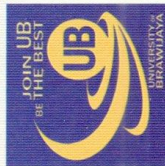


Ena Marlina
157060200111006

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM DOKTOR



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 924/UN10.F07.12.21/PP/2019

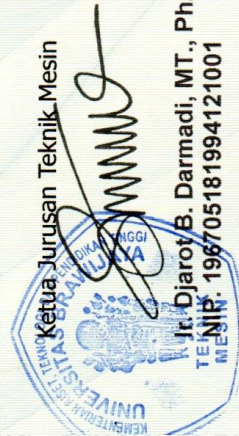
Sertifikat ini diberikan kepada :
ENA MARLINA

Dengan Judul Disertasi :
PERANAN POLARITAS, GEOMETRI MOLEKUL ASAM LEMAK DAN RESPON
PENAMBAHAN 1,8-SINEOL TERHADAP KARAKTERISTIK PENYALAHAN, PENDIDIHAN
DROPLET MINYAK NABATI

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

17 Juli 2019

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D.
NIP. 196705181994121001

Ketua Program Studi S3 Teknik Mesin

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590703 198303 1 002

PERUNTUKAN



Disertasi ini teruntuk,
Suami **Arif Junaedi, S.T** dan
Anak-anak **Sekar Rahima Sahwahita,**
Muhammad Lingga Padantya Junaedi

RIWAYAT HIDUP

Ena Marlina, lahir di Banjar, 17 Maret 1976 anak dari ayah Kardi dan Ibu Raden Homsyah. Menamatkan pendidikan TK Tunas Islam Banjar tahun 1982, SD Negeri XIV Banjar tahun 1988, SMP Negeri 1 Banjar tahun 1991, lulus SMA Negeri 1 Banjar tahun 1994, menempuh pendidikan S1 di Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang masuk tahun 1995 lulus tahun 1999, melanjutkan jenjang Magister Teknik Mesin Minat Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Brawijaya masuk tahun 2011 lulus tahun 2013. Serta melanjutkan pendidikan Doktor Teknik Mesin Minat Konversi Energi masuk tahun 2015 lulus 2019. Pengalaman kerja sebagai Dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Malang.

Malang, 10 Juli 2019

Penulis



UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillahirobbilalamiin puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas semua kemudahan, berkah dan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Judul yang diangkat dalam disertasi ini adalah Peranan Polaritas, Geometri Molekul Asam Lemak dan Respon Penambahan 1,8-sineol terhadap Karakteristik Penyalaan, Pendididhan *Droplet* Minyak Nabati.

Terima kasih yang tak terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D sebagai Promotor, Dr. Eng. Lilis Yuliati, S.T., M.T., dan Dr. Eng. Widya Wijayanti, S.T., M.T. sebagai Ko-Promotor. Atas segala arahan, bimbingan, dorongan, semangat, tenaga, waktu, pemikiran dan masukan selama menjalani pendidikan dan menyelesaikan disertasi ini. Beliau bertiga adalah sebagai pembimbing yang membangkitkan semangat dan motivasi kepada penulis agar dapat segera menyelesaikan disertasi ini.

Terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia, Kementerian Riset dan Teknologi Pendidikan Tinggi yang telah memberikan Beasiswa Program Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN) selama 3 tahun dan ditambah masa perpanjangan 1 tahun, sehingga meringankan beban biaya penulis dalam menempuh pendidikan Program Doktor ini.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas segala bantuan, arahan, perhatian, dorongan serta kemudahan dalam menyelesaikan administrasi dan memperlancar pendidikan penulis di Program Doktor sampai selesai.

Ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada dosen penguji disertasi Program Doktor; Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D., Dr. Eng. Lilis Yuliati, S.T., M.T., Dr. Eng. Widya Wijayanti, S.T., M.T., Dr. Slamet Wahyudi, S.T., M.T., Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, S.T., M.Eng., atas segala koreksi, saran dan masukan untuk perbaikan disertasi ini.

Terima kasih kepada Pimpinan Universitas Islam Malang yang telah memberikan kesempatan, ijin dan bantuan biaya tambahan kepada penulis untuk bisa mengikuti pendidikan Program Doktor pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Teristimewa penulis haturkan terimakasih dan rasa hormat kepada Suami, Arif Junaedi, S.T., yang telah memberi ijin dan ridhonya kepada penulis untuk beraktifitas di luar rumah untuk tetap berkarya dan studi hingga sampai ke titik ini. Serta atas dukungan, pengertian, semangat, pengorbanan dan doanya yang tiada henti. Untuk anak-anakku Sekar Rahima Sahwahita dan Muhammad Lingga Padantya Junaedi, atas segala dukungan, kesabaran dan pengertian serta pengorbanan khususnya waktu yang seharusnya bersama kalian tetapi terkurangi dengan berbagai aktifitas penulis.

Terima kasih kepada ke dua orang tua penulis, Alm Ibu Raden Homsyah dan Bapak Kardi serta kedua mertua, Bapak Djumad beserta Ibu yang telah mengiringi penulis dengan doa-doa selama menyelesaikan pendidikan.

Saya ucapkan terima kasih kepada teman-teman seperjuangan PDTM 2015, dan teman-teman Lab Pak Hendry, Pak Aklis, Pak Puja, Pak Ngafwan, Ibu Nurfa, Ibu Metty dan Ibu Nelcy atas kerjasama yang solid, saling membantu, bertukar informasi, diskusi, memberi semangat untuk menyelesaikan disertasi.

Terima kasih kepada semua pihak yang namanya tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis selama penelitian dan dalam menyelesaikan disertasi ini.

Penulis menyadari akan keterbatasan baik kemampuan, pengetahuan maupun wawasan keilmuan yang penulis miliki, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran, kritik dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan disertasi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dibidang Konversi Energi.

RINGKASAN

Ena Marlina, Program Doktor Teknik Mesin, Minat Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, The Role of pole and molecular geometry of fatty acids and its response to the addition of 1,8-cineole in vegetable oils droplet on ignition and boiling characteristics, Main Advisor: I.N.G. Wardana, Co-advisors: 1. Lilis Yuliati, 2. Widya Wijayanti.

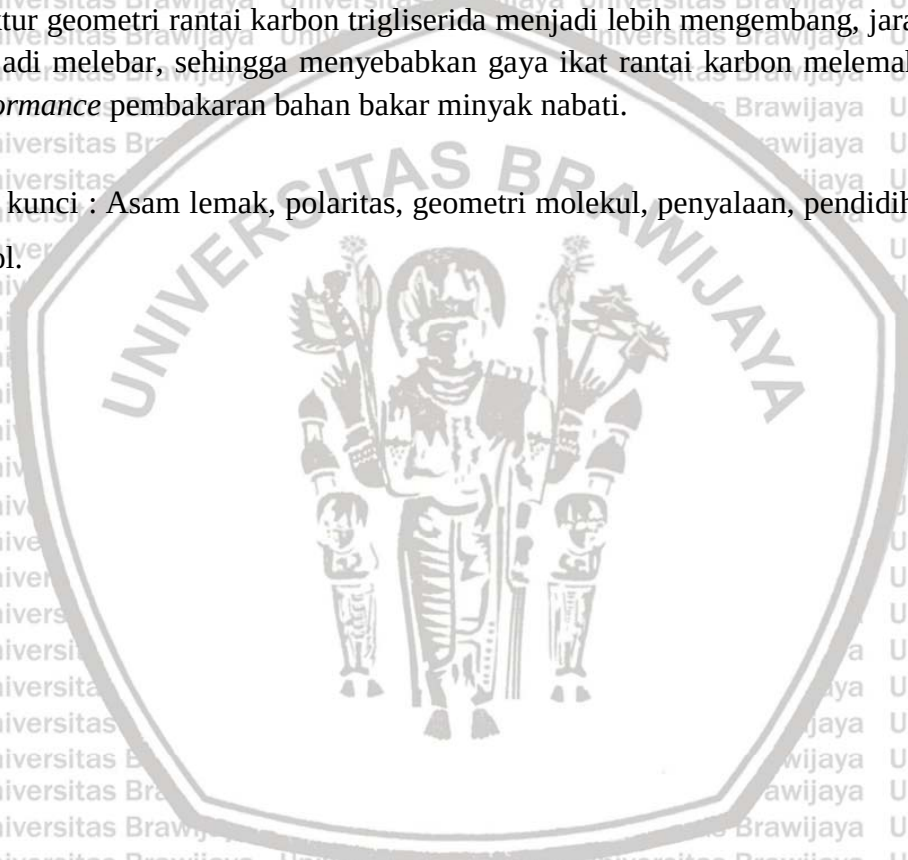
Dewasa ini telah banyak dilakukan penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif, tetapi minyak nabati mempunyai keterbatasan salah satunya, yaitu mempunyai viskositas yang tinggi karena minyak nabati memiliki rantai hidrokarbon yang panjang dan kandungan trigliserida yang tak jenuh, sehingga mengakibatkan penguapan rendah. Sifat kimia dan fisik minyak nabati sangat dipengaruhi oleh komposisi asam lemak penyusunnya. Trigliserida minyak nabati tersusun dari rantai karbon asam lemak yang berbeda-beda, sehingga peran polaritas dan geometri asam lemak minyak nabati pada karakteristik pembakaran akan berbeda pula. Selain dilihat dari segi polaritas dan geometri molekul asam lemak pada minyak nabati, pencampuran minyak nabati dengan bahan bakar lain menjadi salah satu yang perlu diteliti, karena pencampuran salah satu cara untuk menurunkan viskositas pada minyak nabati.

Penelitian ini mengamati peranan polaritas dan geometri molekul asam lemak dalam minyak nabati dan respon dari penambahan 1,8-sineol terhadap karakteristik pembakaran khususnya penyalaan dan pendidihan. Metode pengujian *droplet* menggunakan *suspended droplet* berukuran 1 mm diletakkan pada ujung *thermocouple* kemudian dipanaskan hingga terbakar menggunakan *heater* yang berjarak 3 mm dari *droplet*. *Thermocouple* yang digunakan adalah tipe K dengan diameter 0.1 mm. *Heater* yang dipakai adalah koil listrik berupa lilitan logam dengan panjang 40 mm dan tahanan 1.02 ohm, berbahan Ni-Cr dan memiliki diameter 0.9 mm. Sumber energi dari pemanas adalah arus bolak balik 220 volt diubah menjadi arus searah 12 volt menggunakan trafo *step-down* dengan arus 8 ampere, hambatan 8 ohm, dan daya 50 watt. *Droplet* dibuat dengan menggunakan *Conventional Insulin Syringe* (1 mL) dengan 100 strip, satu strip menunjukkan 10 μ L (0,00001 L), dan pembakaran dilakukan pada tekanan atmosfer dan suhu ruangan yang standar. Suhu api diukur menggunakan *thermocouple* yang dihubungkan dengan *data logger* bermerk Advantech dengan tipe produk USB-4718 dengan frekuensi sampling 1 kHz, dimana pembacaannya menggunakan program *excel* pada komputer. *Image droplet* dan nyala api diambil dengan menggunakan kamera Nikon D3300 dan visualisasi gelembung diambil dengan menggunakan kamera Canon EOS 700D. Pengambilan gambar dilakukan dengan mode video dengan kecepatan 60 fps. *Software* Vidio to JPG Converter digunakan untuk mengolah data rekaman vidio menjadi format JPG. *Software* ImageJ digunakan untuk menscale gambar JPG. Hasil pengukuran dan perhitungan disajikan dalam bentuk grafik menggunakan *software* OriginPro 8. Perubahan geometri molekul dan energi disimulasikan menggunakan *software* HyperChem Profesional.

Hasil menunjukkan asam lemak polar lebih reaktif karena muatan listrik. Asam lemak polar yang panjang dan bengkok lebih reaktif daripada yang pendek dan lurus karena yang asam lemak

polar yang panjang dan bengkok memiliki polaritas yang lebih kuat dan mobilitas elektron yang lebih tinggi. Mobilitas elektron tertinggi dalam asam lemak tak jenuh panjang dan bengkok membuat molekul kurang rapat, sehingga, laju penguapan menjadi yang tercepat. Namun, reaktivitas berkurang karena polaritas dinetralkan oleh mobilitas elektron. Adanya lebih dari satu ikatan rangkap dalam rantai karbon minyak tak jenuh ganda sebagian menghalangi mobilitas elektron, oleh karena itu, polaritasnya menjadi lebih kuat sementara mobilitas elektron masih tinggi sehingga menjadi lebih reaktif dengan tingkat penguapan yang tinggi. Laju penguapan yang lebih cepat membuat suhu pembakaran lebih rendah karena energi panas diubah menjadi panas laten untuk perubahan fase selama penguapan. Dengan penambahan 1,8-sineol mampu mengubah struktur geometri rantai karbon trigliserida menjadi lebih mengembang, jarak antar rantai karbon menjadi melebar, sehingga menyebabkan gaya ikat rantai karbon melemah serta meningkatkan *performance* pembakaran bahan bakar minyak nabati.

Kata kunci : Asam lemak, polaritas, geometri molekul, penyalan, pendidihan, penambahan 1,8-sineol.



SUMMARY

Ena Marlina. Doctoral Program of Mechanical Engineering, Energy Conversion Specialization, Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya. The Role of pole and molecular geometry of fatty acids and its response to the addition of 1,8-cineole in vegetable oils droplet on ignition and boiling characteristics. Supervisor: I.N.G. Wardana, Co-Supervisor: 1. Lilis Yulianti, 2. Widya Wijayanti.

Nowadays, there has been a lot of use of vegetable oil as an alternative fuel, but vegetable oil has its limitations, one of which is high viscosity because vegetable oils have long hydrocarbon chains and unsaturated triglyceride content, resulting in low evaporation. The chemical and physical properties of vegetable oils are strongly influenced by the composition of the constituent fatty acids. Vegetable oil triglycerides are composed of different fatty acid carbon chains, so the role of the polarity and geometry of vegetable oil fatty acids on combustion characteristics will be different. Despite of the polarity and geometry of fatty acid molecules in vegetable oils, mixing vegetable oils with other fuels is one that needs to be investigated, because mixing is one of the ways to reduce viscosity in vegetable oils.

The research aims to test the characteristics of evaporation and ignition of vegetable oil droplets. The method for testing the droplets was by using suspended droplet which was 1 mm in diameter put on the tip of thermocouple, and then it was heated to be ignited by using the electric coil heater placed 3 mm under the droplet. The thermocouple was K type with the diameter of 0.1 mm. Heater was made from Ni-Cr having the length and diameter of 40 mm and 0.9 mm, respectively, with resistance of 1.02 ohms. The energy source of the heater was alternating current of 220 volts changed into direct current of 12 volts using step-down transformer with the current of 8 amperes flowing through a resistance of 8 ohms giving a power of 50-watts. The droplets were made by using micro syringe and the combustion was done at atmospheric pressure and standard room temperature. The flame temperature was measured by using thermocouple which connected to data logger with the brand of Advantech, product type of USB-4718 and sampling frequency of 1 kHz, where the data was stored into the computer and then processed using excel software. Droplet image and flame was captured by using Nikon D3300 video camera and the visualization of bubbles was captured by using Canon EOS 700D video camera at a speed of 60 fps. Video to JPG Converter software is used to process video recording data into JPG format. *ImageJ software* is used to scan JPG images. The results of measurement and calculations are presented in graphical form using *OriginPro 8*. Software changes in molecular geometry and energy are simulated using *HyperChem Professional software*.

The results show that the polar fatty acids are more reactive due to electric charge. The long and bent polar fatty acids are more reactive than the short and straight polar one since the former one has the stronger polarity and the higher electron mobility. The highest electron mobility in the long and bent unsaturated fatty acid makes the molecules less tight so that the evaporation rate becomes the fastest. However, the reactivity decreases since the polarity is neutralized by the electron mobility. The existence of more than one double bonds in carbon chain of polyunsaturated

oil partially blocks electron mobility so that the polarity becomes stronger while the electron mobility still high so that it becomes more reactive with high evaporation rate. Faster evaporation rate makes the ignition temperature lower since the heat energy is changed into the latent heat for phase change during evaporation. The addition of 1,8-cineol able to change the geometry structure of the triglyceride carbon chain to be more expanding, the distance between the carbon chains becomes wider, causing the carbon chain binding energy to weak and increase the combustion performance of vegetable oils.

Keywords: Fatty acid, polarity, molecular geometry, ignition delay, boiling, intercalation, 1,8-cineole



DAFTAR PUBLIKASI

Paper 1, The Role of Pole and Molecular Geometry of fatty acids in Vegetable Oils droplet on Ignition and Boiling Characteristics. Renewable Energy Journal, 2020, Vol 145, pp 596-603, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.064>, indexed by Scopus (Q1), h-index 157, SJR 1,89.

Vegetable oils consist of glycerol and three variants of fatty acid. Each fatty acid gives different influence on ignition process which is important to be studied. Generally, fatty acids are categorized into polar and nonpolar fatty acids. Both of them have straight and bent molecule geometry. Their roles on evaporation and ignition are discussed based on their polarity and geometry. The study was done with a single droplet from various vegetable oils. Results show polar fatty acids are more reactive due to electric charge. Long and bent polar fatty acids are more reactive than the short and straight polar one since the former one has stronger polarity and higher electron mobility. The highest electron mobility in long and bent unsaturated fatty acid makes molecules less tight, thus, evaporation rate becomes the fastest. However, reactivity decreases since the polarity is neutralized by electron mobility. The existence of more than one double bonds in carbon chain of polyunsaturated oil partially blocks electron mobility, therefore, the polarity becomes stronger while electron mobility still high so it becomes more reactive with high evaporation rate. Faster evaporation rate makes ignition temperature lower since heat energy is changed into latent heat for phase change during evaporation.

Conferences 1, The Effect of Fatty Acids Polarity on the Combustion Characteristic of Vegetable Oils Droplet. IOP Conf. Series Material Science and Engineering 494 (2019) 012036 doi: 10.1088/1757-899X/494/1/012036.

The effect of fatty acid polarity on the combustion characteristics of vegetable oils droplets, CCO and CJO vegetable oil droplets have been studied experimentally with atmospheric pressure and room temperature. The role of intermolecular forces on the combustion characteristics of vegetable oils droplets. CCO and CJO are multicomponent vegetable oils, CCO represents saturated fatty acids while CJO represents monounsaturated fatty acids. The results showed that the burning rate of vegetable oil was influencing by the polarity of the fatty acids that compose it. CCO is dominated by polar fatty acids which shows a stable flame and around a flame shape. CJO which is dominated by non-polar fatty acids the results show an increase in the rate of combustion, the presence of microexplosion and the form of an elongated flame. The large CCO polarity causes the CCO to be more reactive, fast ignition of round and stable flame forms. The small CJO polarity causes the CJO molecules to be less reactive and slow to ignite, the shape of the flame on CJO extends upwards with microexplosion while in the CCO the way of the round flash. This is because of the different fatty acid content and geometry in each vegetable oils.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Alloh SWT, karena atas segala berkah dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan disertasi ini dengan judul Peran Polaritas, Geometri Molekul Asam Lemak dan Respon Penambahan 1,8-sineol terhadap Karakteristik Penyalaan, Pendidihan *Droplet* Minyak Nabati. Dalam menyelesaikan disertasi ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan masukan dari berbagai pihak terutama para pembimbing serta penguji. Karenanya pada kesempatan ini penulis sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bantuan, saran dan dorongan untuk mengatasi tantangan, hambatan dan kesulitan,

Penulis menyadari penelitian dan penulisan disertasi ini masih jauh dari sempurna, dengan segala kerendahan hati dan tulus ikhlas mohon maaf atas kekurangan dan kesalahan dalam penulisan disertasi ini. Hal ini semata-mata karena keterbatasan baik kemampuan pengetahuan maupun wawasan keilmuan yang penulis miliki. Semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya pengembangan dalam bidang energi alternatif dan bahan bakar alternatif.

Malang, 10 Juli 2019

Penulis



LAMPIRAN I

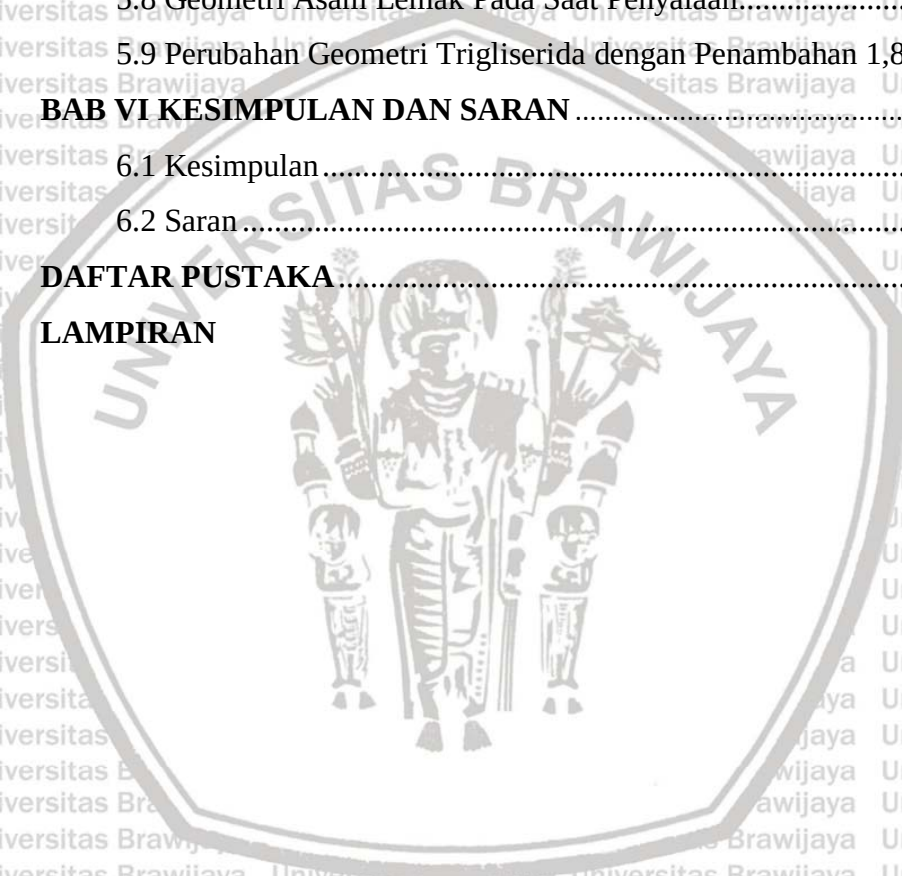
PUBLIKASI ARTIKEL DAN CONFERENCE



DAFTAR ISI	
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
IDENTITAS TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN ORIGINALITAS DISERTASI	iv
TURNITIN	v
PERUNTUKAN	vi
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	viii
RINGKASAN	x
SUMMARY	xii
DAFTAR PUBLIKASI	xiv
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Sebelumnya	7
2.1.1 Pembakaran <i>Droplet</i>	7
2.1.2 Pencampuran Bahan Bakar	8
2.2 Minyak Nabati	10
2.2.1 Minyak Jarak	11
2.2.2 Minyak Kelapa	12
2.2.3 Minyak Sawit	13
2.2.4 Minyak Matahari	14
2.2.5 Klasifikasi Asam Lemak Minyak Nabati	16

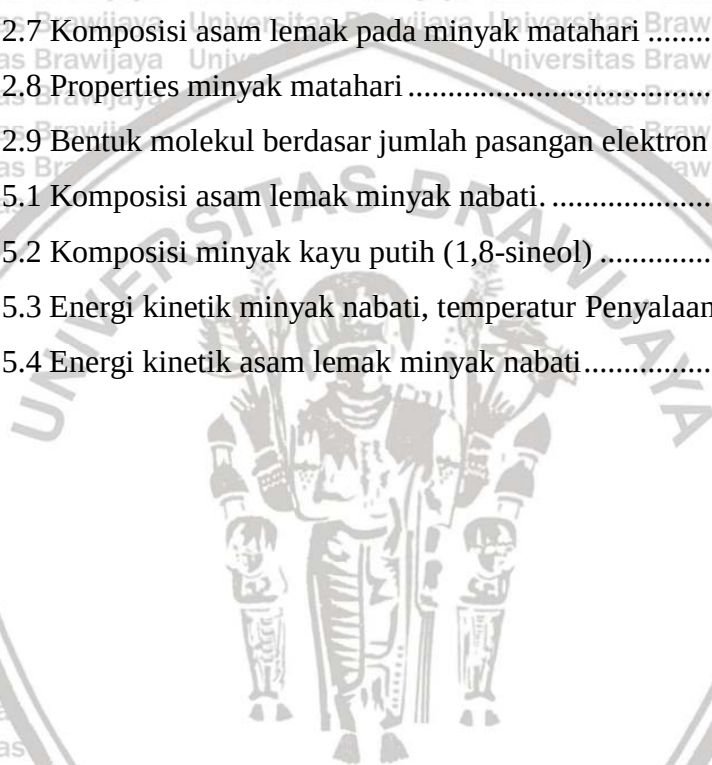
2.3 Minyak Atsiri.....	17
2.3.1 Minyak Kayu Putih	17
2.4 Interaksi Antar Molekul.....	19
2.4.1 Kepolaran Molekul	19
2.4.2 Gaya Antar Molekul	19
2.4.3 Polaritas Minyak Nabati	21
2.4.4 Sifat Fisik yang Dipengaruhi Gaya Antar Molekul	22
2.5 Geometri Molekul, Temperatur dan Energi Kinetik.....	24
2.6 <i>Fourier Transform Infra Red (FTI-R) Spectrum</i>	26
2.7 <i>Gas Chromatography and Mass Spectrophotometric (GCMS)</i>	27
2.7.1 <i>Instrumentasi Cromatografy Mass Spectrometry (GCMS)</i>	28
2.8 Pembakaran <i>Single Droplet</i>	28
2.8.1 Penyalaaan dan Pendidihan <i>Droplet</i>	30
2.8.2 Karakteristik Pembakaran.....	32
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	35
3.1 Kerangka Teoritis	35
3.2 Kerangka Konsep	36
3.3 Hipotesa	38
BAB IV METODE PENELITIAN	39
4.1 Rancangan Penelitian.....	39
4.2 Alat dan Bahan Penelitian	39
4.3 Langkah Penelitian	40
4.3.1 FTIR (<i>Fourier Transporm Infrared</i>).....	40
4.3.2 GC-MS (Gas kromatografi dan spektrometri massa).....	42
4.3.3 Uji Propertis Minyak Nabati dan 1,8-Sineol.....	43
4.3.4 Pengujian <i>Single Droplet</i>	44
4.3.5 Program <i>HyperChem Profesional</i>	46
4.4 Alur Penelitian.....	52
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	53
5.1 Uji FTIR	53
5.1.1 Analisa FTIR.....	53
5.2 Sifat Fisik Minyak Nabati.....	55

5.2.1 Viskositas Kinematik.....	55
5.2.2 Flash Point	56
5.3 Uji GCMS.....	58
5.3.1 Hasil Uji GCMS.....	58
5.4 Pengaruh Prioritas Asam Lemak terhadap Penyalaan dan Pendidihan ..	67
5.5 Visualisasi <i>Droplet</i> Asam Lemak.....	71
5.6 Pembakaran Bahan Bakar <i>Droplet</i>	74
5.7 Pengaruh Geometri Asam Lemak terhadap Penyalaan dan Pendidihan.....	77
5.8 Geometri Asam Lemak Pada Saat Penyalaan.....	80
5.9 Perubahan Geometri Trigliserida dengan Penambahan 1,8-Sineol.....	86
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	89
6.1 Kesimpulan.....	89
6.2 Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA.....	91
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis asam lemak dalam minyak nabati.....	11
Tabel 2.2 Komposisi asam lemak pada minyak jarak pagar.....	12
Tabel 2.3 Properties minyak jarak pagar	12
Tabel 2.4 Properties minyak kelapa.....	13
Tabel 2.5 Komposisi asam lemak pada minyak kelapa.....	13
Tabel 2.6 Komposisi asam lemak pada minyak kelapa.....	14
Tabel 2.7 Komposisi asam lemak pada minyak matahari	15
Tabel 2.8 Properties minyak matahari	16
Tabel 2.9 Bentuk molekul berdasar jumlah pasangan elektron.....	25
Tabel 5.1 Komposisi asam lemak minyak nabati.....	58
Tabel 5.2 Komposisi minyak kayu putih (1,8-sineol)	58
Tabel 5.3 Energi kinetik minyak nabati, temperatur Penyalaan dan Pendidihan.....	85
Tabel 5.4 Energi kinetik asam lemak minyak nabati.....	85



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan Molekul Trigliserida.....	11
Gambar 2.2 Asam Lemak.....	16
Gambar 2.3 1,8-Sineol (C ₁₀ H ₁₈ O).....	18
Gambar 2.4 Diagram Alir Kromatografi Gas Cair.....	28
Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian.....	37
Gambar 4.1 Alat Uji FTIR.....	42
Gambar 4.2 Alat Uji GCMS.....	43
Gambar 4.3 Alat Uji <i>Flash Point</i>	43
Gambar 4.4 Instalasi Penelitian.....	44
Gambar 4.5 Jarak antara <i>Thermocouple</i> dengan <i>Heater</i>	45
Gambar 4.6 Cara mengukur Diameter <i>Droplet</i>	46
Gambar 4.7 Program <i>Hyperchem Professional</i>	46
Gambar 4.8 Asam Lemak Dominan Penyusun Minyak Nabati.....	47
Gambar 4.9 Tiga Asam Lemak Dominan Penyusun Minyak Nabati.....	51
Gambar 4.10 Tiga Asam Lemak Dominan Penyusun Minyak Nabati + 1,8-Sineol.....	51
Gambar 4.11 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	52
Gambar 5.1 Tahapan Uji FTIR.....	53
Gambar 5.2 Hasil Uji FTIR Campuran Minyak Nabati Dengan 1,8-Sineol.....	55
Gambar 5.3 Viskositas Minyak Nabati dan Minyak Nabati + 1,8- Sineol.....	55
Gambar 5.4 <i>Flash Point</i> Minyak Nabati dan Minyak Nabati + 1,8- Sineol.....	57
Gambar 5.5 Kromatogram Dari <i>Crude Coconut Oil</i>	59
Gambar 5.6 Kromatogram Dari <i>Crude Palm Oil</i>	61
Gambar 5.7 Kromatogram Dari <i>Crude Jatropha Oil</i>	62
Gambar 5.8 Kromatogram Dari <i>Crude Jatropha Oil</i>	65
Gambar 5.9 Waktu Penyalaan <i>Droplets</i> Minyak Nabati.....	69
Gambar 5.10 Waktu Penyalaan <i>Droplets</i> Minyak Nabati + 1,8- Sineol.....	69
Gambar 5.11 Waktu Penyalaan <i>Droplet</i> Minyak Nabati.....	70
Gambar 5.12 Waktu Penyalaan <i>Droplets</i> Minyak Nabati + 1,8- Sineol.....	70
Gambar 5.13 Visualisasi <i>Droplet</i> CCO Mulai dari Pemanasan Sampai Penyalaan ..	72
Gambar 5.14 Visualisasi <i>Droplet</i> CSFO Mulai dari Pemanasan Sampai Penyalaan ..	73
Gambar 5.15 Visualisasi <i>Droplet</i> CJO Mulai dari Pemanasan Sampai Penyalaan ...	73
Gambar 5.16 Visualisasi <i>Droplet</i> CPO Mulai dari Pemanasan Sampai Penyalaan...	73

Gambar 5.17 Evolusi Api <i>Droplet</i> CCO dan CCO + 1,8-Sineol.....	75
Gambar 5.18 Evolusi Api <i>Droplet</i> CPO dan CPO + 1,8-Sineol.....	75
Gambar 5.19 Evolusi Api <i>Droplet</i> CJO dan CJO + 1,8-Sineol.....	76
Gambar 5.20 Evolusi Api <i>Droplet</i> CSFO dan CSFO + 1,8-Sineol	76
Gambar 5.21 Temperatur <i>Droplets</i> Minyak Nabati.....	78
Gambar 5.22 Fase Geometri Triglicerida	79
Gambar 5.23 Visualisasi Molekul Asam Lemak Lurus Pada Saat Penyalaan.....	84
Gambar 5.24 Visualisasi Molekul Asam Lemak Bengkok Pada Saat Penyalaan	85
Gambar 5.25 Fase Geometri Triglicerida dengan penambahan 1,8-Sineol.....	86



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar baik dalam jangka waktu pendek, namun dalam jangka panjang dapat merusak mesin karena minyak nabati mempunyai viskositas yang tinggi. Blin *et al.*, (2013) viskositas minyak nabati lebih tinggi daripada solar karena minyak nabati memiliki rantai hidrokarbon yang panjang dan kandungan trigliserida yang tak jenuh. Viskositas minyak nabati yang tinggi ini sebagai kerugian penggunaan minyak nabati jika digunakan sebagai bahan bakar, selain penguapan yang rendah dan tingkat kereaktifan rantai hidrokarbon tak jenuh (Misra & Murthy, 2011).

Minyak nabati tersusun oleh trigliserida yang terdiri dari tiga asam lemak yang digabung oleh gliserol. Asam lemak ini mengandung rantai karbon panjang, dihubungkan dengan satu ikatan, dikombinasikan dengan hidrogen dan diakhiri dengan grup karboksil (Blin *et al.*, 2013). Minyak nabati memiliki molekul oksigen pada struktur kimia sehingga memudahkan dalam proses pembakaran. Rantai panjang alkil pada asam lemak menyebabkan minyak cocok untuk pembakaran dengan sistem penyalaan kompresi (Hellier *et al.*, 2015). Minyak nabati terdiri dari trigliserida (90-98%) dan sejumlah kecil mono dan digliserida. Struktur molekul asam lemak trigliserida memiliki panjang rantai karbon dan jumlah ikatan rangkap yang bervariasi (Agarwal *et al.*, 2017). Panjang rantai asam lemak dan kadar kejenuhan adalah yang penting dari komposisi asam lemak dalam menentukan sifat bahan bakar (Ramirez, *et al.*, 2015). Keberadaan ikatan rangkap karbon pada rantai alkyl asam lemak minyak nabati mempunyai pengaruh negatif pada *ignition*, karena tiap ikatan rangkap karbon mereduksi cetana dengan jumlah yang signifikan (Westbrook *et al.*, 2013). Berdasarkan kejenuhan asam lemak dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu asam lemak jenuh rantai pendek, asam lemak jenuh rantai medium dan asam lemak jenuh rantai panjang. Knothe, 2014 menyatakan bahwa ikatan rangkap karbon memiliki dampak yang sangat kecil terhadap *ignition* bahan bakar minyak nabati. Sifat-sifat fisik dan kimia minyak nabati sangat dipengaruhi oleh komposisi asam lemak di dalamnya. Semakin panjang rantai hidrokarbon, maka angka cetane semakin meningkat, semakin banyak ikatan rangkap pada suatu rantai hidrokarbon maka angka cetane semakin kecil. Semakin tidak jenuh suatu rantai karbon, maka angka cetane semakin rendah (Knothe *et al.*, 2003). Tingkat kejenuhan menyebabkan minyak nabati bersifat polar (Meher *et al.*, 2013). *Monounsaturated fatty acid* merupakan

asam lemak yang mengandung satu ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Ikatan rangkap pada rantai hidrokarbon akan memudahkan reaksi dengan oksigen. *Saturated fatty acid* adalah asam lemak ikatan tunggal pada rantai hidrokarbonnya. Asam lemak jenuh mempunyai sifat lebih stabil atau sulit untuk bereaksi. *Polyunsaturated* merupakan asam lemak yang mengandung lebih dari satu ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Asam lemak *monounsaturated* didominasi non-polar, sedangkan *saturated* dan *polyunsaturated* didominasi asam lemak polar (J. Parcerisa *et al.*, 1998). Asam lemak tak jenuh pada minyak nabati jarak berkisar antara 77-83%, sisanya asam lemak jenuh dengan komponen terbanyaknya yaitu asam palmitat dan asam stearat (Meher *et al.*, 2013). Komposisi asam lemak mempengaruhi persentase massa yang berbeda pada minyak nabati (M Plank *et al.*, 2017). Rantai panjang pada biodiesel yang memiliki banyak ikatan rangkap tak jenuh menyebabkan tegangan permukaan menjadi tinggi, sehingga menghambat terbentuknya *droplet* dan menyebabkan laju penguapan pada *droplet* menjadi lambat dan proses atomisasi menjadi tidak efisien (M. Hajbaebai *et al.*, 2014). Tingkat penguapan pada bahan bakar dipengaruhi oleh komponen asam lemak dan jumlah rantai rangkap karbon. Volatilitas rendah jika asam lemak memiliki rantai karbon yang panjang, tetapi volatilitas naik apabila asam lemak memiliki rantai rangkap karbon yang banyak (Carareto *et al.*, 2012).

Efek komposisi asam lemak terhadap *ignition delay* pada minyak nabati telah diteliti oleh M Plank *et al.*, 2017. Penelitian dilakukan menggunakan CVCCA, pengaruh asam lemak pada *ignition delay* dianalisis menggunakan indeks struktur rata-rata jumlah ikatan rangkap (RNA) dan jumlah rata-rata atom karbon (AC). Hasil penelitian Plank menunjukkan bahwa *ignition delay* dipengaruhi oleh komposisi asam lemak, tetapi hasil penelitian tidak mengungkap tentang pengaruh komposisi asam lemak, struktur geometri rantai trigliserida terhadap karakteristik pembakaran minyak nabati. Mevy, 2016 melakukan penelitian dengan asam lemak berantai pendek dan menengah, hasilnya asam lemak berantai pendek dan menengah dapat menguap dan sedikit larut dalam air. Efek penambahan katalis Rh^{3+} pada karakteristik pembakaran *droplet* minyak nabati CCO, CJO, CSFO sudah diteliti oleh Hendry *et al.*, 2018. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan katalis tidak hanya berpengaruh pada perubahan geometri trigliserida, tetapi mengaktifkan elektron karena adanya gaya tarik hydrogen pada katalis. Tetapi penelitiannya tidak mengungkap lebih dalam tentang *ignition* dan *boiling* yang terjadi pada saat evaporasi *droplet* minyak nabati, sehingga masih diperlukan penelitian intensif terutama tentang *ignition* dan *boiling* pada *droplet* minyak

nabati saat evaporasi dilihat dari polaritas, gaya antar molekul, struktur geometri asam lemak dan pergerakan molekulnya.

Minyak nabati memiliki *Flash point* lebih tinggi dari solar (Desmira *et al.*, 2014). Minyak nabati dan minyak *diesel* mempunyai perbedaan karakteristik pada kekentalan, minyak nabati mempunyai kekentalan yang lebih tinggi dibanding minyak *diesel*, hal ini dapat diatasi dengan cara mengubah minyak nabati murni menjadi *biodiesel* (Hamid, 2002). Konversi minyak nabati menjadi *biodiesel* pada proses transesterifikasi membutuhkan jumlah energi yang besar dengan biaya yang besar (Wardana, 2010), sehingga penggunaan minyak nabati non transesterifikasi sebagai pengganti bahan bakar fosil dalam pembakaran modern perlu ditinjau ulang (Hellier *et al.*, 2015). Hellier melakukan penelitian Minyak nabati pada mesin *diesel* dengan melakukan modifikasi bahan bakar, yang bertujuan untuk mengurangi viskositas dan polimerisasi dengan cara mencampurkan minyak nabati dan solar. Laza & Berecky (2011) mencampurkan propanol dengan butanol dengan minyak *repeseed* dengan prosentase percampuran 5%, 10% dan 20%. Dengan penambahan propanol dan butanol pada prosentase 20% mengalami penurunan pada viskositas, densitas dan *flashpoint*. Misra & Murthy (2011) melakukan penelitian percampuran minyak nabati dengan solar, pada penelitiannya menghasilkan perbedaan properties pada tingkatan campuran tersebut, semakin besar prosentase minyak jarak maka semakin besar densitas dan viskositas kinematik, tetapi nilai kalor yang dihasilkan semakin kecil.

Pencampuran minyak nabati dengan bahan bakar lain menjadi salah satu cara untuk menurunkan nilai viskositas, termasuk dengan mencampurkan minyak atsiri pada minyak nabati. Minyak atsiri merupakan suatu bahan alam yang tersusun dari komponen-komponen yang bersifat mudah menguap, berat jenisnya rendah dan dapat melarutkan bahan organik (Sastromiharjo, 2002). Minyak atsiri dapat larut dalam minyak solar dan hasil analisis komponen penyusunnya terdapat banyak mengandung atom oksigen (Kadarohman, 2003), yang diharapkan dapat meningkatkan pembakaran bahan bakar dalam mesin. Sifat yang penting dari bahan bakar adalah kemudahan menguap (*volatile*). Volatilitas bahan bakar berpengaruh pada kehandalan operasi mesin kendaraan dan kemudahan penyalan pada *engine* (Clairotte *et al.*, 2013). Minyak atsiri bersifat mudah menguap, berat jenisnya dapat campur dan melarutkan bahan organik termasuk bahan bakar minyak (Lawless, 2002). Minyak kayu putih (1,8-sineol) merupakan salah satu kelompok minyak atsiri, minyak kayu putih (1,8-sineol) mengandung 30 komponen senyawa dengan senyawa terbesar 1,8-sineol dan terpineol. Minyak kayu putih (1,8-sineol) termasuk dalam hidrokarbon aromatik yang

mempunyai sifat *antiknock* yang baik karena termasuk senyawa siklis dengan enam atom karbon yang saling mengikat satu atom hidrogen. 1,8-sineol sebagai komponen utama minyak kayu putih (1,8-sineol) memiliki rumus $C_{10}H_{18}O$ adalah ester siklik alami dari anggota *monoterpen*, dan sebagai *oxygenated fuel*, karena 1,8-sineol memiliki atom oksigen, atom oksigen didalam bahan bakar akan berperan untuk mengoksidasi jelaga dan gas karbon monoksida (CO) sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna (Choi, 1999). Terpeneol memiliki gugus hidroksil yang bersifat mudah menguap dan mempercepat reaksi pembakaran, kandungan yang terdapat dalam terpeneol berfungsi untuk meningkatkan efisiensi proses pembakaran. Minyak kayu putih (1,8-sineol) salah satu dari minyak atsiri yang mempunyai sebagian besar senyawa penyusun minyak atsiri, yaitu dalam bentuk siklik dan rantai terbuka yang diharapkan dapat menurunkan kekuatan ikatan antar molekul penyusun solar sehingga proses pembakaran akan lebih efektif.

Pencampuran *p-cymene* (*p-cymene* diproduksi dengan proses *pyrolytic* dengan menggunakan 1,8-sineol yang diekstraksi dari *ecaliptus*) dengan *synthetic fuels* untuk menguji pengaruh campuran monoaromatik terhadap stabilitas. Senyawa aromatis diuji dengan *petroOxy* untuk menentukan garis dasar stabilitasnya sebelum dicampur dengan bahan bakar konvensional. *P-cymene* adalah aromatik utama yang diteliti pada penelitian (Rawson *et.al.*, 2015), dampaknya pada stabilitas diukur dengan tiga konsentrasi 8%, 16 % dan 24%. Penambahan *p-cymene* mempengaruhi stabilitas campuran dalam hal laju oksidasi awal yang diukur dengan waktu induksi *petroOxy*.

Kadarohman *et al.*, (2012) melakukan penelitian minyak solar yang di reformulasi dengan minyak kayu putih (1,8-sineol) dilakukan pada variasi komposisi 0%,1%, 2%, 2,5%, 3%, 3,5%,4%,5%,10% dan 15%. Viskositas minyak solar yang diformulasi minyak kayu putih (1,8-sineol) secara umum mengalami penurunan relatif terhadap solar yang tidak direformulasi. Penambahan minyak kayu putih yang mengakibatkan penurunan harga viskositas memungkinkan kualitas pengabutan lebih maksimal sehingga pembakaran yang terjadi lebih cepat dan sempurna, dengan viskositas yang lebih rendah, pembentukan deposit karbon pada mesin dapat dikurangi.

Hoxie (2014) untuk dapat mengetahui karakteristik pembakaran berdasarkan propertis, *single droplet* adalah salah satu cara metode analisa atraktif. Wardana (2010) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran minyak nabati dengan melakukan pengujian *droplet* dalam berbagai diameter pada minyak jarak yang diberi perlakuan pemanasan awal berkisar antara 25-80°C. Pemanasan awal minyak jarak menurunkan viskositas dan

menaikkan kemungkinan terjadinya *microexplosion* tanpa mengubah parameter pembakaran seperti *ignition delay* dan laju pembakaran.

Dari deskripsi diatas bisa dilihat arah penelitian tentang pengaruh polaritas dan geometri pada asam lemak penyusun molekul trigliserida terhadap karakteristik pembakaran. Beberapa penelitian tentang karakteristik pembakaran minyak nabati sudah banyak dilakukan, tetapi masih banyak yang belum diungkapkan karena karakteristik pembakaran sangat kompleks, seperti penelitian (M. Plank *et al.*, 2017) belum diungkap tentang *preheating*, evaporasi, pengapian, dan reaksi kimia dari pembakaran. Penelitian Hendry *et al.*, 2018 penelitiannya tidak mengungkap lebih dalam tentang *ignition delay* dan *boiling point* yang terjadi pada saat evaporasi *droplet* minyak nabati, sehingga masih diperlukan penelitian intensif terutama tentang *ignition delay* dan *boiling point* pada *droplet* minyak nabati saat evaporasi dilihat dari polaritas, gaya antar molekul, struktur geometri asam lemak.

Maka fokus dari penelitian ini adalah peranan polaritas dan geometri molekul asam lemak dalam minyak nabati dan respon penambahan 1,8-sineol terhadap karakteristik pembakaran khususnya penyalaan dan pendidihan, masih menjadi masalah yang belum terpecahkan sampai saat ini. Penelitian kami ini dapat memberikan pengetahuan tentang memilih minyak nabati yang cocok sebagai alternatif ramah lingkungan dan bahan bakar terbarukan. Trigliserida minyak nabati tersusun dari rantai karbon asam lemak yang berbeda-beda, sehingga peran polaritas dan geometri molekul asam lemak minyak nabati pada karakteristik pembakaran akan berbeda, sehingga mengakibatkan energi yang dimiliki juga akan berbeda. Respon penambahan minyak kayu putih (1,8-sineol) pada minyak nabati diharapkan dapat memperlemah kekuatan struktur dari molekul rantai karbon trigliserida sehingga berdampak pada propertis fisik dan karakteristik pembakaran minyak nabati.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, terdapat beberapa permasalahan yang perlu dikaji dan diungkapkan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh polaritas terhadap gaya antar molekul dan karakteristik pembakaran *droplet* minyak nabati?
2. Bagaimana pengaruh geometri asam lemak terhadap temperatur dan energi kinetik?
3. Bagaimana respon penambahan 1,8-sineol terhadap karakteristik pembakaran minyak nabati?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengungkap berbagai macam minyak nabati yang cocok sebagai bahan bakar biodiesel di tinjau dari polaritas dan geometri molekul asam lemak penyusun minyak nabati dan penambahan bioaditif terhadap karakteristik pembakaran.

1.4 Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menghasilkan bahan bakar *biodiesel* alternatif yang memiliki keunggulan lebih dan memberikan pengetahuan memilih minyak nabati yang cocok sebagai alternatif ramah lingkungan dan bahan bakar terbarukan.
2. Memberikan ide baru mengenai potensi minyak kayu putih (1,8-sineol) agar dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar selain manfaatnya di bidang kesehatan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

2.1.1 Pembakaran Droplet

Efek komposisi asam lemak terhadap *ignition delay* pada minyak nabati telah diteliti oleh Plank *et al.*, 2017. Penelitian dilakukan menggunakan CVCCA dengan sistem injeksi bahan bakar bertekanan tinggi dengan kondisi ambien pembakaran yang berbeda untuk mengetahui pengaruh suhu pada proses *ignition*. Pengaruh asam lemak pada *ignition delay* dianalisis menggunakan indeks struktur rata-rata jumlah ikatan rangkap (RNA) dan jumlah rata-rata atom karbon (AC). Hasil penelitian Plank menunjukkan bahwa *ignition delay* dipengaruhi oleh komposisi asam lemak, tetapi hasil penelitian tidak mengungkap tentang pengaruh komposisi asam lemak, struktur geometri rantai trigliserida terhadap karakteristik pembakaran minyak nabati. Beberapa penelitian tentang karakteristik pembakaran minyak nabati sudah banyak dilakukan, tetapi masih banyak yang belum diungkapkan karena karakteristik pembakaran sangat kompleks, seperti *preheating*, evaporasi, pengapian, dan reaksi kimia dari pembakaran.

Pengaruh penambahan katalis Rh^{3+} pada karakteristik pembakaran *droplet* minyak nabati CCO, CJO, CSFO dibahas oleh Hendry *et al.*, 2018. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan katalis tidak hanya berpengaruh pada perubahan geometri trigliserida, tetapi mengaktifkan elektron karena adanya gaya tarik hidrogen pada katalis. Tetapi penelitiannya tidak mengungkap lebih dalam tentang *ignition* dan *boiling* yang terjadi pada saat evaporasi *droplet* minyak nabati, sehingga masih diperlukan penelitian intensif terutama tentang *ignition* dan *boiling* pada *droplet* minyak nabati saat evaporasi dilihat dari polaritas, gaya antar molekul, struktur geometri fatty acid dan pergerakan molekulnya.

Penelitian tentang karakteristik pembakaran minyak nabati dilakukan oleh (Wardana, 2010) dengan melakukan pengujian *droplet* dalam berbagai diameter pada minyak jarak yang diberi perlakuan pemanasan awal berkisar antara 25-80°C. Pemanasan awal minyak jarak menurunkan viskositas dan menaikkan kemungkinan terjadinya *micro-explosion* tanpa mengubah parameter pembakaran seperti *ignition delay* dan laju pembakaran. Pada penelitian ini, terjadi penguapan secara dua tahap karena adanya pemecahan dua komponen yaitu asam lemak dan gliserol. Densitas dan viskositas pada asam lemak lebih rendah daripada gliserol sehingga asam lemak terbakar pada tahap awal dan disusul oleh gliserol pada tahap kedua.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan awal minyak jarak berpengaruh terhadap proses *micro-explosion* dan bentuk api. Pada suhu tinggi pemanasan minyak jarak, *micro-explosion* terjadi pada api saat berbentuk runcing memanjang seperti paku, sedangkan *micro-explosion* minyak jarak pada pemanasan suhu rendah ditandai dengan api yang pendek melebar dan berbentuk seperti jamur. Dari perubahan diameter disimpulkan bahwa semakin besar ukuran diameter droplet, maka *micro-explosion* lebih cepat terjadi.

Hoxie *et al.* (2014) meneliti tentang karakteristik droplet pada campuran minyak kedelai-butanol (SBO-Bu) pada variasi butanol sebesar 25, 40, 50, 75 dan 99%. Pada campuran SBO-Bu75, terjadi penguapan yang rendah pada SBO sehingga menyebabkan api mengecil saat temperatur permukaan meningkat. *Micro-explosion* paling banyak terjadi pada campuran butanol sebanyak 40%. *Micro-explosion* akan sering terjadi saat prosentasi dari minyak kedelai lebih banyak daripada prosentase butanol. Perbedaan tingkat penguapan, ukuran droplet dan konsentrasi menjadi faktor terjadinya *micro-explosion*.

2.1.2 Pencampuran Bahan Bakar

Sifat penting dari bahan bakar selain kandungan energinya adalah kemudahan untuk menguap (Clairotte *et al.*, 2013), kemampuan bahan bakar untuk tidak terjadi detonasi selama proses pembakaran (Heywood, 1998). Volatilitas yang terlalu tinggi menyebabkan *vapor lock* pada penyaluran bahan bakar. *Knocking* mengakibatkan penurunan performansi *engine* yang akan menyebabkan kerusakan *engine*.

Modifikasi bahan bakar yang bertujuan untuk mengurangi viskositas dan polimerisasi salah satunya mencampurkan minyak nabati dengan solar. (No, 2011 dan Sidibe *et al.*, 2010). Barrios *et al.*, (2015) melakukan pengujian performa mesin diesel dengan menambahkan campuran EtilTerbutilEter (ETBE) dan Diglyme (Bis 2-methoxyethyl ether) dengan solar, dengan komposisi (CD, ETBE5, ETBE10, ETBE15, Diglymen5, Diglymen10 dan Diglymen15). Pengujian yang dilakukan adalah pengujian properties, pengujian performa mesin dan pengujian emisi gas buang. Pengujian performa mesin menggunakan mesin diesel 2 silinder 4 langkah dengan *direct injection*. Pengujian performa mesin meliputi *Specific Fuel Consumption* (SFC), *Brake Thermal Efficiency* (BTE) dan GMC. Pengujian emisi yang dilakukan adalah mengukur kadar NOx pada gas buang. Terjadi perbedaan propertis pada tingkatan campuran tersebut, diglyme mempunyai densitas terbesar dibanding CD dan ETBE, tetapi viskositas CD mempunyai viskositas terbesar dibandingkan EtilTerbutilEter (ETBE) dan Diglyme.

Mbarawa (2010) melakukan pengujian performa mesin diesel menggunakan campuran minyak cengkeh (CSO) dan solar. Uji performa mesin dilakukan pada mesin empat langkah, empat silinder dan sistem suplai bahan bakar adalah injeksi langsung (*direct injection*). Pengukuran eksperimental meliputi laju konsumsi bahan bakar, laju aliran udara, torsi dan kecepatan mesin. Performa mesin yang diuji adalah BSFC (*brake specific fuel consumption*) dan BTE (*brake thermal efficiency*). Pengujian emisi gas buang meliputi jumlah CO, NOx, dan HC. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan campuran bahan bakar yaitu 100% solar, 25% CSO-75% solar, 50% CSO-50% Solar. Putaran mesin yang dipakai adalah 1000, 1500, dan 2000 rpm pada pembebanan 25, 50, 75 dan 100%. Pada pengoperasian rendah, BTE meningkat dengan meningkatnya kadar minyak cengkeh pada campuran bahan bakar. Hal ini terjadi karena kandungan oksigen pada minyak cengkeh membantu proses pembakaran menjadi sempurna. Konsumsi bahan bakar menjadi lebih sedikit apabila menggunakan bahan bakar dengan komposisi CSO 25% dibandingkan CSO 50%. Hal ini terjadi karena nilai kalor pada CSO 25% lebih tinggi dibandingkan CSO 50%. Properties dari CSO 25% seperti angka cetana, nilai kalor, dan viskositas kinematik memiliki nilai yang hampir sama dengan solar. Secara umum, campuran CSO-solar memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni karena nilai kalor yang rendah dan viskositas yang tinggi. Semakin tinggi kadar minyak cengkeh pada campuran, maka semakin tinggi konsumsi bahan bakar dalam proses pembakaran. Kandungan CO pada campuran CSO-solar lebih banyak dibandingkan dengan solar pada kondisi semua pembebanan, karena meningkatnya *ignition delay* yang dimiliki oleh campuran CSO-solar. Kadar CSO yang tinggi menyebabkan angka cetana menurun dan *ignition delay* meningkat. Jika *ignition delay* meningkat, maka porsi campuran udara dan bahan bakar menjadi berlebih sehingga menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan menghasilkan emisi CO yang tinggi. Emisi HC menurun pada pembebanan rendah dan meningkat pada pembebanan tinggi. Pada campuran CSO-solar, jumlah emisi HC nilainya lebih kecil daripada solar. Keberadaan oksigen menyebabkan proses pembakaran menjadi cepat dan emisi HC menjadi rendah. Campuran CSO-solar memiliki kalor laten yang tinggi sehingga proses penguapan dan pencampuran udara-bahan bakar menjadi lambat, sehingga menyebabkan temperatur pembakaran menjadi turun dan emisi NOx berkurang.

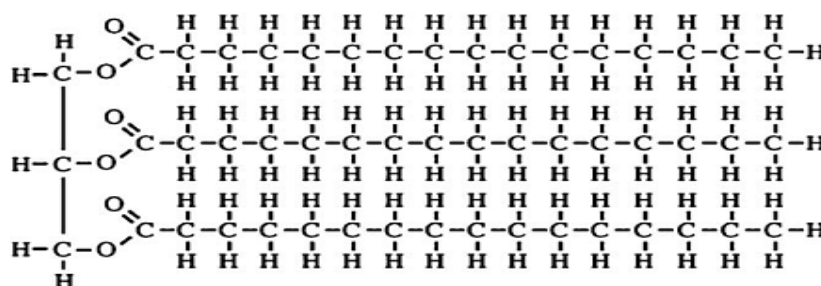
Kadarohman *et al.*, (2012) meneliti minyak kayu putih sebagai bioaditif pada solar. Variasi yang dilakukan adalah 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10% dan 15%. Pengujian performa dilakukan menggunakan mesin diesel satu silinder dan sistem suplai bahan bakar *direct*

injection. Pengujian properties fisik meliputi *specific gravity*, *API gravity*, viskositas, titik anilin dan indeks diesel. Harga *specific gravity* berpengaruh pada massa bahan bakar yang diinjeksikan pada ruang bakar. Bahan bakar dengan harga *specific gravity* tinggi mengindikasikan komponen bahan bakar yang dikabutkan melalui injektor lebih banyak. Penambahan aditif minyak kayu putih menyebabkan *specific gravity* minyak solar mengalami peningkatan. Bahan bakar dengan *specific gravity* yang lebih tinggi akan memberikan kalor yang lebih rendah.

Bajpai *et al.* (2009) mencampurkan minyak karanja (KVO) dengan solar pada variasi 5, 10, 15 dan 20%. Minyak karanja mengalami pemanasan awal pada suhu hingga 90°C dengan tujuan agar viskositas menjadi turun mendekati viskositas solar. KVO-10 memiliki efisiensi termal terbaik dibandingkan campuran yang lain. Efisiensi termal campuran KVO-solar mengalami perubahan terutama saat pembebanan rendah jika dibandingkan dengan solar murni, karena adanya pembakaran sempurna dan lubrikasi dari minyak karanja. Efisiensi termal campuran KVO-solar menurun jika beroperasi pada pembebanan tinggi, karena viskositas yang tinggi pada campuran bahan bakar menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna. Pada konsumsi bahan bakar, KVO-solar mengalami kenaikan dibandingkan dengan minyak solar. Rendahnya nilai kalor yang dimiliki oleh KVO dan campurannya mengakibatkan kebutuhan bahan bakar selama proses pembakaran menjadi lebih tinggi.

2.2 Minyak Nabati

Minyak nabati umumnya memiliki komposisi utama yaitu senyawa gliserida dan asam lemak dengan rantai karbon yang panjang. Asam lemak merupakan asam karboksilat yang diperoleh dari hidrolisis suatu lemak atau minyak dan pada umumnya memiliki rantai karbon yang panjang dan tidak bercabang. Minyak nabati kebanyakan mengandung 90-98% trigliserida, yaitu tiga molekul asam lemak yang terikat pada gliserol (gambar 2.1). Semakin panjang rantai atom karbon asam lemak, maka titik cair akan semakin tinggi dan semakin sulit untuk terbakar. Sedangkan asam lemak yang sering ditemukan pada minyak nabati adalah asam stearat, palmitat, oleat, linoleat dan linolenat (Wijayanti, 2008).



Gambar 2.1 Susunan Molekul Trigliserida

Sumber: Ong (2011:3501)

Asam lemak yang terkandung dalam minyak nabati berbeda tergantung darimana sumber tanaman yang menghasilkan minyak. Perbedaan yang dimaksud adalah dalam jumlah konsentrasi asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh, serta dari jumlah persentase asam lemak yang terkandung di dalamnya. Ada berbagai jenis asam lemak seperti yang dapat dilihat pada gambar tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jenis asam lemak dalam minyak nabati

Jenis Asam Lemak	Nama Sistematis	Struktur	Formula
Asam laurat	Dodekanoat	12:00	$C_{12}H_{24}O_2$
Asam Miristat	Tetradekanoat	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Asam Palmitat	Heksadekanoat	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Asam Stearat	Oktadekanoat	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Asam Arakidat	Eikosanoat	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Asam Behenat	Dokosanoat	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Asam Lignoserat	Tetrakosanoat	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$
Asam Oleat	cis-9-Oktadekanoat	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Asam Linoleat	cis-9,cis-12-Oktadekatrienoat	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Asam Linolenat	cis-9,cis-12,cis-15-Oktadekatrienoat	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Asam Erukat	cis-13-Dokosenoat	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$

Sumber : Wijayanti, 2008

2.2.1 Minyak Jarak

Biji jarak pagar mampu menghasilkan minyak dengan kadar 27-40%. Minyak tersebut memiliki komposisi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Komposisi asam lemak jenuh terbesar berupa asam palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) dan asam stearat ($C_{18}H_{36}O_2$). Komposisi asam lemak tak jenuh adalah asam oleat ($C_{18}H_{34}O_2$), asam linoleat dan asam linolenat ($C_{18}H_{30}O_2$) (Meher *et al.*, 2013). Komposisi asam lemak penyusun minyak jarak pagar dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2 Komposisi asam lemak pada minyak jarak pagar (Gubitz *et al.* 1999)

Asam Lemak	Rumus Molekul	Ikatan Rangkap Karbon	Berat Molekul (%)
Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	18 : 1	34.3-45.8
Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	18 : 2	29.0-44.2
Linolenat	$C_{18}H_{30}O_2$	18 : 3	0-0.3
Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	16 : 0	14.1-15.3
Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	18 : 0	3.7-9.8

Berdasarkan tabel 2.2 diatas, rata-rata komposisi asam lemak tak jenuh adalah 30 persen dan menyebabkan minyak jarak pagar memiliki viskositas yang tinggi sehingga tidak layak untuk langsung dikonsumsi oleh mesin diesel (Pradhan *et al.*, 2014). Viskositas yang tinggi dikaitkan dengan massa molar yang tinggi yaitu antara 600-900 g/mol (Ramadhas *et al.*, 2004) sedangkan Minyak jarak memiliki massa molar sebesar 887.7 g/mol (Kaul *et al.*, 2007). Massa molar yang tinggi, maka minyak nabati memiliki nilai penguapan yang rendah (No, 2011). Semakin tak jenuh suatu rantai karbon maka angka cetane yang dihasilkan semakin kecil. Semakin panjang rantai hidrokarbon yang terkandung pada minyak nabati seperti asam Palmitat, asam stearat, metil palmitoleate, methyl oleat, maka angka cetane semakin tinggi (Knothe *et al.*, 2003). Properties minyak jarak pagar sesuai dengan review oleh (Soo-Young No, 2011) dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini.

Tabel 2.3 Properties Minyak Jarak Pagar (No, 2011)

No	Properti	Nilai
1	Densitas (kg/m^3)	901 - 940
2	Flash Point ($^{\circ}C$)	180 - 280
3	Viskositas kinematik 40 $^{\circ}C$ (cSt)	24.5 - 52.76
4	Nilai kalor	38.2 - 42.15

Nilai *flash point* yang cukup tinggi menunjukkan karakteristik minyak jarak yang tidak mudah menguap dan memungkinkan untuk disimpan pada lingkungan dengan temperatur yang tinggi tanpa adanya potensi kebakaran (Misra & Murthy, 2010).

2.2.2 Minyak Kelapa

Minyak kelapa diekstrak dari biji kopra yang dikeringkan menggunakan ekspeller dan menghasilkan minyak dengan kadar rata rata 68-70% (Chinnamma *et al.*, 2015). Minyak kelapa memiliki penampilan seperti kristal padat berwarna putih pada temperature dibawah 20 $^{\circ}C$. Minyak kelapa mengandung rantai asam lemak pendek dalam jumlah yang sangat besar

seperti capric, laurat, caprylic, dan miristic. Asam tersebut menyebabkan angka cetane tinggi, dan stabilitas oksidasinya lebih baik daripada asam lemak tak jenuh (Zarska, 2014). Adapun kandungan asam lemak yang dimiliki minyak kelapa mengandung rantai pendek dan panjang asam lemak dengan 93% lemak jenuh dan sisanya adalah asam lemak tak jenuh, untuk rantai pendek yang dimiliki yaitu laurat 47.2%, miristat 19.42%, caprilat 8.21%, dan caprat 5.59 %.

Tabel 2.4 Properties minyak kelapa

Properties	Nilai tes	Sumber
Kelembaban (%)	0.05	Chinnamma <i>et al.</i> , 2015
Asam lemak bebas (mg KOH/g)	0.1	Chinnamma <i>et al.</i> , 2015
Densitas (g/cm ³)	0.92	How <i>et al.</i> , 2014
Angka sabun	249.4	Chinnamma <i>et al.</i> , 2015
Angka iodium	7.7	Chinnamma <i>et al.</i> , 2015
Angka peroksida	Nil	Chinnamma <i>et al.</i> , 2015
Indeks refraktiv	1.45	Chinnamma <i>et al.</i> , 2015
Bahan non sabun	0.05-0.1%	Chinnamma <i>et al.</i> , 2015
Nilai Kalor (MJ/kg)	37.26	How <i>et al.</i> , 2014
Kandungan sulfur (wt%)	0.009	How <i>et al.</i> , 2014
Cetane Number	37	How <i>et al.</i> , 2014
Viskositas Kinematik mm ² /s	28.05	Nakpong, 2010

Kehadiran asam lemak jenuh yang sangat tinggi dapat dilihat pada tabel diatas yaitu pada angka iodium sebesar 8 dan bilangan penyabunan sebesar 250. Angka iodium menjelaskan mengenai jumlah ikatan rangkap yang terdapat pada minyak kelapa.

Tabel 2.5 Komposisi Asam Lemak Pada Minyak Kelapa (Sandford, 2009)

Asam lemak	Ikatan Rangkap Karbon	Berat molekul
Caprylic	C8 : 0	6,3%
Capric	C10 : 1	6%
Lauric	C12 : 0	49,2%
Myristic	C14 : 0	18,5%
Palmitic	C16 : 0	9,1%
Stearic	C18 : 0	2,7%
Oleic	C18 : 1	6,5%
Linoleic	C18 : 2	1,7%

2.2.3 Minyak Sawit

Minyak kelapa sawit mengandung asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh dengan prosentase yang hampir sama. Asam lemak yang pada rantai hidrokarbonnya terdapat ikatan rangkap disebut asam lemak tidak jenuh, dan apabila tidak terdapat ikatan rangkap

pada rantai hidrokarbonnya disebut asam lemak jenuh. Asam palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) dan asam oleat ($C_{18}H_{34}O_2$) merupakan asam lemak yang dominan terkandung dalam minyak sawit, sedangkan kandungan asam lemak linoleat ($C_{18}H_{32}O_2$) dan asam stearat ($C_{18}H_{36}O_2$) sedikit (Simeh MA, 2004).

Asam Palmitat merupakan asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki titik cair (*melting point*) yang tinggi yaitu $64^{\circ}C$. Kandungan asam palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) yang tinggi ini membuat minyak sawit lebih tahan terhadap oksidasi (ketengikan) dibanding dengan jenis minyak lain. Asam oleat ($C_{18}H_{34}O_2$) merupakan asam lemak tidak jenuh rantai panjang dengan panjang rantai C18 dan memiliki satu ingkatan rangkap. Titik cair asam oleat ($C_{18}H_{34}O_2$) lebih rendah dibanding asam palmitat yaitu $14^{\circ}C$ (Belitz HD *et al.*, 2004).

Kelapa sawit termasuk tanaman tropis yang berbuah sepanjang tahun, memiliki kapasitas produksi yang tinggi, penggunaan pupuk yang rendah, tetapi banyak dalam penggunaan air dan pestisida. Minyak sawit dihasilkan dari bagian mesocarp dan kernel (endosperm). Kandungan minyak pada bagian mesocarp sebanyak 49%, sedangkan pada bagian kernel sebanyak 50% (HC Ong *et al.*, 2011). Minyak sawit adalah bahan bakar yang mengandung oksigen dengan kadar tinggi (*highly oxygenated fuel*). Pembakaran dari minyak sawit dapat mengurangi emisi polusi seperti total hidrokarbon, karbon monoksida, sulfur oksida, dan polycyclic aromatic hidrokarbon (Yusaf, 2011). Adapun properties dari minyak kelapa sawit seperti tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Komposisi asam lemak pada minyak kelapa (Sandford, 2009)

Properties	Nilai
Nilai Kalor	40.14
Viskositas kinematik	45
Densitas	0.86
Flash point	193
Cetane number	49
Kandungan Sulfur	0.04

2.2.4 Minyak Matahari

Minyak matahari adalah salah satu minyak nabati yang paling populer dan di beberapa negara lebih dari kedelai, biji kapas dan minyak sawit. Bunga matahari ditanam hanya di lokasi geografis yang terbatas dan karena itu berada di bawah tekanan kompetitif dari tanaman regional lainnya. Bunga matahari (nama botani: *Helianthus*) adalah tanaman asli Amerika, dan dibudidayakan jauh sebelum kedatangan penjelajah Eropa. Bunga matahari yang dibudidayakan (*Helianthus annuus*) diperkenalkan ke Eropa oleh Spanyol pada abad ke-14.

Kultivasinya segera menyebar ke Rusia, di mana ia mendapat penerimaan luas. Studi sistematis pemuliaan tanaman di Rusia dimulai di Kharkhov pada tahun 1910 dan diperluas ke Kruglik (1912) dan Saratov (1913). Studi ini difokuskan pada pemuliaan untuk meningkatkan hasil minyak dan sifat agronomis lainnya, seperti ketahanan serangga yang superior. Berbagai varietas bunga matahari yang mengandung minyak tinggi dihasilkan dari percobaan ini, beberapa di antaranya diperkenalkan ke AS dan Kanada pada tahun 1960. Departemen Pertanian Kanada memulai pemuliaan bunga matahari di Saskatchewan pada tahun 1937. Kepentingan AS diikuti pada tahun 1950 dengan Departemen AS Pertanian (USDA) dan Departemen Percobaan Pertanian Texas memulai program serupa. Varietas bunga matahari yang mempunyai kandungan asam oleat yang tinggi diperkenalkan di AS pada awal tahun 1980 an dan dikomersialkan pada bagian akhir dekade. Pada tahun 1998, pasokan komersial pertama bunga matahari diproduksi di AS. Saat ini, penelitian utama minyak bunga matahari di AS dilakukan oleh USDA di Stasiun Percobaan Resmi yang berlokasi di Fargo, North Dakota. Selain stasiun ini, ada 15-20 perusahaan benih swasta di negara tersebut yang bergerak dalam mengembangkan kultivar mid-oleat dengan hasil minyak yang lebih tinggi dan dengan sifat agronomis yang baik.

Senyawa yang terkandung di dalam minyak ini cukup lengkap antara lain omega-6 (asam linoleat), omega-9 (asam oleat), vitamin E, lemak, sterol, asam palmitat, asam stearat, lesitin, tokoferol, karotenoid dan beberapa senyawa hidrokarbon alifatik.

Beberapa jenis minyak biji bunga matahari yang telah diproduksi antara lain minyak yang tinggi linoleat, tinggi oleat, oleat dengan kadar yang sedang. Minyak yang tinggi oleat biasanya mengandung 82% asam oleat, sedangkan yang medium kadar asam oleatnya sebesar 69%. Perbedaan kandungan asam oleatnya ini sangat dipengaruhi oleh iklim tempat menanam bunga matahari.

Tabel 2.7 Komposisi asam lemak pada minyak matahari (Sandford, 2009)

Asam lemak	Ikatan Rangkap Karbon	Berat Molekul
Palmitic	C16 : 0	4,2%
Stearic	C18 : 0	3,3%
Oleic	C18 : 1	63,6%
Linoleic	C18 : 2	27,6%
Linolenic	C18 : 3	0,2%
Behenic	C 22 : 0	0,7%
Lignoceric	C 24 : 1	0,4%

Tabel 2.8 Properties minyak matahari (Sandford, 2009)

Properties	Nilai
Flash point	128
Viskositas	7,405
Densitas	0,877
Heating Value	9071,856

2.2.5 Klasifikasi Asam Lemak Minyak Nabati

Berdasarkan kejenuhan asam lemak dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu

2.2.5.1 Asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*)

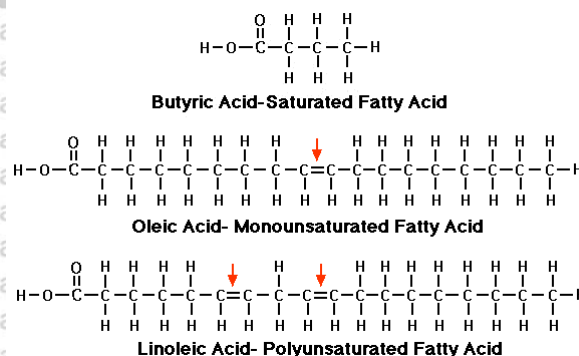
Asam lemak jenuh merupakan asam lemak dengan ikatan tunggal pada rantai hidrokarbonnya. Struktur asam lemak jenuh adalah rantai *zigzag* yang dapat cocok satu sama yang lain, sehingga gaya van der Waals antar molekulnya tinggi. Sehingga diperlukan lebih banyak energi, asam lemak jenuh mempunyai sifat lebih stabil. Penggolongan asam lemak jenuh berdasarkan panjang rantainya dibedakan menjadi tiga, yaitu asam lemak jenuh rantai pendek, asam lemak jenuh rantai medium dan asam lemak jenuh rantai panjang.

2.2.5.2 Asam lemak tak jenuh dengan satu ikatan rangkap (*monounsaturated fatty acid*)

Asam lemak tak jenuh dengan satu ikatan rangkap (*monounsaturated fatty acid*) yaitu asam lemak yang memiliki satu ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Dengan adanya ikatan rangkap pada asam lemak tak jenuh dapat memudahkan reaksi dengan oksigen atau mudah teroksidasi.

2.2.5.3 Asam lemak tak jenuh lebih dari satu ikatan rangkap (*polyunsaturated fatty acid*)

Asam lemak tak jenuh dengan lebih dari satu ikatan rangkap (*polyunsaturated fatty acid*) yaitu asam lemak dengan kandungan banyak ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya.



Gambar 2.2 Asam Lemak

2.3 Minyak Atsiri

Minyak atsiri merupakan suatu bahan alam yang tersusun dari komponen-komponen yang bersifat mudah menguap, berat jenisnya rendah dan dapat melarutkan bahan organik. (Sastromiharjo, 2002). Komponen oksigen yang terkandung dalam struktur kimia minyak atsiri diharapkan dapat menyempurnakan sistem pembakaran.

Indonesia merupakan salah satu penghasil utama beberapa jenis minyak atsiri di dunia. Minyak atsiri merupakan hasil penyulingan dari bagian tumbuh-tumbuhan tertentu dan sebagian sudah lama dibudidayakan di Indonesia. Terdapat kurang lebih 40 jenis tanaman penghasil minyak atsiri tumbuh di Indonesia, 14 jenis diantaranya sudah menjadi komoditi ekspor termasuk minyak sereh wangi (Rusli, 2002). Minyak atsiri mudah menguap, berat jenisnya dapat campur dan melarutkan bahan organik termasuk bahan bakar minyak (Lawless, 2002). Minyak atsiri dapat memperbaiki karakter pembakaran BBM, yaitu minyak atsiri yang memiliki kriteria mengandung senyawa hidrokarbon bercabang, mengandung senyawa oksigenat, mempunyai titik didih dan viskositas rendah.

Minyak atsiri dapat larut dalam minyak solar dan hasil analisis terhadap komponen penyusunnya banyak mengandung atom oksigen. Kadarohman (2003), diharapkan dapat meningkatkan pembakaran bahan bakar dalam mesin. Struktur ruang senyawa penyusun minyak atsiri, dalam bentuk siklis dan rantai terbuka diharapkan dapat menurunkan kekuatan ikatan antar molekul penyusun solar sehingga proses pembakaran akan lebih efektif.

Minyak cengkeh, minyak terpenin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh, dan minyak kayu putih adalah minyak atsiri yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar karena dari tinjauan terhadap struktur senyawa penyusunnya yang memiliki rantai siklik dan ketersediaan oksigen yang cukup besar.

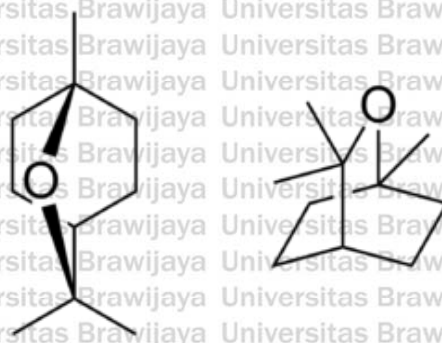
2.3.1 Minyak kayu putih (1,8-sineol)

Potensi tanaman kayu putih (1,8-sineol) sebagai salah satu jenis minyak atsiri di Indonesia cukup besar mencakup antara lain daerah Maluku, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Tenggara, Bali dan Papua yang berupa hutan alam kayu putih. Sementara itu yang berada di Jawa Timur, Jawa Tengah dan Jawa Barat berupa hutan tanaman kayu putih (Mulyadi, 2005). Minyak kayu putih (1,8-sineol) diisolasi dari daun dan ranting pohon kayu putih (1,8-sineol). Minyak kayu putih (1,8-sineol) adalah minyak yang berwarna kekuningan atau kehijauan jernih, khas, berbau harum dan berasa sedikit pahit. Kandungan di dalam ekstrak minyak kayu putih (1,8-sineol) adalah 50-65% sineol ($C_{10}H_{18}O$) dan juga bentuk alkohol dari terpineol

($C_{10}H_{17}OH$), beberapa jenis terpen seperti 1-pinena, valerat dan benzoat aldehid. Kadarohman *et al.*, (2003) menyatakan bahwa hasil analisis GC minyak kayu putih mengandung 30 komponen senyawa. Puncak tertinggi muncul pada waktu retensi 6,792 menit, dan setelah dianalisis MS minyak tersebut adalah senyawa sineol dengan prosentase sebesar 28,84. Senyawa-senyawa penyusun lainnya diantaranya adalah α -terpineol, L-linalool, sikloheksanol, sitronelol, nerol, linalil asetat, α -terpinil asetat, viridiflorol, eudesmol, farnesol, butanal, dan asam butanoat. Sineol (1,8-sineol) sebagai komponen utama minyak kayu putih memiliki rumus $C_{10}H_{18}O$ senyawa tersebut dikenal dengan bermacam-macam seperti *Cajeput bydrate*, *Cajuputol* dan *Cajeputol*.

Komposisi kimia minyak kayu putih menurut Padalia *et al.*, (2015), mengandung 44 komponen, dan komponen terbesar 1,8-Cineole sebesar 77,40 % dan α -Terpineol sebesar 7,72%, dari ke 44 komponen penyusun minyak kayu putih tersebut berdasarkan komposisinya termasuk *oxygenated monoterpenes* sebesar 86,63% dan *monoterpene hydrocarbons* sebesar 5,53%.

Sineol atau 1,8 cineole adalah eter siklik alami dan anggota monoterpenoid. Eukaliptol dihasilkan dari banyak anggota marga eucalyptus dan beberapa anggota Myrtaceae, seperti melaleuca dan Syzygium. Sineol juga ditemukan pada genus Asteromyrtus. Sineol juga dikenal dengan berbagai sinonim: 1,8 cineole, eucaliptol, cajeputol, 1,8-oxido-p-mentana, 1,8, eucalyptol. Eucalyptole, 1,3,3-trimetil-2-oxabicyclo [2,2,2] oktan, cineol, cineole. (Widiyanto, 2014) Cineole memiliki rumus molekul $C_{10}H_{18}O$ memiliki massa molar 154,249 g/mol, kepadatan 0,9225 g/cm³, titik leburnya 1,5⁰ C dan titik didih 176-177⁰C. Konsentrasi sineol yang ditemukan mencapai 34,88% dan merupakan konsentrasi tertinggi dibandingkan dengan senyawa yang lainnya. Kadar sineol ini lebih tinggi dari hasil penelitian (Brophy *et al.*, 1994) pada jenis *A. Brasii* di Australia yang melaporkan sineol sebesar 24,39%.



Gambar 2.3 1,8-sineol ($C_{10}H_{18}O$)

2.4 Interaksi Antar Molekul

Interaksi antar molekul dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu interaksi kimia dan interaksi fisika. Interaksi kimia meliputi karakteristik kimia diantaranya: sifat kepolaran, sifat ikatan dan muatan ion. Interaksi fisika meliputi karakteristik fisika yang dimiliki seperti gaya gesek, proses tumbukan, tegangan permukaan, perubahan fase, perbedaan viskositas, perbedaan konsentrasi dll.

2.4.1 Kepolaran molekul

Kepolaran molekul secara umum ditentukan oleh dua faktor, yakni kepolaran ikatan-ikatan kovalen dalam molekul dan bentuk molekulnya. Kepolaran molekul akan ditentukan secara kuantitatif oleh resultan momen dipol ikatan-ikatan kovalennya, yang disebut net dipol, μ . Apabila net dipol $\mu = 0$, molekul bersifat non-polar. Sedangkan apabila net dipol $\mu \neq 0$, molekul bersifat polar.

A. Kepolaran Molekul Diatom yang memiliki 1 ikatan kovalen

Kepolaran molekul diatom hanya ditentukan oleh kepolaran ikatan kovalennya karena bentuk molekulnya adalah linier. Apabila ikatan tersebut bersifat non-polar, maka molekulnya bersifat non-polar. Apabila ikatan tersebut polar, maka molekulnya bersifat polar.

B. Kepolaran Molekul Poliatom yang memiliki lebih dari 1 ikatan kovalen.

Kepolaran dari molekul poliatom ditentukan oleh kepolaran ikatan kovalennya. Apabila semua ikatan kovalennya bersifat non-polar, maka molekulnya bersifat non-polar. Apabila terdapat ikatan kovalen yang bersifat polar, maka kepolaran molekul ditentukan dari net dipol ikatan-ikatannya yang dipengaruhi oleh bentuk molekul.

2.4.2 Gaya antar molekul

Kepolaran molekul menentukan interaksi molekul-molekul dalam zat (unsur atau senyawa) melalui gaya elektrostatis yang disebut gaya antar molekul. Ada 3 jenis gaya antar molekul, gaya tarik menarik dipol-dipol, ikatan hidrogen, dan gaya tarik menarik dipol sesaat-dipol terimbas (gaya london). Gaya tarik-menarik dipol-dipol dan ikatan hidrogen yang terdapat pada molekul-molekul yang bersifat polar, sedangkan gaya london ada pada molekul-molekul bersifat polar maupun non-polar.

2.4.2.1 Gaya Tarik-menarik Dipol-dipol

Gaya tarik-menarik dipol-dipol terdapat pada molekul-molekul yang bersifat polar. Seperti telah dijelaskan, molekul-molekul polar mempunyai dua kutub (+) dan (-) yang merupakan

dipol permanen. Dipol-dipol molekul-molekul tersebut selanjutnya akan mengalami tarik menarik dengan kutub-kutub dengan muatan berlawanan. Pada saat bersamaan, juga terjadi gaya tolak-menolak pada kutub yang sejenis. Karena gaya tarik-menarik yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan gaya tolak menolak, terdapat suatu net tarik menarik. Inilah yang disebut dengan gaya tarik menarik dipol-dipol. Susunan molekul-molekul polar tidak teratur. Hal ini dikarenakan adanya tumbukan antar molekul yang menyebabkan molekul-molekul tersebut kehilangan orientasi. Akibatnya, efektifitas tarik menarik berkurang. Secara umum, gaya tarik menarik dipol-dipol ini jauh lebih lemah dibandingkan ikatan kovalen itu sendiri, yakni hanya sekitar 1% nya. Hal ini dikarenakan muatan-muatan yang terlibat dalam gaya antar molekul ini adalah muatan-muatan parsial (+ dan -), bukan muatan penuh.

2.4.2.2 Ikatan hidrogen

Ikatan hidrogen merupakan gaya tarik menarik dipol-dipol karena melibatkan molekul-molekul polar. Namun, ikatan hidrogen ini dibedakan dengan gaya tarik menarik dipol-dipol karena ikatannya sangat kuat, yaitu sekitar 5-10 kali lebih besar. Ikatan hidrogen terbentuk antara atom H dari suatu molekul polar dengan pasangan elektron bebas yang dimiliki atom kecil yang sangat elektronegatif dari molekul polar lainnya. Kekuatan ikatan hidrogen dapat dipahami dari fakta bahwa atom H tidak memiliki kulit-kulit elektron terdalam sehingga elektronnya dapat tertarik sangat kuat ke atom kecil yang sangat elektronegatif. Hal ini menyebabkan inti atom H mampu mendekat dan berinteraksi dengan pasangan elektron bebas dari atom tersebut.

2.4.2.3 Gaya tarik menarik dipol sesaat-dipol terimbas (gaya london)

Ahli fisika Jerman Fritz London menjelaskan bahwa partikel-partikel (atom atau molekul) di dalam zat non polar (unsur atau senyawa non-polar) yang dapat mengalami gaya antar-partikel yang lemah. Gaya ini disebut gaya tarik menarik dipol sesaat-dipol terimbas atau gaya london. Gaya london ini tidak hanya berlaku untuk zat non-polar, tetapi juga untuk zat polar. Dengan kata lain, didalam zat polar selain terdapat gaya tarik menarik dipol-dipol terdapat gaya london. Kekuatan gaya london dipengaruhi oleh mudah tidaknya awan elektron dalam molekul mengalami deformasi, atau mudah tidaknya dipol sesaat dan dipol terimbas terbentuk.

Ada tiga faktor yang mempengaruhinya, yakni ukuran molekul, jumlah atom didalam molekul, dan bentuk molekul.

1. Ukuran molekul

Molekul dengan ukuran besar mempunyai awan elektron yang besar yang mudah terdeformasi karena elektron-elektron terluarnya cenderung tidak terikat dengan baik.

Dengan demikian, dipol sesaat dan dipol terimbas semakin mudah terbentuk.

Akibatnya, gaya london akan lebih kuat di bandingkan molekul dengan ukuran lebih

kecil. Semakin besar ukuran molekul, semakin besar kekuatan gaya London.

2. Jumlah atom dalam molekul

Semakin banyak jumlah atom dalam molekul, semakin banyak ruang kosong untuk dipol sesaat dan dipol terimbas terbentuk. Dengan demikian, dipol sesaat dan dipol

terimbas lebih mudah terbentuk yang menyebabkan gaya london semakin kuat.

Semakin banyak jumlah atom dalam molekul, semakin besar kekuatan gaya london.

3. Bentuk Molekul

Semakin kompak bentuk molekul, maka kemungkinan terbentuknya dipol sesaat dan dipol terimbas juga semakin kecil. Dengan demikian, semakin lemah kekuatan gaya

london. Semakin kompak bentuk molekul, semakin lemah kekuatan gaya london.

2.4.3 Polaritas minyak nabati

Karakteristik polar dan non-polar dari senyawa trigliserida, jumlah massa molekul dan ketidakstabilan ikatan rantai karbon adalah sebagai penyebabnya. CCO (*Crude Coconut Oils*) termasuk *saturated fatty acid* dan CSFO (*Crude Sun Flower Oils*) termasuk *monounsaturated fatty acid*, keduanya di dominasi asam lemak polar. Sedangkan CJO (*Crude Jatropha Oils*) dan CPO (*Crude Palm Oils*) termasuk *polyunsaturated fatty acid*, keduanya didominasi asam lemak non polar. Beberapa minyak nabati CCO, CSFO dan CJO pernah di bahas oleh (Javier *et al.*, 1997) dengan pembahasan yang berbeda.

Rantai karbon yang semakin panjang membuat asam lemak semakin sukar untuk larut, maka minyak tersebut semakin polar. Asam lemak tak jenuh lebih mudah larut dalam pelarut organik dari pada asam lemak jenuh dengan panjang atom karbon yang sama (Keteren, 1986).

Sifat fisik trigliserida ditentukan oleh komposisi dan struktur kimia dari asam lemak yang membentuknya. Dalam kimia polaritas adalah pemisahan muatan listrik yang mengarah kepada molekul atau gugus kimia yang memiliki momen listrik dipol atau multipol (Raymond, 2005). Molekul polar berinteraksi melalui gaya antar molekul dipol-dipol dan ikatan hidrogen. Polaritas mendasari sejumlah sifat fisik termasuk tegangan permukaan,

kelarutan, serta titik leleh dan titik didih (Nordstrom, 1984). Molekul polar dengan dua atau lebih ikatan kutub harus memiliki geometri asimetris sehingga momen ikatan tidak saling meniadakan (Huggins, 1937). Ikatan polar lebih tepat disebut ikatan ionik, dan terjadi ketika perbedaan antara elektronegativitas cukup besar sehingga satu atom benar-benar mengambil elektron dari yang lain. Istilah polar dan non polar diterapkan pada ikatan kovalen. Polaritas ikatan dikelompokkan berdasarkan perbedaan elektronegativitas antara kedua atom yang berikatan. Menurut skala Pauling ikatan non polar umumnya terjadi ketika perbedaan elektronegativitas antara kedua atom kurang dari 0,5. Ikatan polar terjadi ketika perbedaan elektronegativitas antara kedua atom kira-kira antara 0,5 dan 2,0, ikatan ionik umumnya terjadi ketika perbedaan elektronegativitas antara dua atom lebih besar dari 2,0. Pauling mendasarkan skema klasifikasi ini pada karakter ionik parsial dari sebuah ikatan, yang merupakan fungsi perkiraan dari perbedaan elektronegativitas antara kedua atom yang berikatan. Diperkirakan bahwa selisih 1,7 sesuai dengan karakter ion 50%, sehingga perbedaan yang lebih besar sesuai dengan ikatan yang sebagian besar bersifat ionik (Pauling, 1960).

2.4.4 Sifat fisik yang dipengaruhi gaya antar molekul

Beberapa sifat fisis yang dipengaruhi gaya antar molekul.

1. Titik didih

Titik didih zat menunjukkan energi yang diperlukan untuk mengatasi gaya tarik menarik antar molekul. Semakin besar gaya tarik menarik tersebut, maka semakin besar energi yang diperlukan. Sehingga, titik didihnya semakin tinggi.

2. Tegangan permukaan

Di dalam zat cair, molekul dipermukaan dikelilingi oleh lebih sedikit molekul dibandingkan molekul dibawah permukaan. Akibatnya, molekul dipermukaan mengalami gaya tarik menarik antar molekul yang lebih lemah dibandingkan molekul dibawah permukaan. Hal ini menyebabkan molekul di permukaan cenderung tertarik ke dalam zat cair. Hasilnya, timbul suatu tegangan permukaan. Semakin kuat gaya antar molekul suatu zat cair, semakin besar tegangan permukaan yang dihasilkan.

3. Viskositas

Gaya antar molekul mempengaruhi kekentalan (viskositas) dari zat cair. Semakin kuat gaya antar molekul zat cair, semakin sulit molekul-molekul zat cair untuk bergerak/mengalir. Dengan demikian, semakin besar kekentalannya.

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida atau kemampuan fluida untuk mengalir. Makin besar viskositas suatu fluida, maka makin sulit suatu fluida mengalir dan makin sulit suatu benda bergerak di dalam fluida tersebut. Di dalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi antara molekul zat cair. Sedangkan dalam gas, viskositas timbul sebagai akibat tumbukan antara molekul gas.

Viskositas zat cair dapat ditentukan secara kuantitatif dengan besaran yang disebut koefisien viskositas (η). Satuan SI untuk koefisien viskositas adalah Ns/m^2 atau pascal sekon (Pa.s). Konsep dasar viskositas kinematik adalah perkembangan dari penggunaan cairan untuk menghasilkan aliran melalui suatu tabung kapiler. Koefisien viskositas absolut, apabila dibagi oleh kerapatan fluidanya disebut viskositas kinematik. Dalam sistem metrik satuan viskositas disebut Stoke dan mempunyai satuan centimeter kuadrat per detik. Biasanya didapatkan satuan pembanding yang lebih kecil yaitu *centistoke* dan besarnya sama dengan seperseratus *stoke*. Viskositas kinematik berpengaruh terhadap ukuran *droplet* bahan bakar, penetrasi jet, kualitas atomisasi, karakteristik semburan, dan kualitas pembakaran (Demirbas, 2008). Jika bahan bakar mempunyai viskositas yang tinggi, maka akan menyebabkan sistem bahan bakar menjadi rusak. Area permukaan pada *droplet* bahan bakar menjadi lebih luas dan berpengaruh terhadap lama waktu penguapan.

4. Densitas

Densitas digambarkan dalam satuan gram per centimeter kubik (Morton & Hearle, 2008). Densitas merupakan salah satu karakteristik fisik yang penting dan diukur dimana massa per unit volume. Densitas berperan saat memulai injeksi, tekanan injeksi, karakteristik semburan, sehingga berpengaruh terhadap pembakaran dan emisi gas buang. Densitas juga berpengaruh terhadap tenaga keluaran mesin dan konsumsi bahan bakar (Gulum & Bilgin, 2015).

5. Flashpoint

Flash point dapat didefinisikan sebagai mudah tidaknya suatu bahan bakar menguap. Flash point bisa digunakan sebagai ukuran aman tidaknya dalam proses distribusi dan penyimpanan (Misra & Murthy, 2010). *Flash point* didefinisikan sebagai temperatur terendah dari campuran uap dan udara diatas permukaan cairan yang dapat dinyalakan (Keshavars, 2011).

2.5 Geometri Molekul, Temperatur dan Energi Kinetik

Geometri molekul mempengaruhi sifat fisis dan kimia, seperti titik leleh, titik didih, kerapatan dan jenis reaksi yang dialaminya. Cara sederhana yang dapat memungkinkan meramalkan geometri molekul dan ion dengan cukup akurat dengan cara mengetahui jumlah elektron disekitar atom pusat dalam struktur lewisnya. Dasar pendekatannya dengan asumsi bahwa pasangan elektron dikulit valensi saling bertolakan satu sama lain. Kulit valensi merupakan kulit terluar yang ditempati elektron dalam suatu atom yang biasanya terlibat dalam ikatan. Dalam ikatan kovalen, sepasang elektron yang sering disebut sebagai pasangan ikatan, berperan dalam mengikat dua atom. Dalam molekul poliatomik, dimana terdapat dua atau lebih ikatan antara atom pusat dengan atom di sekitarnya, pasangan itu berada sejauh mungkin satu sama lain. Oleh karena itu, bentuk yang dipilih oleh suatu molekul berusaha meminimalkan tolakan yang terjadi. Pendekatan untuk kajian ini disebut model Valence-Shell Elektron Pair Repulsion (VSEPR). Pendekatan ini menjelaskan susunan geometrik dari pasangan elektron disekitar atom pusat sebagai akibat tolak menolak antara pasangan elektron. Untuk menggunakan metode VSEPR maka perlu diperhatikan bahwa terdapat tiga jenis gaya tolak dalam molekul antara pasangan elektron ikatan, antara pasangan elektron bebas, dan antara pasangan elektron ikatan dan pasangan elektron bebas.

Secara umum gaya tolak menurun menurut urutan berikut: Elektron-elektron dalam satu ikatan ditahan oleh gaya tarik inti kedua atom yang berikatan. Elektron-elektron ini mempunyai distribusi ruang yang kurang dibandingkan pasangan elektron bebas, yaitu elektron tersebut menempati ruang yang lebih kecil dari pada pasangan elektron bebas, yang hanya terkait dengan satu atom tertentu. Karena pasangan elektron bebas dalam molekul menempati ruang yang lebih besar, pasangan elektron ini mengalami tolakan yang lebih kuat dari pasangan elektron bebas tetangganya dan dari pasangan elektron ikatan. Molekul yang memiliki pasangan elektron bebas lebih sulit diramalkan dibandingkan dengan molekul yang hanya memiliki pasangan elektron ikatan, hal ini dikarenakan kekuatan tolakan pasangan elektron bebas yang besar menyebabkan molekul membentuk sudut dan kemiringan yang lebih sulit diduga. Untuk mencatat jumlah total pasangan elektron ikatan dan pasangan elektron bebas kita menandai molekul sebagai $AbxEy$, dengan A sebagai atom pusat, B sebagai jumlah pasangan elektron ikatan yang terbentuk, dan E sebagai jumlah pasangan elektron bebas pada A, sehingga pada molekul yang tidak memiliki pasangan elektron bebas cukup ditulis dengan ABx .

Tabel 2.9 Bentuk molekul berdasar jumlah pasangan elektron

Pasangan Elektron	Jumlah Pasangan Elektron Ikatan (X)	Jumlah Pasangan Elektron Bebas (E)	Tipe molekul (AX_nE_m)	Bentuk Molekul	Gambar	Contoh
2	2	0	AX_2	Linear		$BeCl_2$
3	3	0	AX_3	Trigonal planar		BCl_3
	2	1	AX_2E	Bengkok		SO_2
4	4	0	AX_4	Tetrahedral		CH_4
	3	1	AX_3E	Trigonal piramida		NH_3
	2	2	AX_2E_2	Planar bentuk V		H_2O
5	5	0	AX_5	Trigonal bipiramida		PCl_5
	4	1	AX_4E	Tetrahedral terdistorsi		SF_4
	3	2	AX_3E_2	Planar bentuk T		ClF_3
	2	3	AX_2E_3	Linear		XeF_2
6	6	0	AX_6	Oktahedral		SF_6
	5	1	AX_5E	Tetragonal bipiramida		IF_5
	4	2	AX_4E_2	Sisi empat datar		XeF_4

Proses pemanasan akan mengakibatkan molekul pada suatu zat bergetar. Salah satu faktor dari penyebab molekul bergetar adalah suhu atau temperatur, sehingga molekul dikatakan memiliki energi kinetik. Energi Kinetik bergantung pada suhu atau temperatur, semakin tinggi temperatur maka kecepatan gerak molekul akan semakin besar dan meningkat. Semakin rendah temperatur yang diberikan, akan semakin rendah juga kecepatan gerak molekul. Teori kinetik menjelaskan bahwa sejumlah besar molekul molekul kecil yang semuanya bergerak secara acak dan konstan. Molekul-molekul yang bergerak secara acak saling bertabrakan sehingga terjadi pertukaran energi kinetik.

2.6 *Fourier Transform Infra Red (FTI-R) Spectrum*

Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy atau yang dikenal dengan FT-IR merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa komposisi kimia dari senyawa-senyawa organik, polimer, coating atau pelapisan, material semikonduktor, sampel biologi, senyawa-senyawa anorganik, dan mineral. FT-IR mampu menganalisa suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material. Spektroskopi FT-IR tidak hanya mempunyai kemampuan untuk analisa kualitatif, namun juga bisa untuk analisa kuantitatif. *Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy* digunakan untuk menentukan perubahan dalam kelompok fungsi yang dapat disebabkan oleh perlakuan kimia (Karimia *et al.*, 2014).

Dasar lahirnya spektroskopi FT-IR adalah dengan mengasumsikan semua molekul menyerap sinar infra merah, kecuali molekul-molekul monoatom (He, Ne, Ar, dan lain-lain) dan molekul-molekul homopolar diatomik (H_2 , N_2 , O_2 , dan lain-lain). Molekul akan menyerap sinar infra merah pada frekuensi tertentu yang mempengaruhi momen dipolar atau ikatan dari suatu molekul.

Mekanisme yang terjadi pada alat FT-IR dapat dijelaskan sebagai berikut. Sinar yang datang dari sumber sinar akan diteruskan dan kemudian akan dipecah oleh pemecah sinar menjadi dua bagian sinar yang saling tegak lurus. Sinar ini kemudian dipantulkan oleh dua cermin yaitu cermin diam dan cermin bergerak. Sinar hasil pantulan kedua cermin akan dipantulkan kembali menuju pemecah sinar untuk saling berinteraksi. Dari pemecah sinar, sebagian sinar akan diarahkan menuju cuplikan dan sebagian menuju sumber. Gerakan cermin yang maju mundur akan menyebabkan sinar yang sampai pada detektor akan berfluktuasi. Sinar akan saling menguatkan ketika kedua cermin memiliki jarak yang sama terhadap detektor dan akan saling melemahkan jika kedua cermin memiliki jarak yang berbeda. Fluktuasi sinar yang sampai pada detektor ini akan menghasilkan sinyal pada detektor yang disebut *interferogram*. *Interferogram* ini akan diubah menjadi spektra IR dengan bantuan computer berdasarkan operasi matematika. Pancaran infra-merah pada umumnya mengacu pada bagian spektrum elektromagnet yang terletak di antara daerah tampak dan daerah gelombang mikro. Bagi kimiawan organik, sebagian besar kegunaannya terbatas di antara 4000 cm^{-1} dan 666 cm^{-1} ($2,5 - 15,0\text{ }\mu\text{m}$). Pada daerah infra-merah dekat, $14.290 - 4000\text{ cm}^{-1}$ ($0,7 - 2,5\text{ }\mu\text{m}$) dan daerah infra-merah jauh, $700 - 200\text{ cm}^{-1}$ ($14,3 - 50\text{ }\mu\text{m}$). Pada dasarnya Spektrofotometri FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah sama dengan spektrofotometri

IR dispersi, yang membedakannya adalah pengembangan pada sistim optiknya sebelum berkas sinar infra-merah melewati contoh.

2.7 *Gas Chromatography and Mass Spectrophotometric (GCMS)*

GCMS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Gas kromatografi merupakan salah satu teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya. Gas kromatografi biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran gas dan juga menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas.

Spektroskopi massa adalah suatu metode untuk mendapatkan berat molekul dengan cara mencari perbandingan massa terhadap muatan dari ion yang muatannya diketahui dengan mengukur jari-jari orbit melingkarnya dalam medan magnetik seragam.

Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya. Kromatografi gas ini juga mirip dengan distilasi fraksional, karena kedua proses memisahkan komponen dari campuran terutama berdasarkan pada perbedaan titik didih atau tekanan uap. Distilasi fraksional biasanya digunakan untuk memisahkan komponen-komponen dari campuran pada skala besar, sedangkan GC dapat digunakan pada skala yang lebih kecil yaitu mikro (Pavia, 2006).

2.7.1 *Instrumentasi Gas Chromatography and Mass Spectrophotometric (GCMS)*

Rangkaian instrumentasi untuk gas kromatografi dan spektroskopi massa bergabung menjadi satu kesatuan rangkaian yang sering disebut dengan GCMS. Secara umum rangkaian GCMS :



Gambar 2.4 Diagram Alir Kromatografi Gas-Cair

(Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_chromatography diakses tanggal 12 Des 2011)

Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing instrument pada rangkaian GCMS.

2.7.1.1 Instrumentasi Gas Kromatografi

a. *Carrier Gas Supply*

Gas pembawa (*carrier gas*) pada kromatografi gas sangatlah penting. Gas yang dapat digunakan pada dasarnya haruslah *inert*, kering, dan bebas oksigen. Kondisi seperti ini dibutuhkan karena gas pembawa ini dapat saja bereaksi dan dapat mempengaruhi gas yang akan dipelajari atau diidentifikasi.

b. *Injeksi Sampel*

Sejumlah kecil sampel yang akan dianalisis diinjeksikan pada mesin menggunakan semprit kecil. Jarum semprit menembus lempengan karet tebal (Lempengan karet ini disebut septum) yang mana akan mengubah bentuknya kembali secara otomatis ketika semprit ditarik keluar dari lempengan karet tersebut.

2.8 Pembakaran *Single Droplet*

Pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dari udara dan karbon dari bahan bakar disertai dengan timbulnya cahaya (*flame*) dan menghasilkan kalor (Turn, 1996). Pada proses pembakaran terdapat dua peristiwa utama yang terjadi. Komposisi spesies campuran berubah terhadap waktu dan perubahan ini disebabkan oleh proses pada tingkat molekuler. Dan ikatan-ikatan molekul yang lemah terlepas, kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikat akan dilepas kedalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur. Berdasarkan dua peristiwa diatas

terdapat dua hal yang sangat penting yang harus dipenuhi agar proses pembakaran bisa berlangsung, antara lain kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi.

Berdasarkan kondisi campuran bahan bakar dengan oksigen, pembakaran dibedakan menjadi dua jenis. Pembakaran difusi, yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur sendiri secara alami melalui proses difusi selanjutnya baru terjadi pembakaran. Pembakaran difusi lebih didominasi oleh pengadukan (*mixing*) reaktannya dan reaksi terjadi pada jarak antara bahan bakar dan oksidator. Dan pembakaran *Premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran. Keberhasilan dari pembakaran *premixed* dipengaruhi oleh faktor homogenitas campuran udara dan bahan bakar, dimana pembakaran pada campuran udara dan bahan bakar yang tidak homogen menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal.

Bahan bakar masuk kedalam ruang bakar dalam bentuk *spray* yang tersusun atas banyak *droplet* melalui injektor atau nosel. *Spray* bahan bakar menjadi efisien apabila terjadi penguapan yang baik pada *droplet*. *Droplet* yang berasal dari *spray nozzle* memiliki ukuran diameter yang berbeda. Diameter *droplet* memiliki pengaruh terhadap laju penguapan bahan bakar. Semakin kecil diameter *droplet*, maka akumulasi penguapan bahan bakar semakin meningkat dan proses difusi menjadi lebih cepat (Awasthi *et al.*, 2013). Kim *et al.*, (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin kecil ukuran *droplet* maka volume menjadi turun, temperatur *droplet* semakin cepat naik dan laju penguapan semakin besar. Berdasarkan hukum Spalding d^2 , perubahan ukuran diameter *droplet* tidak berpengaruh terhadap laju pembakaran (Jackson & Avedisian, 1994; Bae & Avedisian, 2007; Wardana, 2010). Sedangkan konstanta laju pembakaran dari *single droplet* dapat dijelaskan oleh D^2 -Law, diameter kuadrat *droplet* akan berkurang secara linier terhadap waktu pembakaran (Orzechowski & Weislik S, 2014). Hara & Kumagai, (1994) melakukan penelitian *droplet* dengan diameter 70 μm dan menyatakan bahwa ukuran diameter *droplet* kecil dapat membentuk nyala api bulat (*spherical*) pada kondisi *normal gravity* (suhu pada temperatur ruang dan tekanan atmosfer). Jackson & Avedisian, (1994) mendefinisikan diameter *droplet* kecil adalah diameter dengan ukuran dibawah 1 mm. Istilah diameter kecil *droplet* pada penelitian (Bae & Avedisian, 2007) adalah antara 0.4 mm hingga 0.8 mm.

Single droplet adalah suatu metode analisa yang sederhana, murah untuk mengetahui karakteristik bahan bakar berdasar properties yang dimiliki bahan bakar (Hoxie *et al.*, 2014).

Sifat Pembakaran *droplet* sangat mungkin dipengaruhi oleh properties bahan bakar seperti volatilitas, reaktifitas dan struktur molekul. Struktur molekul bahan bakar mengacu pada panjang dan derajat ketidakjenuhan dari rantai karbon, yaitu ikatan rangkap dua dan tiga (Aggarwal, 2014). Metode penelitian *suspended droplet* adalah metode penelitian yang paling mudah untuk dilaksanakan karena *droplet* diletakkan pada suatu tempat kemudian dilakukan pembakaran dan fenomenanya dapat dilihat dari gambar atau foto pembakaran tersebut (Law, 1957; Jackson & Avedisian, 1994).

2.8.1 Penyalaan dan Pendidihan *Droplet*

Penyalaan dan pendidihan *droplet* merupakan bagian dari pembakaran *droplet*. Pembakaran pada bahan bakar cair secara langsung kurang efektif kecuali diubah terlebih dahulu menjadi bentuk kumpulan *droplet* yang disebut *spray*. Pembakaran *droplet* memiliki tujuan untuk mengetahui secara fisik proses apa yang terjadi saat bahan bakar *droplet* terbakar. Sehingga dapat diketahui karakteristik pembakaran dari susunan terkecil pada pembakaran *spray*.

Pembakaran *droplet* merupakan pembakaran difusi, hal ini dikarenakan pencampuran bahan bakar dengan oksidator terjadi setelah *droplet* terbakar. Ketika *droplet* dipanaskan, maka akan terjadi evaporasi dimana uap bahan bakar akan berdifusi dengan oksidator menuju *flame front*. Sehingga api akan terbentuk pada jarak tertentu dari permukaan *droplet*. Bentuk api akan dipengaruhi oleh kondisi gravitasi di sekitar *droplet*. Pada kondisi gravitasi yang rendah atau *microgravity*, api akan berbentuk lingkaran yang disebabkan oleh tidak adanya gaya apung. Namun pada keadaan gravitasi normal, api akan berbentuk memanjang keatas dikarenakan efek dari konveksi alami.

Saat proses pembakaran, panas yang dihasilkan nyala api akan merambat keluar daerah *flame front* yang merupakan *heat loss*, dan *heat loss* inilah yang banyak dimanfaatkan untuk menjadi energi lain. Kemudian ada sebagian panas api yang merambat menuju permukaan *droplet*. Temperatur hasil pembakaran akan berpindah menuju permukaan *droplet* secara konveksi. Temperatur ini digunakan untuk memanaskan *droplet* dan digunakan untuk mengubah fase *droplet* cair menjadi gas.

Dalam pembakaran *droplet* terdapat tiga tahapan utama yaitu pemanasan dimana terjadi proses penyalaan, penguapan didalamnya ada proses pendidihan dan pembakaran (Wardana, 2010). Fase pemanasan, dimana pada fase ini *droplet* dipanaskan oleh api. Selama fase ini ada dua peristiwa yang hanya menyebabkan perubahan kecil pada *droplet*, yang pertama

adalah pemuaian panas *droplet* dan yang kedua karena sebagian besar panas yang ditransfer ke *droplet* dipakai untuk memanaskan *droplet* maka tidak terjadi penguapan pada fase pertama ini. Pada tahapan pemanasan, terjadi transfer panas dari permukaan *droplet* menuju ke dalam *droplet*. Tegangan geser pada permukaan *droplet* lebih kecil daripada di dalam *droplet*, sehingga mengakibatkan komponen bahan bakar bergerak menuju ke permukaan *droplet* dan mengambil panas untuk pemanasan awal pada bahan bakar di dalam *droplet* (Huang & Chen, 1994). Fase penguapan, saat kondisi pemanasan tercukupi, dilanjutkan pada proses penguapan dimana terjadi proses gasifikasi yang dilakukan oleh komponen *volatile* dan *non volatile*. Penguapan *droplet* akan menjadi proses pengendali selama pembakaran melalui evolusi ukuran *droplet* (Cai & Pitsch, 2015). Bahan bakar memiliki beberapa komponen penyusun sehingga proses penguapan terjadi pada masing-masing komponen bahan bakar berdasarkan tingkat penguapan pada komponen penyusunnya. Semakin banyak komponen penyusun dari suatu bahan bakar, maka penguapan terjadi secara terus menerus. Lama waktu yang dibutuhkan dari proses pemanasan hingga penguapan tergantung pada konsentrasi atau prosentasi komponen dan perbedaan titik didih diantara komponen penyusun tersebut (Botero *et al.*, 2012). Fase penyalan atau dikenal dengan fase habis terbakar terjadi setelah *droplet* habis menguap, selama periode ini uap yang tersisa hampir dilalap habis oleh proses pembakaran.

Selama proses pembakaran, bentuk api adalah bulat pada kondisi *microgravity* dan berbentuk oval atau lonjong pada kondisi gravitasi normal (Jackson & Avesedian, 1994; Huang & Chen, 1994).

Pada kondisi gravitasi normal, proses pembakaran *droplet* dipengaruhi oleh konveksi alami dan gaya apung sehingga bentuk api menjadi oval (Huang & Chen, 1994). Pada kondisi *microgravity*, gaya apung dan konveksi alami memiliki nilai yang sangat kecil sehingga diabaikan (Dee & Shaw, 2004; Botero *et al.*, 2012). Banyak penelitian menggunakan kondisi *microgravity* yang menghasilkan api bulat karena memudahkan dalam menyajikan pemodelan kondisi pembakaran di ruang bakar. Selain itu, kondisi *microgravity* dapat memperlihatkan dengan jelas fenomena terjadinya jelaga dibandingkan dengan kondisi gravitasi normal (Bae & Avesedian, 2006). Konstanta Penguapan pada pembakaran *droplet* bentuk api bulat selalu lebih kecil daripada pembakaran *droplet* pada kondisi gravitasi normal. Hal ini menunjukkan bahwa konveksi alami memiliki pengaruh terhadap karakteristik pembakaran cairan *droplet* (Huang & Chen, 1994). Ada beberapa hasil tidak sama mengenai bentuk api bulat dan oval jika dihubungkan dengan kondisi gravitasi. Hara dan Kumagai (1994) melakukan penelitian

dengan diameter *droplet* 70 μm pada kondisi gravitasi normal dan menghasilkan api berbentuk bulat. Bae dan Avedisian (2006) menambahkan variasi tekanan pada penelitiannya dan menghasilkan bentuk api *droplet* tidak bulat karena adanya peningkatan konveksi pada tekanan 30 atm.

2.8.2 Karakteristik Pembakaran

Dalam penelitian *single droplet*, ada beberapa karakteristik pembakaran yang diamati, visualisasi nyala api meliputi tiga karakter yaitu tinggi api, lebar api serta warna nyala api. Untuk tinggi dan lebar api mewakili seberapa cepat *droplet* mengalami penguapan, jika penguapan lebih cepat dari pada pembakaran maka api yang dihasilkan tinggi dan tidak terlalu lebar. Untuk warna nyala api menandakan energi yang dihasilkan dalam proses pembakaran, dimana jika nyala api berwarna terang maka pembakaran tersebut menghasilkan energi yang lebih besar bila dibandingkan dengan api yang berwarna lebih redup.

Proses terjadinya *microexplosion* memiliki empat tahapan. Tahap pemanasan (*heating stage*) adalah proses pemanasan hingga *droplet* mendekati titik didih. Pada proses ini terjadi homogenisasi pada masing-masing komponen penyusun *droplet*. Komponen yang memiliki titik didih lebih tinggi bergerak menuju permukaan *droplet* dan yang memiliki titik didih rendah berkumpul di sekitar inti *droplet*. Tahap pembentukan lapisan (*Shell formation stage*) adalah komponen yang memiliki titik didih lebih tinggi memiliki viskositas yang lebih tinggi pula. Lapisan ini semakin kental hingga seolah-olah mengeras membentuk kulit. Tahap meningkatnya tekanan (*Pressure build-up stage*) dimana bagian dalam *droplet* yang memiliki titik didih lebih rendah mendidih terlebih dahulu dan memberikan tekanan yang semakin kuat pada lapisan kulit *droplet* yang memiliki titik didih lebih tinggi. Dan *micro-explosion* dimana tekanan yang diberikan pada lapisan permukaan semakin kuat hingga lapisan permukaan tidak mampu lagi menahan tekanan tersebut sehingga terjadilah *micro-explosion* yang memecah *droplet* menjadi butiran-butiran kecil. Dengan ukuran butiran yang kecil maka laju penguapan semakin cepat.

Peristiwa *micro-explosion* menjadi salah satu fenomena yang diamati. *Micro-explosion* terjadi karena adanya perbedaan tingkat penguapan, ukuran *droplet* dan konsentrasi pada bahan bakar yang dicampurkan (Lasheras, 1980; Wang & Law, 1982; Hoxie *et al.*, 2014). *Micro-explosion* disebabkan oleh pemanasan komponen dengan volatilitas tinggi pada kondisi sangat panas yang terjebak di dalam *droplet* (Botero *et al.*, 2012; Hoxie, *et al.*, 2014). *Micro-explosion* merupakan fenomena ledakan kecil yang muncul pada saat proses

pembakaran *droplet* pada bahan bakar cair (Nur Hamidi & Yuliati, 2016). Pada pembakaran *droplet*, komponen bahan bakar dengan volatilitas tinggi bergerak menuju ke permukaan *droplet*, sedangkan komponen dengan volatilitas rendah berada di dalam *droplet*. Wardana (2010) menjelaskan bahwa selama pembakaran *droplet*, minyak jarak mengalami proses hidrolisa yang menghasilkan asam lemak dan gliserol. Asam lemak terbakar terlebih dahulu dan gliserol bergerak ke permukaan *droplet* akibat adanya pemanasan, kemudian asam lemak yang terjebak di dalam *droplet* dapat tumbuh membesar dan meledak sehingga terjadi *micro-explosion*. Dengan temperature permukaan yang tinggi, maka interior *droplet* dapat dipanaskan hingga kondisi yang sangat panas. Pada kejadian tersebut, gasifikasi internal secara cepat menyebabkan *droplet* menjadi pecah (Wang *et al.*, 2003). Gasifikasi internal menghasilkan pertumbuhan gelembung yang semakin membesar seperti yang telah dijelaskan oleh (Dee & Shaw, 2004 dan Wardana, 2010).

Jika dilihat pada bentuk fisik api, (Wardana, 2010) berpendapat bahwa *micro-explosion* diawali dengan bentuk api yang menonjol kemudian dalam waktu yang singkat api berbentuk lonjong runcing memanjang seperti bentuk paku. Laju gasifikasi dan panjang api menjadi turun sedikit dalam waktu yang singkat selama proses transisi tersebut. Laju gasifikasi akan menjadi konstan saat seluruh komponen dengan volatilitas tinggi menguap dan membentuk lapisan batas pada permukaan *droplet* seperti yang dijelaskan oleh (Wang *et al.*, 2003). *Micro-explosion* dalam suatu pembakaran menghasilkan atomisasi sekunder sehingga pembakaran lebih sempurna (Mura *et al.*, 2014). Hal ini disebabkan pada saat pembakaran *droplet* terjadi *micro-explosion*, waktu pembakaran akan menjadi singkat (Jeong *et al.*, 2008).



BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Teoritis

Minyak nabati dengan komposisi terbesar asam lemak dan gliserol memiliki viskositas yang tinggi dan angka cetane yang rendah karena derajat kejenuhan yang rendah. Tingkat kejenuhan yang rendah menyebabkan minyak nabati bersifat polar (Meher *et al.*, 2013). Minyak nabati memiliki tingkat penguapan rendah karena minyak nabati memiliki struktur molekul yang besar sehingga molekul menjadi berat dan tegangan permukaan yang dimiliki besar. Tegangan permukaan besar dan viskositas tinggi mengakibatkan proses atomisasi menjadi lama dan berakibat kepada kurang sempurnanya bahan bakar bercampur dengan udara saat diruang bakar. Dengan komposisi asam lemak yang berbeda, maka sifat reaktif yang dimiliki minyak nabati akan berbeda-beda, minyak kelapa dan sawit yang termasuk dalam asam lemak jenuh akan berbeda dengan minyak jarak dan matahari yang termasuk asam lemak tidak jenuh. Sifat-sifat fisik dan kimia minyak nabati sangat dipengaruhi oleh komposisi asam lemak di dalamnya. Semakin banyak ikatan rangkap pada suatu rantai karbon maka angka cetane yang dihasilkan semakin kecil (Knothe *et al.*, 2003). Volatilitas komponen asam lemak akan meningkat dengan bertambahnya jumlah ikatan rangkap karbon (Carareto *et al.*, 2012). Tegangan permukaan akan mempengaruhi besar kecilnya ukuran gelembung sehingga berpengaruh pada laju penguapan dan energi penguapan. Geometri asam lemak mempengaruhi besar kecilnya temperatur dan energi kinetik yang dibutuhkan untuk interaksi gaya antar molekul.

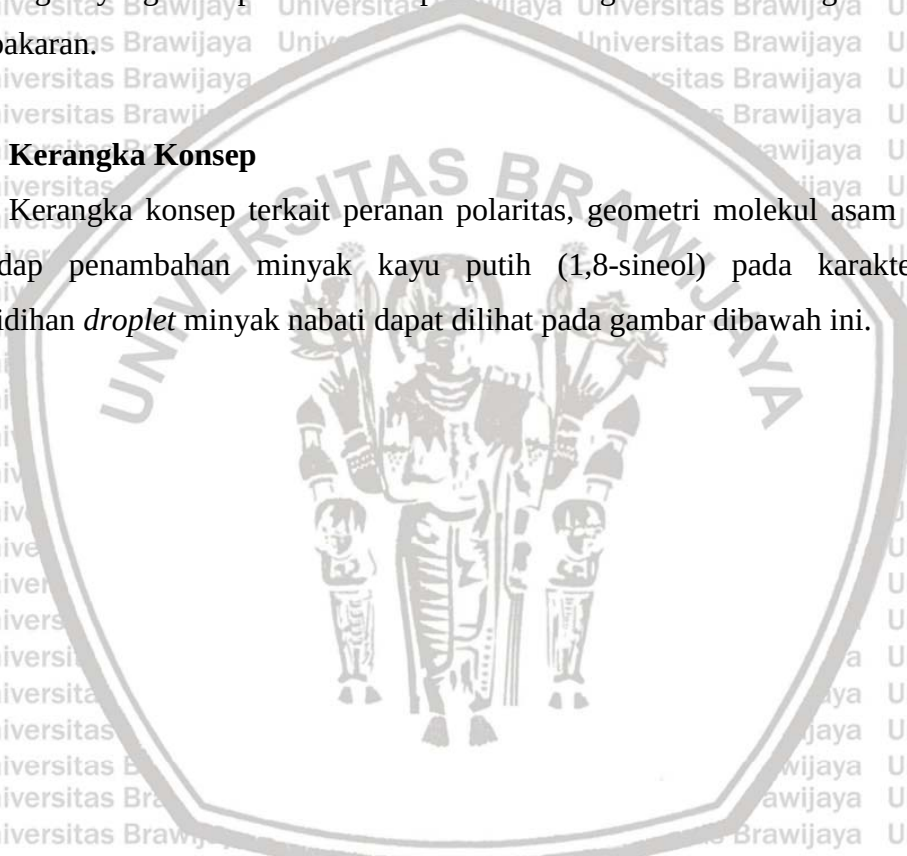
Percampuran minyak nabati dengan bahan bakar lain menjadi salah satu cara untuk menurunkan nilai viskositas agar minyak nabati dapat diaplikasikan pada mesin diesel. Salah satunya dengan mencampur minyak nabati dengan minyak atsiri yaitu minyak kayu putih (1,8-sineol). Campuran minyak nabati dan kayu putih (1,8-sineol) akan meningkatkan kadar oksigen bahan bakar, sehingga homogenitas campuran bahan bakar oksigen dan efisiensi volumetrik akan lebih baik dan akan mengakibatkan pembakaran lebih sempurna (Jeuland, 2004).

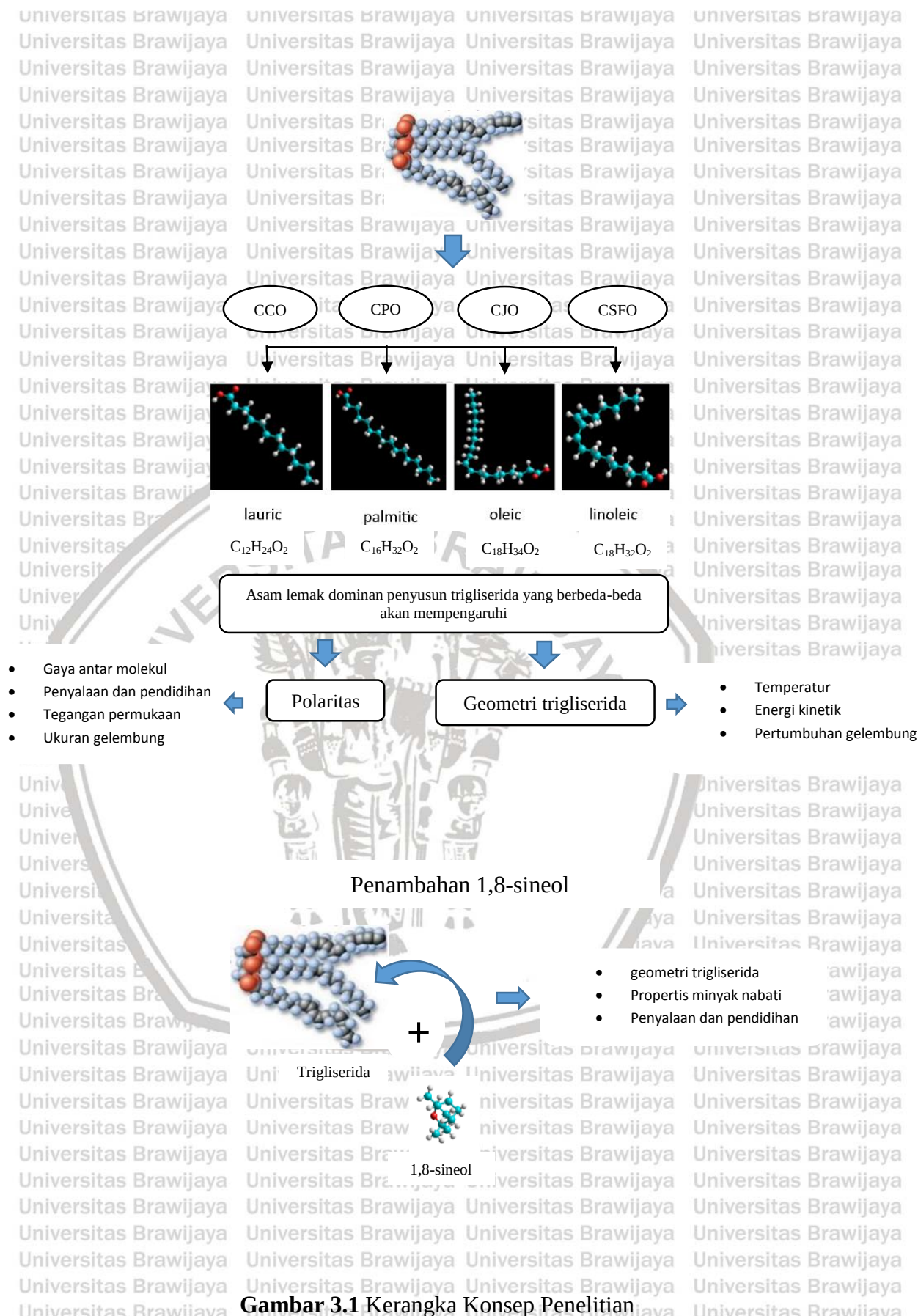
Minyak atsiri bersifat mudah menguap, berat jenisnya dapat campur dan melarutkan bahan organik termasuk bahan bakar minyak (Lawless, 2002). Minyak kayu putih (1,8-sineol) mengandung 30 komponen senyawa dengan senyawa terbesar sineol dan terpineol. Minyak kayu putih (1,8-sineol) memiliki komposisi terbesar yaitu sineol mencapai 77,40%, dengan penyusunnya Ionone, formamide, asam asetat dan α -pinene. Ionene larut dalam air dan

beberapa pelarut lain seperti alkohol, Minyak kayu putih (1,8-sineol) termasuk dalam hidrokarbon aromatik yang mempunyai sifat antiknock yang baik karena termasuk senyawa siklis dengan enam atom karbon yang saling mengikat satu atom hidrogen. Sineol sebagai komponen utama minyak kayu putih memiliki rumus $C_{10}H_{18}O$ adalah ester siklik alami dari anggota monoterpen, dan sebagai *oxygenated fuel*, karena sineol memiliki atom oksigen, atom oksigen didalam bahan bakar akan berperan untuk mengoksidasi jelaga dan gas karbon monoksida (CO) sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna (Choi, 1999). Terpeneol memiliki gugus hidroksil yang sifat mudah menguap dan mempercepat reaksi pembakaran. Kandungan yang terdapat dalam terpeneol berfungsi untuk meningkatkan efisiensi proses pembakaran.

3.2 Kerangka Konsep

Kerangka konsep terkait peranan polaritas, geometri molekul asam lemak dan respon terhadap penambahan minyak kayu putih (1,8-sineol) pada karakteristik pengapian, pendidihan *droplet* minyak nabati dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

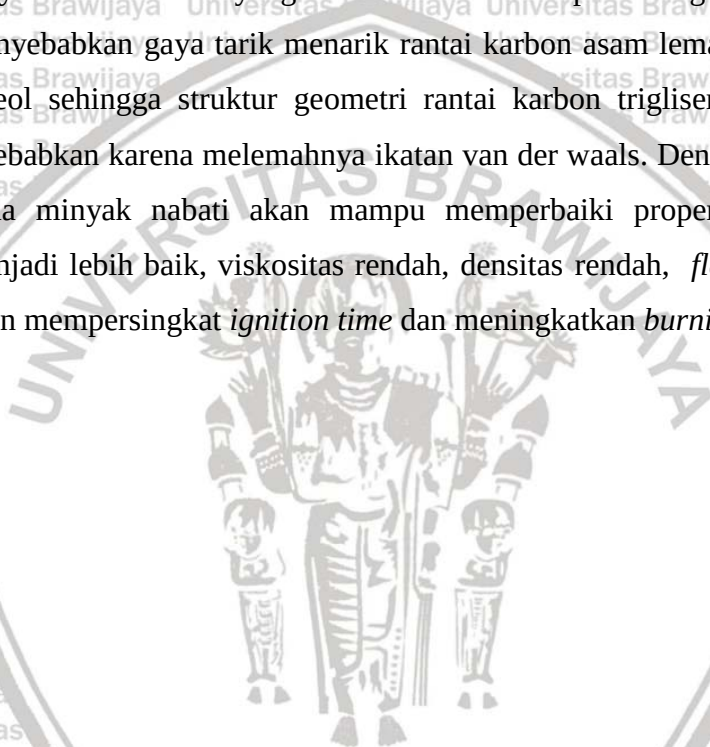




Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian

3.3 Hipotesa

1. Minyak nabati yang mempunyai kandungan asam lemak yang berbeda akan mempengaruhi polaritas dan geometri asam lemak dan trigliserida serta berpengaruh terhadap karakteristik pengapian dan pendidihan.
2. Polaritas akan mempengaruhi besar kecilnya gaya tarik menarik antar molekul, sedangkan temperatur pengapian dan pendidihan akan mempengaruhi geometri asam lemak dan trigliserida.
3. Minyak kayu putih sebagai *oxygenated fuel*, gugus hidroksil, cincin benzena dan senyawa aromatik yang mana bila dicampur dengan minyak nabati akan menyebabkan gaya tarik menarik rantai karbon asam lemak trigliserida dengan 1,8-sineol sehingga struktur geometri rantai karbon trigliserida menjadi melebar, ini disebabkan karena melemahnya ikatan van der Waals. Dengan mencampur 1,8-sineol pada minyak nabati akan mampu memperbaiki properties fisik minyak nabati menjadi lebih baik, viskositas rendah, densitas rendah, *flash point* rendah sehingga akan mempersingkat *ignition time* dan meningkatkan *burning rate*.



BAB IV METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sungguhan (*true experimental research*). Metode ini digunakan untuk menguji suatu perlakuan atau desain baru dengan membandingkan satu atau lebih kelompok pengujian dengan perlakuan dan tanpa perlakuan. Dengan mengamati hasil properties campuran bahan bakar, polaritas asam lemak, geometri asam lemak, karakteristik pembakaran yaitu proses terjadinya api dan gelembung dari pembakaran *single droplet* campuran minyak kayu putih-minyak nabati.

4.1 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan yaitu mengamati karakteristik pemanasan dan pendidihan hasil pemanasan minyak nabati dengan pengujian *single droplet* dan di simulasikan dengan program *HyperChem* profesional sehingga bisa mengamati geometri asam lemak dan trigliserida ketika pemanasan, pendidihan dan penambahan 1,8-sineol.

1. Variable bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang besarnya telah ditentukan dan tidak dipengaruhi variabel lain. Dalam penelitian kali ini, variabel bebasnya adalah minyak nabati yaitu minyak kelapa, minyak sawit, minyak jarak, minyak matahari dan penambahan minyak kayu putih (1,8-sineol) sebesar 5%.

2. Variable terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya bergantung dari variabel bebas dan hasilnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Dalam penelitian kali ini variabel terikatnya adalah

- a. Properties minyak yang meliputi viskositas dan *flash point*.
- b. Polaritas dan geometri asam lemak dan trigliserida.
- c. Karakteristik pembakaran yang meliputi dimensi droplet (penyusutan droplet dan fenomena gelembung) visualisasi api, *burning rate*, *ignition delay time*, temperatur dan energi kinetik.

4.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan empat macam minyak nabati, yaitu *Crude Coconut Oil* (CCO), *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Crude Sun Flower Oil* (CSFO) yang didapat dengan pesanan khusus dimana prosesnya diekstraksi dengan cara pelarutan menggunakan heksana

kemudian dipisahkan menggunakan destilasi. *Crude Jatropha Oil* (CJO) didapatkan dari proses ekstraksi biji jarak dengan menggunakan mesin *screw press* di Balai Penelitian Tanaman Serat dan Tembakau (Ballitas) Malang, dan pencampurnya adalah minyak kayu putih (1,8-sineol) didapat dari daerah Maluku yaitu Ambon melalui proses *screw press*. CJO dan CSFO dominan mengandung asam lemak tak jenuh. Asam lemak pada CJO adalah tak jenuh tunggal, sedangkan pada CSFO tak jenuh ganda. CCO dan CPO didominasi kandungan asam lemak jenuh. Kandungan asam lemak pada keempat minyak nabati dites menggunakan GC-MS. Keempat minyak nabati yang kami teliti tidak hanya ditentukan oleh kepolaran, tetapi ditentukan juga oleh bentuk geometri asam lemak dominan penyusunnya. Bentuk geometri dibagi dua, bentuk dominan asam lemak lurus dan bentuk dominan asam lemak bengkok. CCO dan CPO dominan geometri asam lemak lurus. CJO dan CSFO dominan geometri asam lemak bengkok. 1,8-sineol ($C_{10}H_{18}O$) adalah ester siklik alami dari anggota monoterpen, dan sebagai *oxygenated fuel*. Perubahan geometri molekul dan energi kinetik ketika pemanasan disimulasikan menggunakan *software HyperChem*. Visualisasi gelembung mulai dari penyalaan sampai nyala api menggunakan *mode video*. Pengaruh penambahan 1,8-sineol terhadap perubahan struktur geometri molekul rantai karbon trigliserida di simulasikan menggunakan *software HyperChem*.

4.3 Langkah Penelitian

Penelitian di bagi ke dalam 5 tahap, yaitu tahap pertama adalah uji homogenitas dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*), tahap ke-dua adalah uji GCMS (Gas kromatografi dan spektrometri massa), tahap ke-tiga uji propertis bahan bakar minyak nabati *Crude Coconut Oils* (CCO), *Crude Palm Oils* (CPO), *Crude Jatropha Oils* (CJO), *Crude Sun Flower Oils* (CSFO) dan minyak kayu putih (1,8-sineol). Tahap ke-empat pengujian makro dengan menggunakan metode *single droplet*, untuk mengetahui karakteristik pembakaran yang meliputi *ignition delay*, *burning rate*, visualisasi *droplet*, visualisasi api dan temperatur selama penyalaan, pendidihan sampai pengapian. Tahap ke-lima adalah menggunakan simulasi program *HyperChem* untuk melihat perubahan geometri molekul dan energi kinetik pada molekul asam lemak dan trigliserida yang dipanaskan sesuai temperatur pengujian *droplet* yang sudah dilakukan.

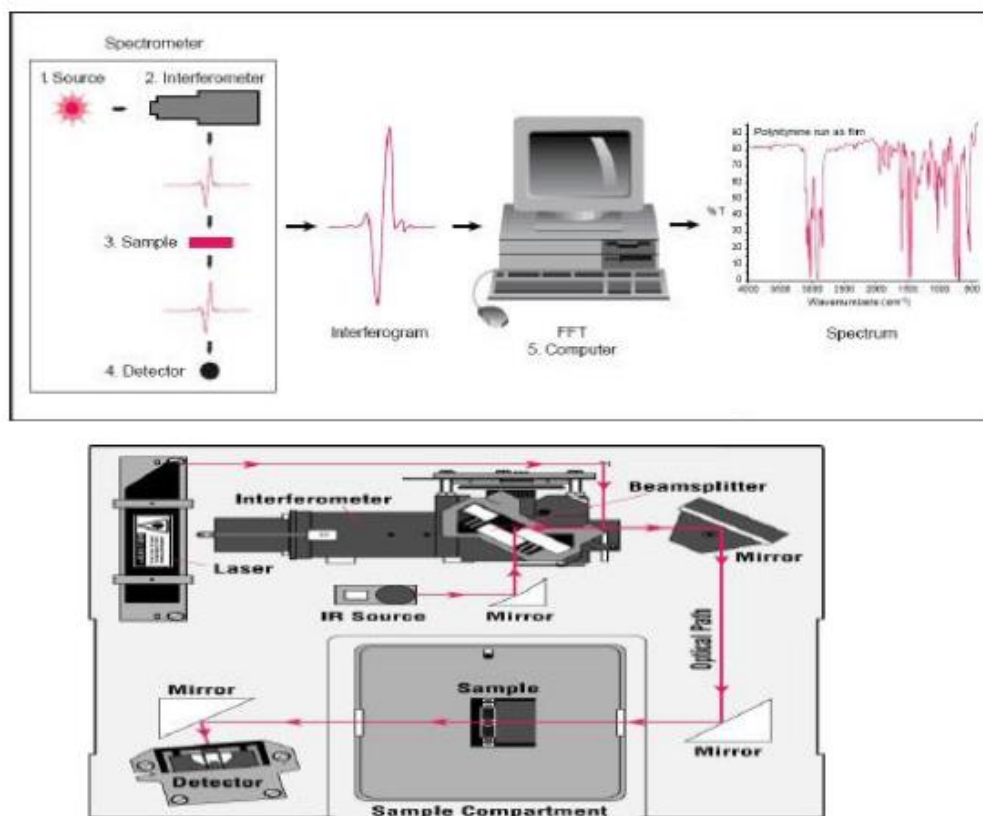
4.3.1 FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Tahap pertama adalah menguji homogenitas campuran bahan bakar minyak nabati dan 1,8-sineol dengan menggunakan uji FTIR yang telah dilakukan di laboratorium PT Petrolab Service. Uji FTIR ini untuk mengetahui campuran bahan bakar homogenitas. Pada dasarnya

FTIR sama dengan *spektrometer infrared dispersi*, yang membedakannya adalah pada pengembangan sistem optik sebelum berkas sinar infrared melewati sampel. Prosedur uji FTIR dimulai dengan mencampurkan minyak nabati dengan 1,8 sineol sesuai prosentasi campuran yaitu 5% prosentase volume. Minyak nabati 9,5 ml dimasukan kedalam gelas ukur kaca ukuran 10 ml, lalu masukan 0,5 ml 1,8-sineol dengan menggunakan pipet dan diaduk dengan menggunakan batang pengaduk selama 15 menit. Selanjutnya campuran didiamkan selama kurang lebih satu bulan pada suhu kamar, kemudian diambil sampel di daerah *bottom* dan sampel di daerah *upper*. Masing-masing di analisa dengan metode FTIR (*Fourier Transporm Infrared*).

Gambar 4.1 secara sistematis menggambarkan skematik dari FT-IR menggunakan interferometer untuk memproses energi yang dikirim ke sampel. Dalam interferometer, energi sumber melewati pembagi berkas, berupa cermin. Pembagi berkas memungkinkan radiasi yang masuk melewati dan memisahkannya menjadi dua berkas tegak lurus, satu tidak berubah, yang lain berorientasi. Satu berkas yang berorientasi pergi kecermin stasioner atau tetap dan dikembalikan ke pembagi berkas. Sinar yang tidak terdektesi beralih ke cermin yang bergerak dan juga dikembalikan ke pembagi berkas. Gerak cermin menyebabkan jalur yang dilalui oleh berkas kedua bervariasi. Ketika dua berkas bertemu di pemisah berkas, mereka bergabung kembali, tetapi perbedaan panjang gelombang dari dua berkas menyebabkan gangguan konstruktif dan destruktif. Sinar gabungan yang mengandung pola interferensi ini disebut *interferogram*. *Interferogram* ini mengandung semua energi radiasi yang berasal dari sumber dan memiliki berbagai panjang gelombang.

Desain jalur optik menghasilkan pola yang disebut *interferogram* yaitu, sinyal kompleks, tetapi pola gelombangnya mengandung semua frekuensi yang membentuk spektrum infra merah. *Interferogram* pada dasarnya adalah plot intensitas terhadap waktu. Namun para ahli kimia lebih tertarik pada spektrum yang merupakan plot intensitas versus frekuensi (*frekwensi-domain spektrum*). Transformasi Fourier (FT) dapat memisahkan frekuensi penyerapan individu dari *interferogram*, menghasilkan spektrum yang hampir identik dengan yang diperoleh dari spektrometer dispersif. Jenis instrument ini lebih dikenal sebagai spektrometer inframerah transformasi fourier atau disebut FT-IR (*Fourier Transporm Infrared*) (Perkins, 1986).



Gambar 4.1 Alat Uji FTIR

Thermonicelet Corporation (2007), *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*:3)

4.3.2 GC-MS (Gas kromatografi dan spektrometri massa)

Tahap kedua, adalah Pengujian untuk mengetahui komposisi asam lemak dari minyak nabati dan komposisi penyusun minyak kayu putih (1,8-sineol). uji GC-MS minyak nabati (minyak kelapa, minyak sawit, minyak jarak, minyak matahari) dan minyak kayu putih (1,8-sineol). Pengujian dilakukan dengan metode GC-MS (Gas kromatografi dan spektrometri massa) dilakukan dengan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Pengujian GC-MS diuji di UPT laboratorium terpadu Universitas Diponegoro, Semarang.



Gambar 4.2 Alat Uji GCMS

4.3.3 Uji Propertis minyak nabati dan 1,8-sineol

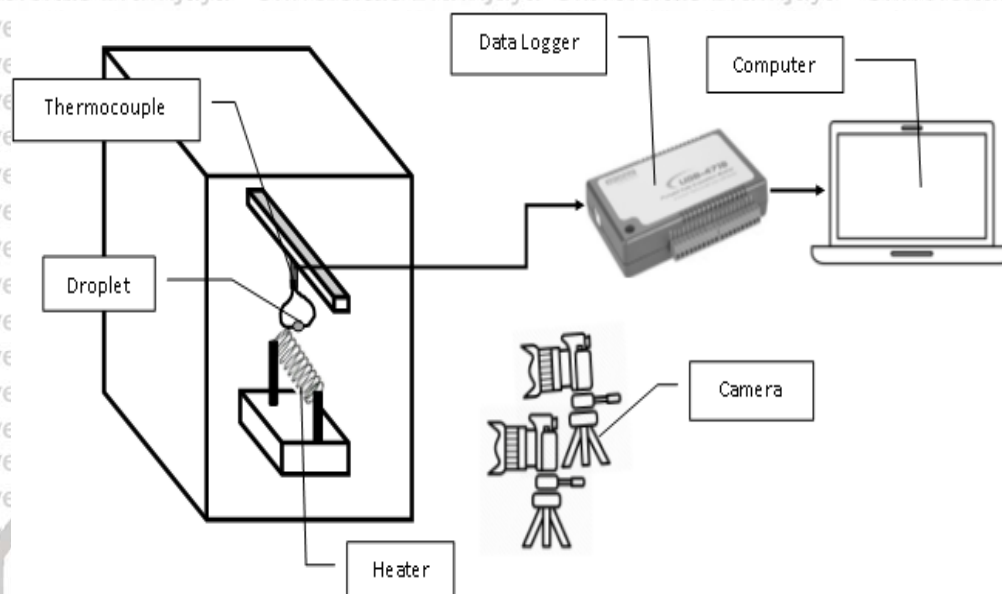
Propertis yang diuji adalah viskositas, *flash point* dari minyak nabati yaitu *Crude Coconut Oils* (CCO), *Crude Palm Oils* (CPO), *Crude Jatropha Oils* (CJO), *Crude Sun Flower Oils* (CSFO) dan minyak kayu putih (1,8-sineol). Pengujian viskositas dan *flash point* telah dilaksanakan di labolatorium penelitian dan pengujian terpadu Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. Pengujian viskositas dilakukan untuk mengetahui viskositas kinematik 40°C dengan menggunakan alat *ostwald viscosity capillary viscometer* dengan mengikuti prosedur ASTM D 446. Uji *flash point* (titik nyala) PMCC diuji dengan alat tester SYD-26ID, adalah alat ukur titik nyala dengan standar. Penentuan titik nyala Pensky-Martens metode cangkir tertutup dan metode standar ASTM D93 untuk pengujian *flash point*. Pengukuran cangkir tertutup ini digunakan untuk membuat penentuan *flash point* pada produk bahan bakar pada rentan suhu 40°C sampai dengan 360°C.



Gambar 4.3 Alat Uji *Flash point*

Sumber: www.multimeter-digital.com

4.3.4 Pengujian *single droplet*



Gambar 4.4 Instalasi Penelitian

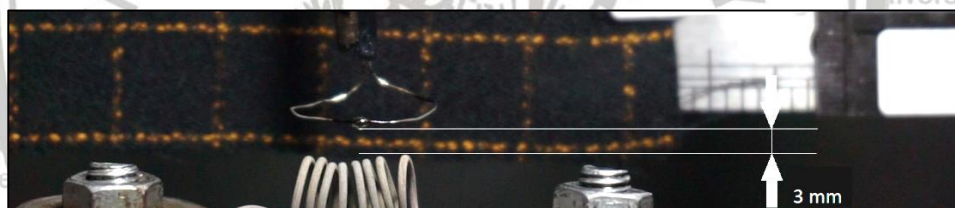
Pengujian *single droplet* adalah bahan bakar masuk kedalam ruang bakar dalam bentuk *spray* yang tersusun atas banyak *droplet* melalui injektor atau nosel. *Spray* bahan bakar menjadi efisien apabila terjadi penguapan yang baik pada *droplet*. *Droplet* yang berasal dari *spray nozzle* memiliki ukuran diameter yang berbeda. Diameter *droplet* memiliki pengaruh terhadap laju penguapan bahan bakar. Semakin kecil diameter *droplet*, maka akumulasi penguapan bahan bakar semakin meningkat dan proses difusi menjadi lebih cepat.

Skema pengujian ditampilkan pada gambar 4.1. Penelitian ini bertujuan untuk menguji karakteristik pembakaran *droplet* minyak nabati. Metode pengujian *droplet* menggunakan *suspended droplet* berukuran 1 mm diletakkan pada ujung *thermocouple* kemudian dipanaskan hingga terbakar menggunakan *heater* yang berjarak 3 mm dari *droplet*. *Thermocouple* yang digunakan adalah tipe K dengan diameter 0,1 mm. *Heater* yang dipakai adalah koil listrik berupa lilitan logam dengan panjang 40 mm dan tahanan 1.02 ohm, berbahan Ni-Cr dan memiliki diameter 0,9 mm. Sumber energi dari pemanas adalah arus bolak balik 220 volt diubah menjadi arus searah 12 volt menggunakan trafo *step-down* dengan arus 8 ampere, hambatan 8 ohm, dan daya 50 watt. *Droplet* dibuat dengan

menggunakan *Conventional Insulin Syring* (1 mL) dengan 100 strip, satu strip menunjukkan $10\mu\text{L}$ ($0,00001\text{L}$), dan pembakaran dilakukan pada tekanan atmosfer dan suhu ruangan yang standar. Suhu api diukur menggunakan *thermocouple* yang dihubungkan dengan *data logger* bermerk Advantech dengan tipe produk USB-4718 dengan frekuensi sampling 1 kHz, dimana pembacaannya menggunakan program *excel* pada komputer. *Image droplet* dan nyala api diambil dengan menggunakan kamera Nikon D3300 dan visualisasi gelembung diambil dengan menggunakan kamera Canon EOS 700D. Pengambilan gambar dilakukan dengan mode video dengan kecepatan 60 fps. *Software* Vidio to JPG Converter digunakan untuk mengolah data rekaman vidio menjadi format JPG. *Software* ImageJ digunakan untuk menscale gambar JPG. Hasil pengukuran dan perhitungan disajikan dalam bentuk grafik menggunakan *software* OriginPro 8. Perubahan geometri molekul dan energi disimulasikan menggunakan *software* HyperChem Profesional.

4.3.5 Pengukuran droplet.

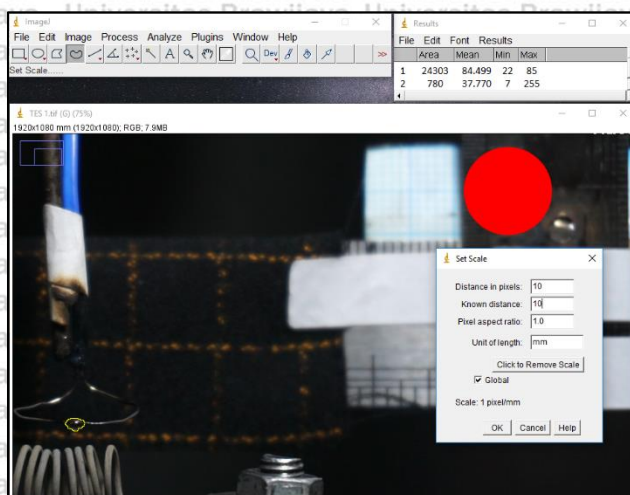
Pengujian *droplet* menggunakan *suspended droplet* berukuran 1 mm diletakkan pada ujung *thermocouple* kemudian dipanaskan hingga terbakar menggunakan *heater* yang berjarak 3 mm dari *droplet*.



Gambar 4.5 Jarak antara *Thermocouple* dengan *Heater*

Image droplet dan nyala api diambil dengan menggunakan kamera Nikon D3300 dan visualisasi gelembung diambil dengan menggunakan kamera Canon EOS 700D. Pengambilan gambar dilakukan dengan mode video dengan kecepatan 60 fps. *Software* Vidio to JPG Converter digunakan untuk mengolah data rekaman vidio menjadi format JPG. *Software* ImageJ digunakan untuk menscale gambar JPG. Data penyalan dan pendidihan berasal dari perhitungan $(dt/d0)^2$ terhadap $(t/d0^2)$.

Untuk mengukur diameter *droplet* adalah dengan cara memilih salah satu gambar hasil dari konversi dan perekaman vidio pembakaran *droplet*, lalu masukkan pada *software* ImageJ. Lakukan pengukuran untuk luas lingkaran yang diberi warna merah untuk pusat acuan. Lakukan pengaturan skala dari lingkaran acuan berwarna merah lalu mengukur luas lingkaran *droplet*. Untuk mendapatkan diameter droplet bandingkan luas lingkaran acuan dengan *droplet*.



Gambar 4.6 Cara Mengukur Diameter Droplet

Contoh perhitungan pada diameter awal droplet :

$$\begin{aligned}
 L_1 / L_2 &= \frac{1}{4} \pi d_1^2 / \frac{1}{4} \pi d_2^2 \\
 24303 / 780 &= 10^2 / d_2^2 \\
 d_2 &= \sqrt{78000 / 24303} \\
 &= 1,792 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

L_1 = Luas lingkaran acuan berwarna merah (mm^2)

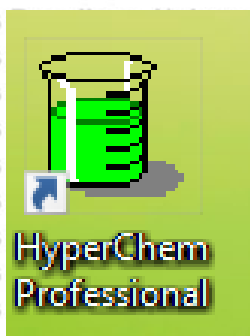
L_2 = Luas awal droplet (mm^2)

d_1 = Diameter lingkaran acuan berwarna merah (mm^2)

d_2 = Diameter awal droplet (mm^2)

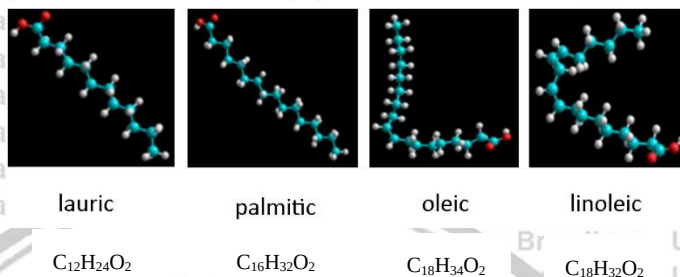
4.3.6 Program HyperChem Profesional.

Program *HyperChem Profesional* adalah program pemodelan molekul canggih yang dikenal dengan kualitas, fleksibilitas dan kemudahan menggunakannya. Program *HyperChem Profesional* menyatukan visualisasi dan animasi 3D dengan perhitungan kimia kuantum, mekanika molekul dan dinamika. *HyperChem Profesional* mampu menggambar dan rendering.



Gambar 4.7 Program HyperChem Profesional

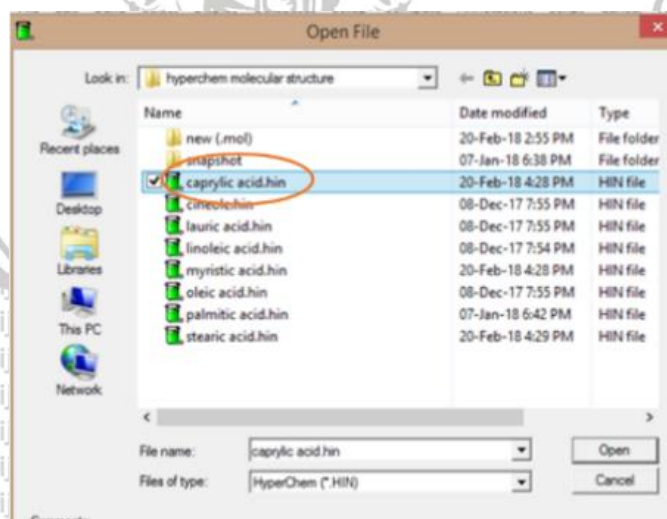
Program *HyperChem Profesional* di gunakan untuk membuat pemodelan molekul asam lemak yang terkandung di dalam minyak nabati dan pemodelan trigliserida dan penambahan 1,8-sineol. Dari hasil uji GCMS diambil asam lemak dominan penyusun pada minyak nabati. Pada CCO (*Crude Coconut Oils*) asam lemak dominan *lauric*, CPO (*Crude Palm Oils*) asam lemak dominan *palmitic*, CJO (*Crude Jatropha Oils*) asam lemak dominan *oleic* dan CSFO (*Crude Sun Flowers Oils*) asam lemak dominan *linoleic*.



Gambar 4.8 Asam Lemak Dominan Penyusun Minyak Nabati

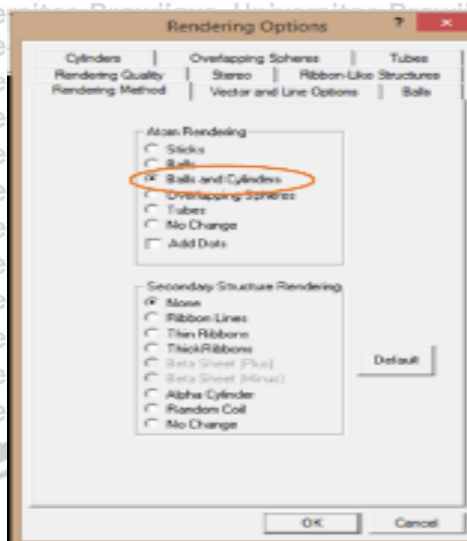
4.3.4.1 Cara simulasi program *HyperChem Profesional*

1. Buka program *HyperChem Profesional*, lalu pilih *file* selanjutnya pilih *open*. Lanjutkan dengan memilih *file* molekul yang sudah kita download dari [website chemspider.com](http://chemspider.com) berupa *file* .hin yang akan dilakukan simulasi lalu *klik Open*.

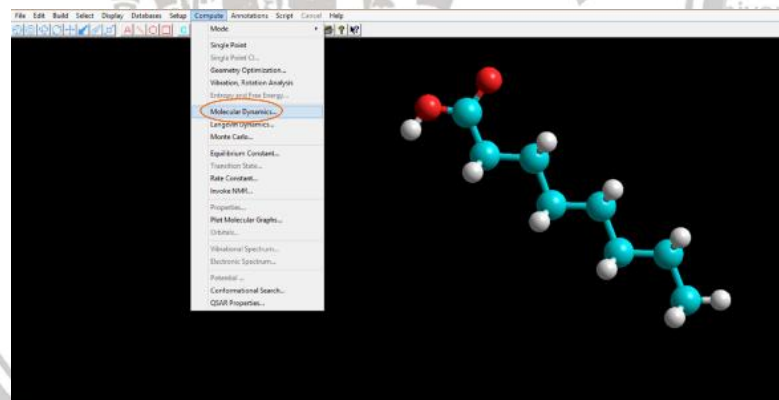


2. Langkah selanjutnya adalah menampilkan visualisasi 3D agar visualisasi molekul lebih mudah diamati dengan cara pilih *Display – Rendering*. Pada menu *Rendering*

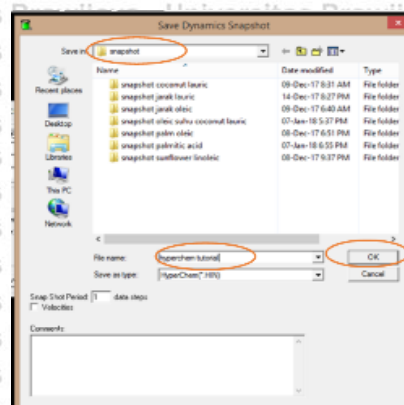
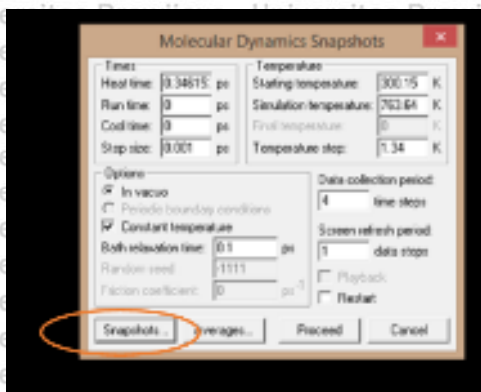
Method pilih *Ball and Cylinders* setelah itu pilih OK. Sehingga tampilan gambar molekul tidak berupa garis tapi menjadi gambar 3D.



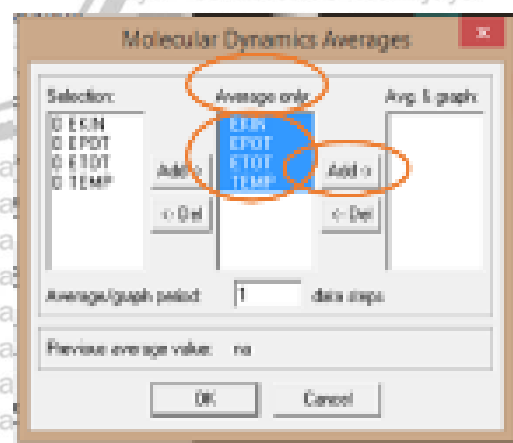
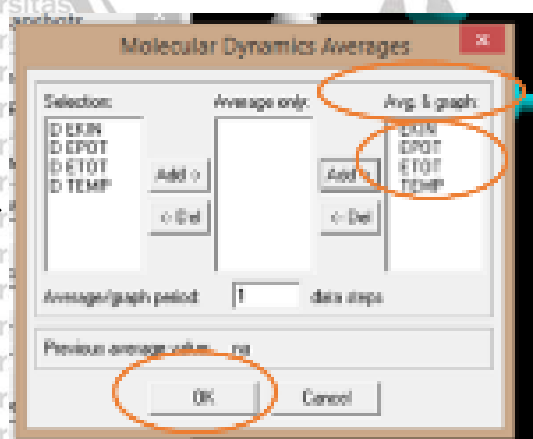
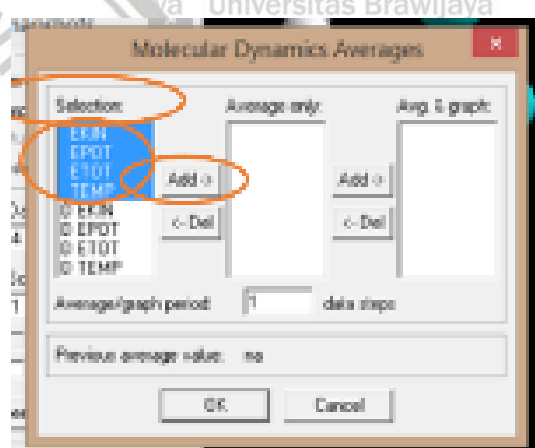
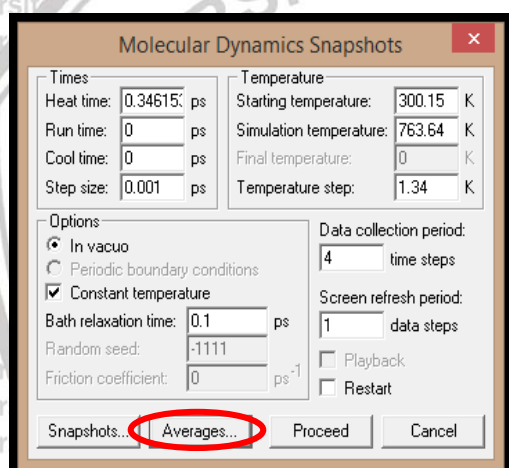
3. Setelah file molekul telah siap untuk dilakukan simulasi, langkah berikutnya adalah masuk menu *Compute* lalu pilih *Molecular Dynamics*. Dalam menu *molecular dynamic* ini terdapat beberapa pengaturan yang harus disetting terlebih dahulu.



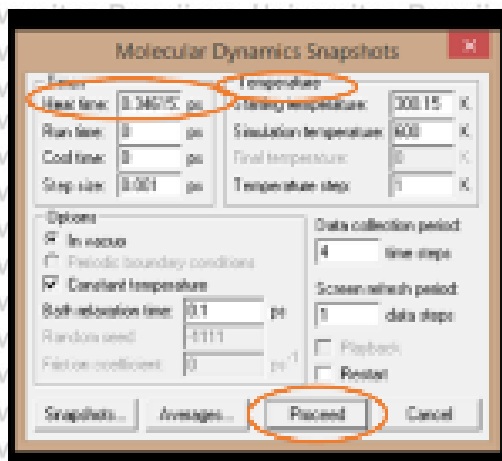
4. Setting pertama yang harus dilakukan adalah pilih menu *Snapshots*. Kemudian beri nama file snapshot dan letakkan pada folder yang diinginkan. Fungsi dari menu *snapshots* ini adalah untuk menentukan tempat penyimpanan data hasil simulasi, dan hasil snapshot ini akan berupa file excel.



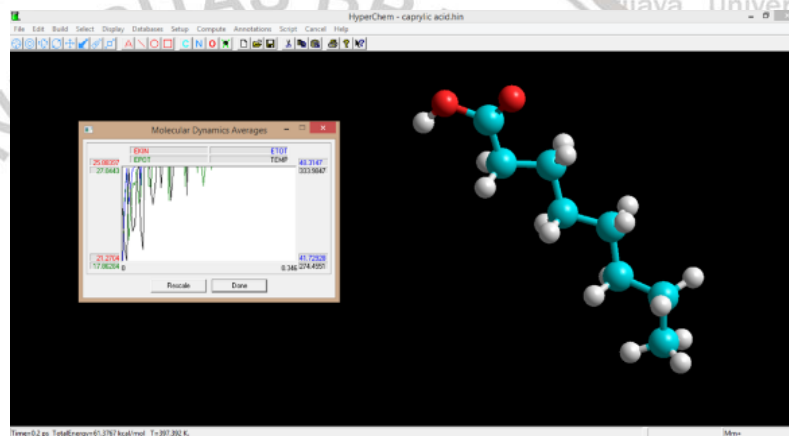
5. Langkah berikutnya menambahkan variabel yang akan disimulasikan pada menu Averages. Pilih variabel yang akan disimulasikan pada menu Selection (energi kinetik, energi potensial, energi total, temperatur) lalu klik Add. Pilih variabel yang ada di menu average only kemudian pilih Add. Setelah variabel yang akan disimulasikan masuk di menu Avg & graph kemudian pilih OK.



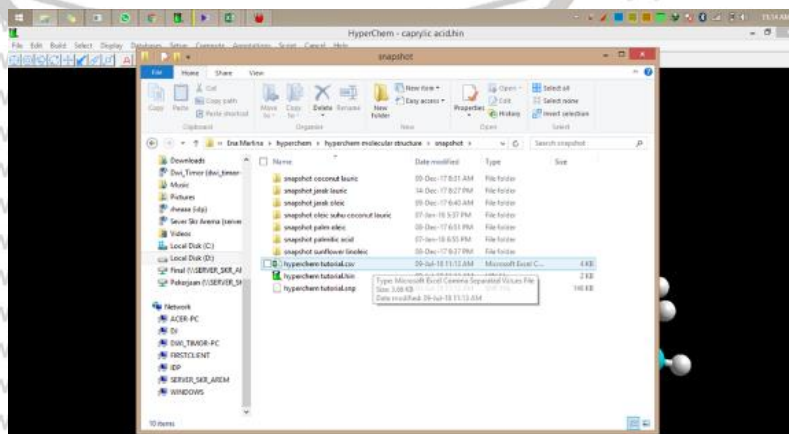
6. Lalu masukkan waktu simulasi pemanasan yang kita inginkan di Menu Times - Heat time (1ps = 13s), setelah itu masukkan suhu awal pemanasan dan temperatur simulasi yang diinginkan (°K), kemudian pilih Proceed.



7. Tunggu beberapa saat hingga proses simulasi selesai. Setelah proses telah selesai pilih *Done* untuk mengakhiri simulasi. Proses simulasi dapat direkam dengan menggunakan program lain (contohnya : *FastStone Capture*), lalu dipecah menjadi gambar.



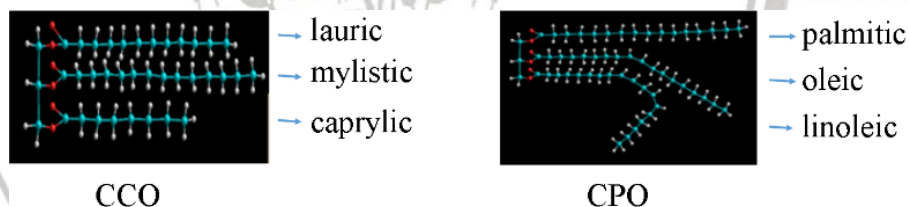
8. Setelah selesai melakukan proses simulasi, hasil simulasi dapat dilihat pada *folder* yang sudah dipilih tadi. Kita dapat membuka *file Excel* yang berformat *.csv* sesuai simulasi yang telah dilakukan.



9. Gambar di bawah ini adalah data hasil simulasi berupa data *Excel* yang meliputi variabel yang telah dipilih tadi (*time*, energi kinetik, energi potensial, energi total, temperatur).

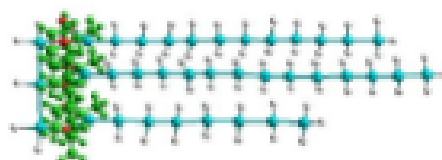
time	EKIN	EPOT	ETOT	TEMP
0	23.890481	17.86284	41.75332	307.8521
0.004	23.89051	17.85998	41.75049	307.8521
0.008	23.89054	17.85712	41.74766	307.8521
0.012	23.89057	17.85426	41.74483	307.8521
0.016	23.8906	17.8514	41.74199	307.8521
0.02	23.89063	17.84854	41.73916	307.8521
0.024	23.89066	17.84568	41.73632	307.8521
0.028	23.89069	17.84282	41.73349	307.8521
0.032	23.89072	17.83996	41.73065	307.8521
0.036	23.89075	17.8371	41.72782	307.8521
0.04	23.89078	17.83424	41.72498	307.8521
0.044	23.89081	17.83138	41.72215	307.8521
0.048	23.89084	17.82852	41.71931	307.8521
0.052	23.89087	17.82566	41.71648	307.8521
0.056	23.8909	17.8228	41.71364	307.8521
0.06	23.89093	17.81994	41.71081	307.8521
0.064	23.89096	17.81708	41.70797	307.8521
0.068	23.89099	17.81422	41.70514	307.8521
0.072	23.89102	17.81136	41.7023	307.8521
0.076	23.89105	17.8085	41.69946	307.8521
0.08	23.89108	17.80564	41.69663	307.8521
0.084	23.89111	17.80278	41.69379	307.8521

Proses yang sama dilakukan untuk molekul minyak nabati (*trigliserida*), kami menyusunnya berdasarkan tiga asam lemak yang dominan penyusun minyak nabati (*trigliserida*). CCO (*Crude Coconut Oils*) tersusun atas *lauric*, *myristic* dan *caprylic*, CPO (*Crude Palm Oils*) tersusun atas *palmitic*, *oleic* dan *linoleic*, CJO (*Crude Jatropha Oils*) tersusun atas *oleic*, *palmitic*, *stearic* sedangkan CSFO (*Crude Sun Flower Oils*) tersusun atas *linoleic*, *oleic* dan *stearic*.



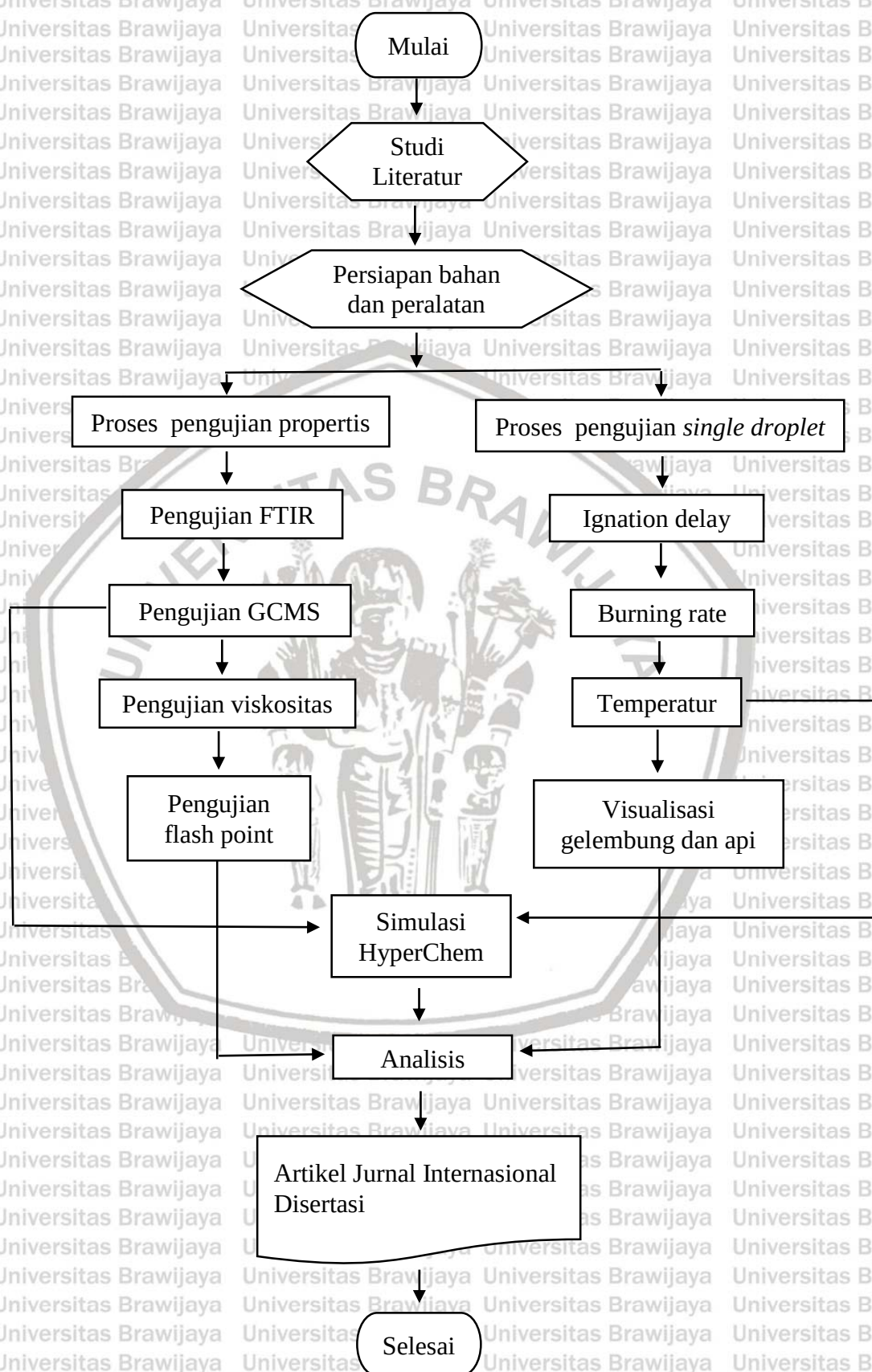
Gambar 4.9 Tiga Asam Lemak Dominan Penyusun Minyak Nabati

Pada penambahan minyak nabati dan 1,8-sineol, proses program *HyperCham* sama, hanya setelah langkah ke empat pilih *marge* untuk menambahkan 1,8-sineol.



Gambar 4.10 Tiga Asam Lemak Dominan Penyusun Minyak Nabati + 1,8-sineol

4.4 Alur penelitian



Gambar 4.11 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil riset dan analisisnya disajikan dalam paparan berikut. Tahap riset awal dimulai dari asumsi bahwa minyak kayu putih (1,8-sineol) yang mengandung 59,05% 1,8-sineol merupakan salah satu minyak atsiri yang bersifat mudah menguap yang memiliki rumus $C_{10}H_{18}O$ adalah ester siklik alami dari anggota monoterpen, dan sebagai *oxygenated fuel* karena sineol memiliki atom oksigen, sehingga minyak kayu putih (1,8-sineol) bisa sebagai campuran minyak nabati yang akan membantu menurunkan nilai viskositas minyak nabati sehingga minyak nabati dapat diaplikasikan pada mesin diesel.

Untuk mendapatkan nilai viskositas nabati yang lebih rendah maka dilakukan pencampuran dengan minyak kayu putih (1,8-sineol) dengan prosentase campuran 5%.

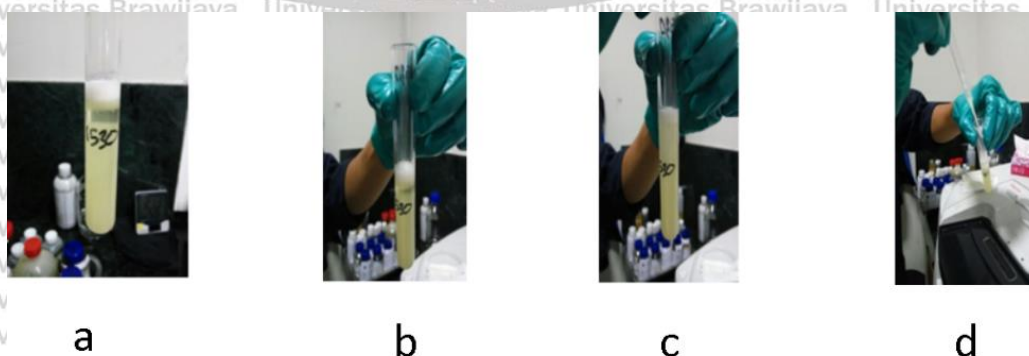
Untuk membuktikan asumsi dasar ini dilakukan beberapa pengujian secara mikro dan makro, melalui proses kimia dan fisika. Uji mikro secara kimia dengan uji FTIR, propertis dan GCMS. Uji makro melalui pengujian *single droplet* dengan variabel terukur, propertis dan karakteristik pembakaran.

5.1 Uji FTIR

Pengujian menggunakan FTIR dilakukan untuk mengetahui apakah campuran minyak kayu putih (1,8-sineol) tercampur sempurna (homogen) dengan minyak nabati.

5.1.1 Analisa FTIR

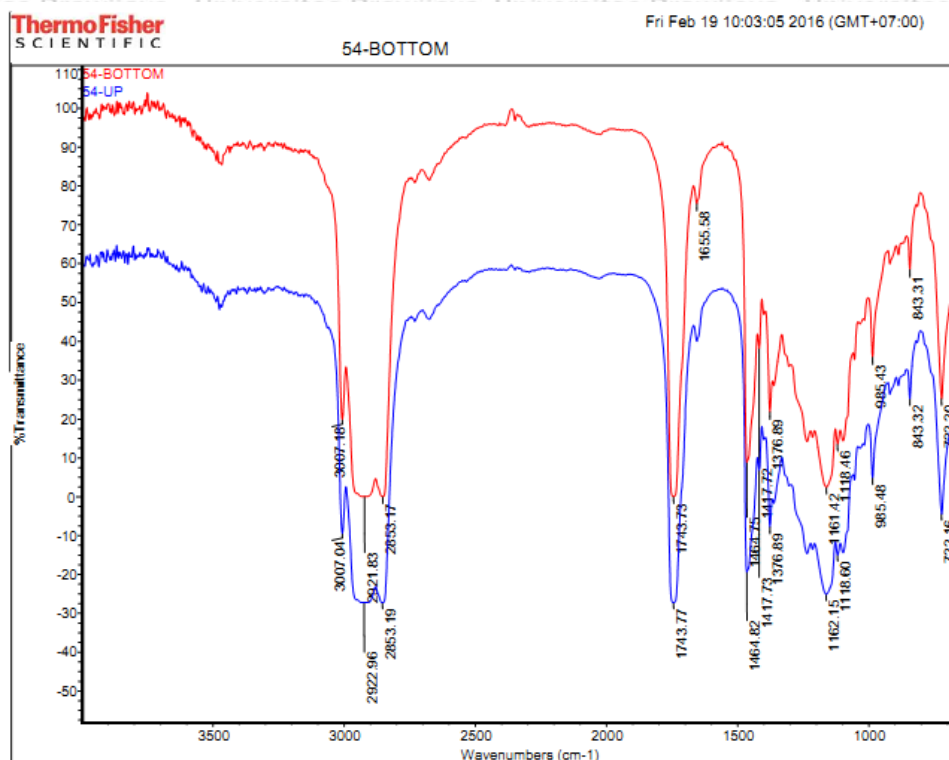
Untuk memastikan bahwa campuran minyak kayu putih (1,8-sineol) tercampur sempurna dengan minyak nabati, maka kami melakukan uji FTIR (gambar 5.1) terhadap sampel minyak jarak (CJO) dengan penambahan minyak kayu putih (1,8-sineol) 5%.



Gambar 5.1 Tahapan Uji FTIR

Hasil spektrum FTIR percampuran minyak nabati (minyak jarak) dengan minyak kayu putih (1,8-sineol) 5% dapat dilihat pada gambar 5.1. Gambar 5.1a terlihat tidak homogen secara visual, gambar 5.1b sample setelah didiamkan pada suhu kamar, gambar 5.1c diambil bagian *upper*, dan gambar 5.1d diambil bagian *bottom*. Masing-masing di analisa dengan metode FTIR (*Fourier Transform Infrared*).

Spectra IR prosentase kemiripan 99,70%, tidak ada perbedaan spektrum dari pengambilan sample *bottom* dan *upper*. Kedua sampel mempunyai pola spektrum yang sama, sehingga bisa disimpulkan bahwa penambahan minyak kayu putih (1,8-sineol) sebanyak 5% tersebar merata pada minyak nabati dan stabil. Sehingga percampuran antara minyak nabati dan minyak kayu putih (1,8-sineol) homogen. Berdasarkan komposisi, Minyak kayu putih (1,8-sineol) mempunyai unsur 1,8-sineol, merupakan komponen yang bersifat non polar sampai polar yang akan berikatan dengan minyak nabati yang bersifat polar. Suatu molekul monoatomik yang bersifat non polar akan menghasilkan muatan positif dan muatan negatif yang berimpit di pusat molekul. Molekul non polar digambarkan dengan lingkaran yang ditengahnya terdapat tanda $\pm$ yang menunjukan pusat muatan berimpit. Rapatan elektron dari molekul tersebut berupa bola yang simetri. Karena keadaan elektron yang selalu bergerak menyebabkan polarisasi rapatan elektron dan penyimpangan dari simetri bola. Sehingga pusat muatan positif dan muatan negatif memisah dan bentuknya menjadi ellips menunjukan bahwa pusat muatan positif dan negatif dipisahkan oleh jarak. Polarisasi menghasilkan molekul dengan dipol sesaat atau dipol sekejap, karena pemisahan pusat muatan positif dan negatif berlangsung dalam waktu yang sangat singkat dan segera berimpit kembali (Effendi, 2017). Jika didekat molekul yang memiliki dipol sesaat terdapat molekul non polar, molekul yang memiliki dipol sesaat akan menginduksi (dipol induksi) molekul non polar tersebut. Akibat adanya dipol sesaat dan dipol induksi-an tersebut maka akan terbentuk gaya elektrostatis atau yang disebut gaya london diantara kedua molekul tersebut.

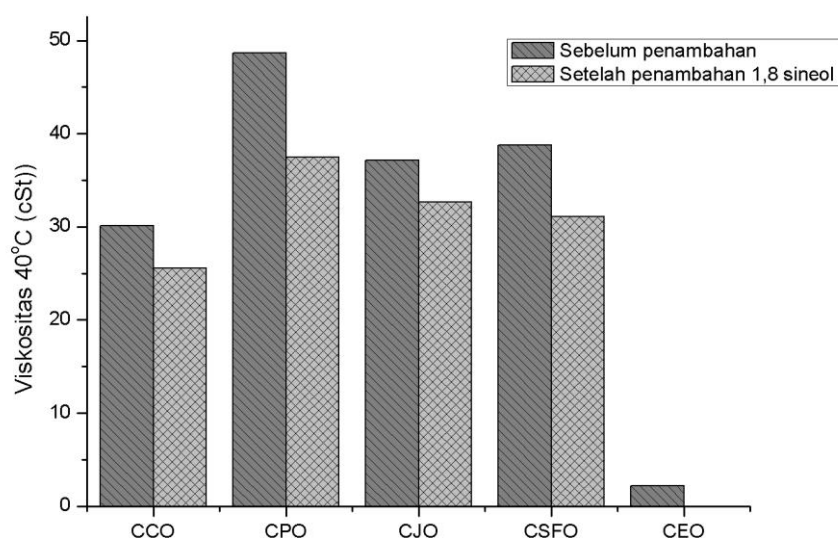


Gambar 5.2 Hasil Uji FTIR Campuran Minyak Nabati dengan 1,8-sineol

5.2 Sifat Fisik Minyak Nabati

5.2.1 Viskositas Kinematik

Pengukuran viskositas bahan bakar menggunakan *viscometer* merk Leybold Didactic dengan standar pengukuran ASTM D445.



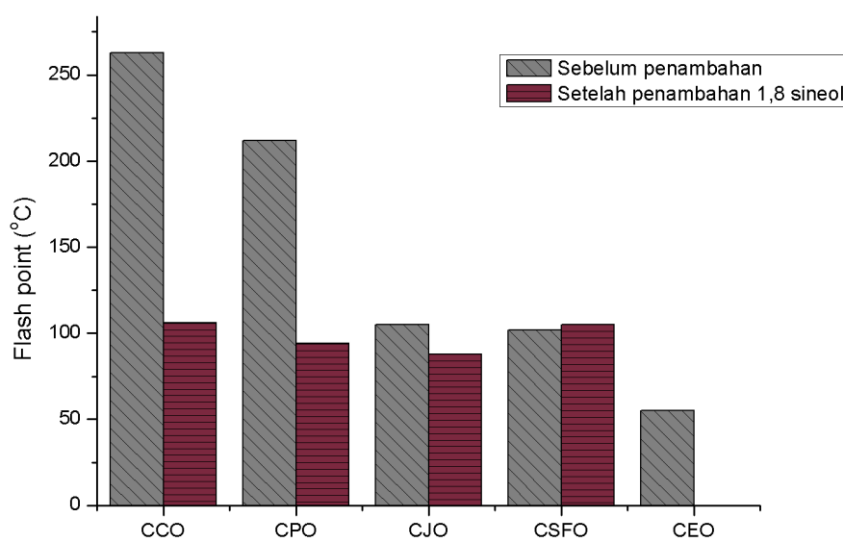
Gambar 5.3 Viskositas Minyak Nabati Sebelum dan Sesudah Penambahan 1,8-sineol

Dilihat dari grafik nilai viskositas kinematik dari minyak nabati tanpa penambahan 1,8-sineol, terlihat viskositas tertinggi yaitu CPO (*Crude Palm Oil*) karena CPO termasuk kedalam kelompok asam lemak jenuh *monounsaturated* karena mengandung asam Palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) sebesar 40-47%. CPO juga memiliki asam oleat ($C_{18}H_{34}O_2$) sebesar 36-44% (Misra & Murthy, 2011), dimana kehadiran satu ikatan rangkap karbon menjadi salah satu sebab viskositas tinggi (Rodrigues *et al.*, 2006).

Nilai viskositas kinematik dari campuran minyak nabati dan 1,8-sineol lebih rendah daripada minyak nabati murni. Penurunan viskositas saat dicampur 1,8-sineol disebabkan karena adanya fenomena delokalisasi elektron pada senyawa aromatis yang dimiliki oleh 1,8-sineol. Pergeseran elektron yang mengelilingi cincin aromatis menyebabkan adanya reaksi tarik menarik dan tolak menolak antara molekul 1,8-Sineol dan trigliserida pada minyak nabati setiap saat, sehingga terjadi pergerakan molekul yang aktif. Dengan adanya gaya london antara 1,8-sineol dan trigliserida, maka terjadi pergerakan molekul yang lebih aktif jika dibandingkan dengan minyak nabati murni. Pada minyak nabati murni yang bersifat non polar, terjadi pergerakan molekul akibat adanya dipol sesaat dan dipol terimbas. Pergerakan molekul tersebut sangat lambat. Saat ditambahkan 1,8-sineol, maka lama waktu terbentuknya dipol sesaat dan dipol terimbas menjadi lebih sering terjadi, sehingga pergerakan molekul campuran menjadi lebih aktif dibandingkan dengan pergerakan molekul minyak nabati murni. Keaktifan pergerakan molekul secara bersama-sama ini menyebabkan ikatan antar molekul menjadi lemah, viskositas menjadi turun dan campuran menjadi lebih cair.

5.2.2 *Flash Point*

Flash point adalah karakteristik fisik bahan bakar yang menunjukkan mudah terbakar atau tidak. Pengujian dilakukan menggunakan *Pensky Marten Close Cup* (PMCC) dengan standar ASTM D93.



Gambar 5.4 *Flash Point* Minyak Nabati Sebelum dan Sesudah Penambahan 1,8-sineol

Pengujian *flash point* dimulai dari adanya pemanasan hingga bahan bakar menguap dan dilakukan penyalaan. Saat uap bereaksi dengan penyalaan, maka suhu tersebut dinamakan suhu *flash point*. *Flash point* juga dapat didefinisikan sebagai mudah tidaknya suatu bahan bakar menguap digunakan juga sebagai ukuran aman tidaknya dalam proses distribusi dan penyimpanan bahan bakar.

Flash point minyak nabati tinggi disebabkan karena berat molekul, panjang rantai karbon, dan adanya ikatan rangkap karbon pada asam lemak (Keshavars, 2011; Carareto, 2012). Dengan semakin bertambahnya prosentase minyak kayu putih (1,8-sineol), maka *flash point* mengalami penurunan. Kehadiran senyawa aromatis pada molekul trigliserida menyebabkan ikatan antar molekul menjadi lemah, karena momen-momen ikatan yang ada saling meniadakan. Perbedaan kepolaran menyebabkan perbedaan titik lebur dan titik didih senyawa. (Effendi, 2017). Pada saat terjadi proses penguapan, molekul dengan mudah mencapai permukaan campuran bahan bakar dan berubah fase dari cairan menjadi uap dan kemudian terbakar. Semakin rendah suhu *flash point* maka semakin mudah bahan bakar menguap. Oleh karena itu dengan penambahan 1,8-sineol menyebabkan *flash point* minyak nabati menjadi turun, karena keaktifan molekul pada gaya london. Penambahan 1,8-sineol menyebabkan minyak nabati menjadi lebih mudah terbakar.

5.3 Uji GCMS (Gas Chromatography and Mass Spectrophotometric)

Pengujian dengan GCMS dimaksudkan untuk mengetahui kandungan asam lemak dari minyak nabati (CCO, CPO, CJO dan CSFO) dan kandungan terbesar penyusun minyak kayu putih (1,8-sineol).

5.3.1 Hasil Uji GCMS

Komposisi Kimia	Cn:db	Formula	Struktur	Kandungan %				Massa Molecular , g/mole
				CCO	CPO	CJO	CSFO	
Caproic	6:0	C ₆ H ₁₂ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH	0,6	-	-	-	116,1583
Caprylic	8:0	C ₈ H ₁₆ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH	8,45	-	1,7	-	144,2114
Capric	10:0	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH	6,1	-	1,66	-	172,2646
Lauric	12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	31,43	-	7,71	-	200,3178
Myristic	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	18,45	-	3,29	0,08	228,3709
Palmitic	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	8,4	40-47	14,62	0,6	256,4241
Palmitoleic	16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	-	0-0,6	1,47	0,1	254,4042
Stearic	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	1,65	3-6	7,36	3,08	284,4772
Oleic	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	5,7	36-44	30,38	17,31	282,4614
Linoleic	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH=CH(CH ₂)CH(CH ₂) ₇ COOH	1,4	6-12	35,42	73,31	280,4455
Linolenic	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	CH ₃ (CH ₂)CH=CH(CH ₂) ₃ (CH ₂) ₆ COOH	0,05	0-0,5	0,2	0,11	278,4296

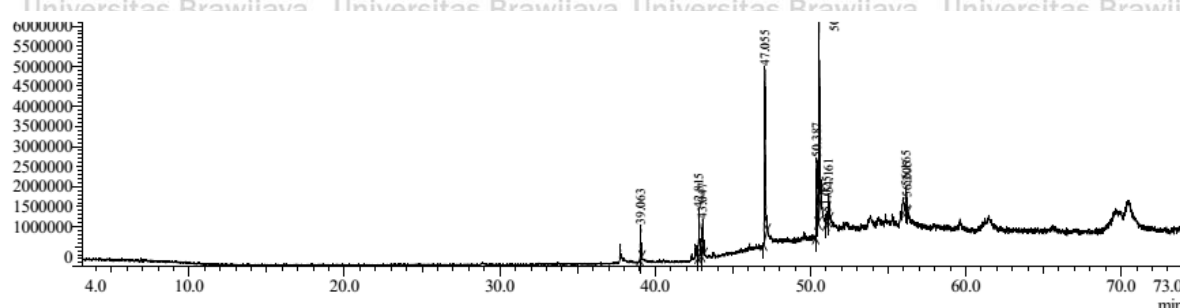
Tabel 5.1 Komposisi asam lemak minyak nabati

Properties	1,8-sineol
Viscositas at 40°C (cSt)	2,197 mm ² /s
Flash point (°C)	49 °C (120 °F) close up
Densitas pada 15°C (gr/ml)	154,253 g/mol
Titik didih (°F)	349 sd 351 °F pada 760 mm Hg

Tabel 5.2 Komposisi minyak kayu putih (1,8-sineol)

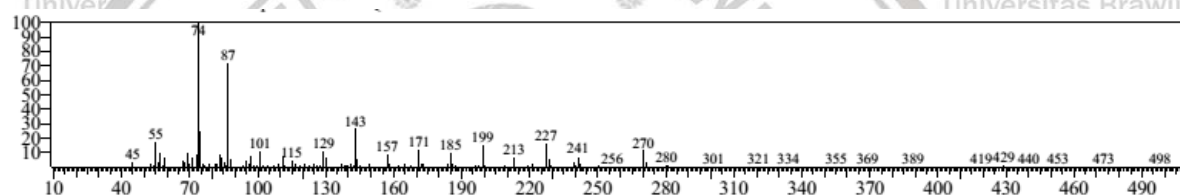
5.3.1.1 Hasil Uji CGMS *Crude Coconut Oil* (CCO)

Hasil karakteristik dengan menggunakan GC-MS pada *Crude Coconut Oil* (CCO) menghasilkan kromatogram dengan 10 puncak (peak) seperti pada gambar dibawah.

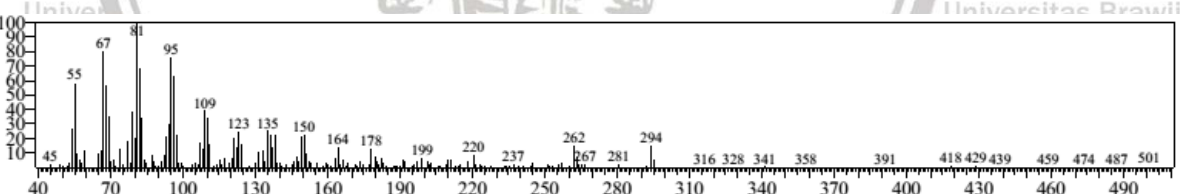


Gambar 5.5 Kromatogram dari *Crude Coconut oil*

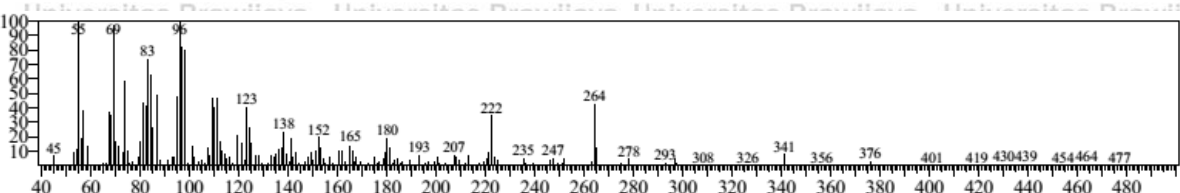
Berdasarkan gambar 5.5 terlihat bahwa sampel yang dianalisis mengandung 10 puncak (peak), disajikan pada tabel 5.1.



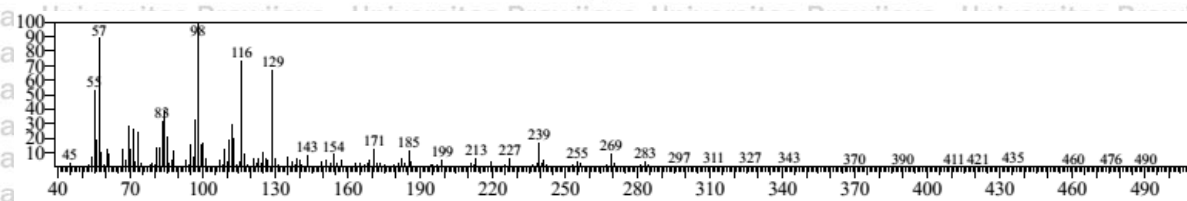
Line 1



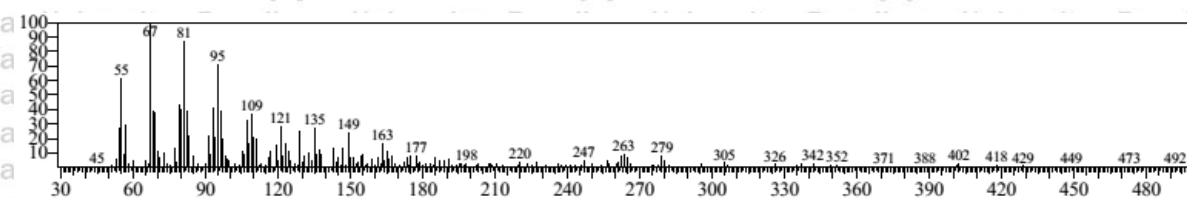
Line 2



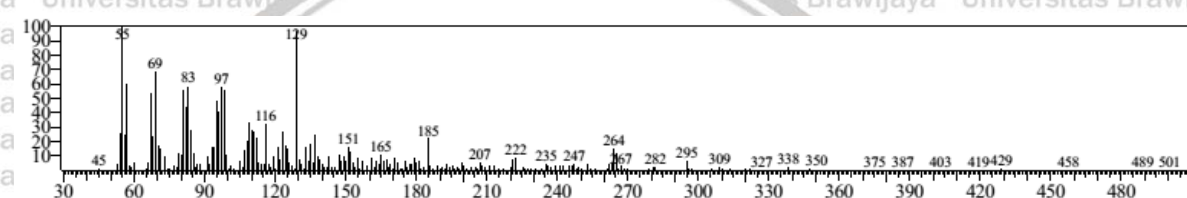
Line 3



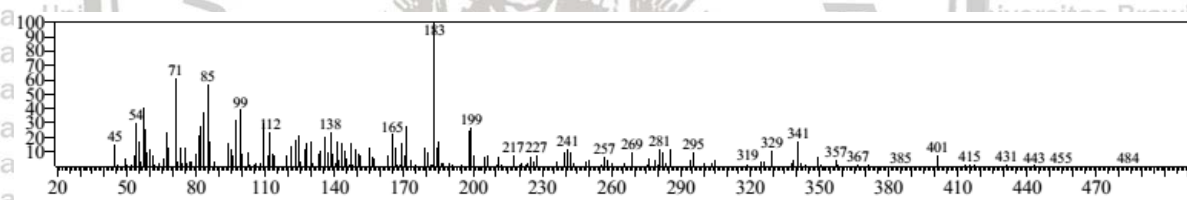
Line 4



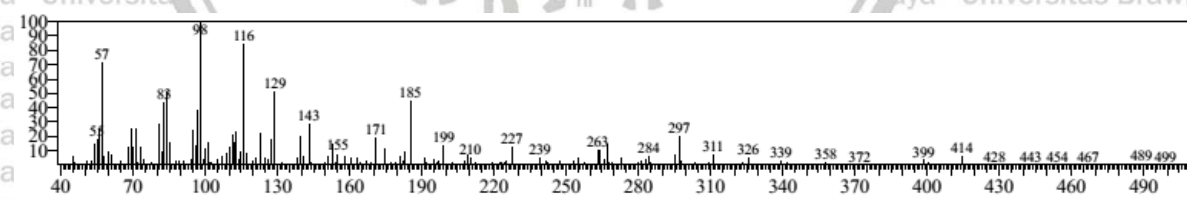
Line 5



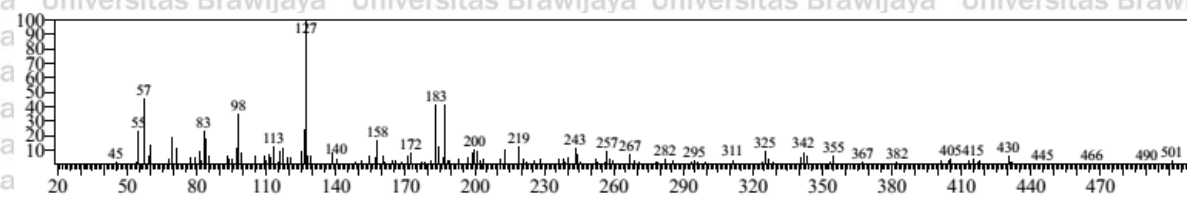
Line 6



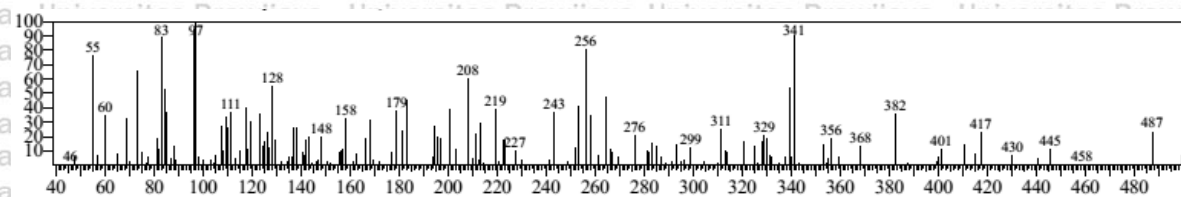
Line 7



Line 8



Line 9

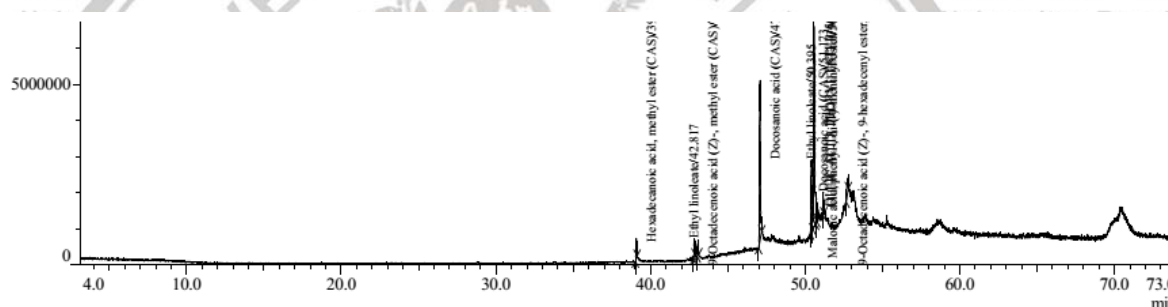


Line 10

Pada grafik muncul 3 peak (puncak), masing-masing puncak di analisa secara spektrofotometri massanya, untuk mengetahui senyawa yang dominan muncul pada masing-masing peak tersebut. Pada CCO memberikan produk asam lemak rantai hidrokarbon tidak jenuh yaitu *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$) 31,43%, *myristic* ($C_{14}H_{28}O_2$) 18,45% dan *caprylic* ($C_8H_{18}O_2$), 45%.

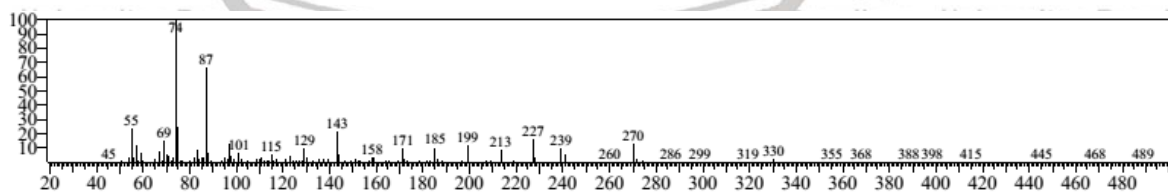
5.3.1.2 Hasil Uji GCMS Crude Palm Oil (CPO)

Hasil karakteristik dengan menggunakan GC-MS pada *Crude Palm Oil* (CPO) menghasilkan kromatogram dengan 10 puncak (peak) seperti pada gambar dibawah.

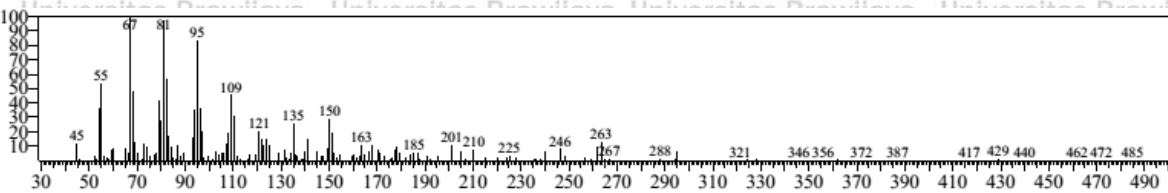


Gambar 5.6 Kromatogram dari *Crude Palm oil*

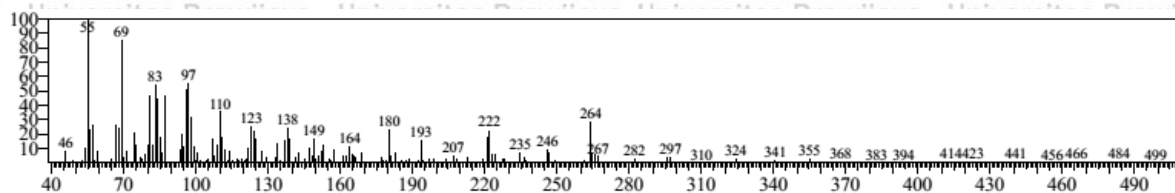
Berdasarkan gambar 5.6 terlihat bahwa sampel yang dianalisis mengandung 10 puncak (peak), disajikan pada tabel 5.1.



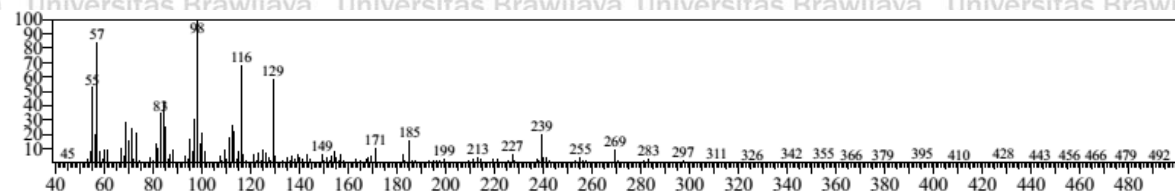
Line 1



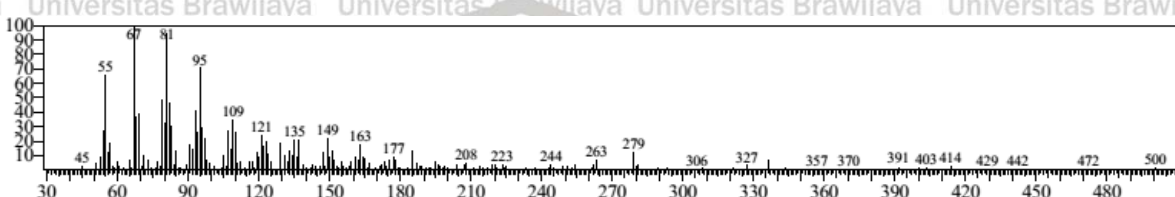
Line 2



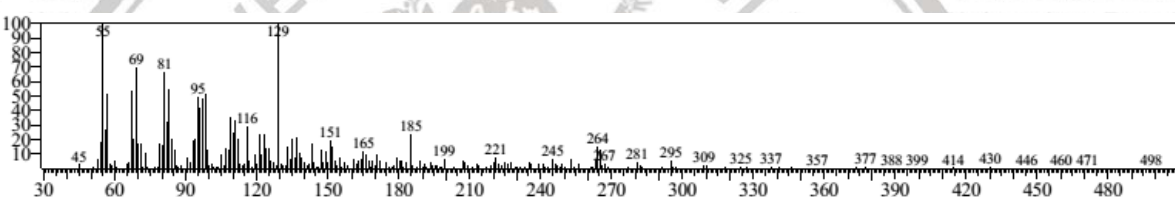
Line 3



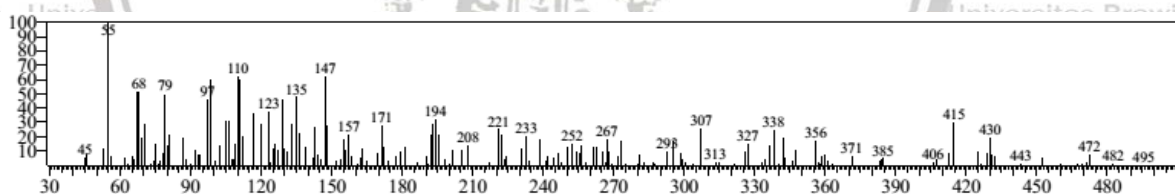
Line 4



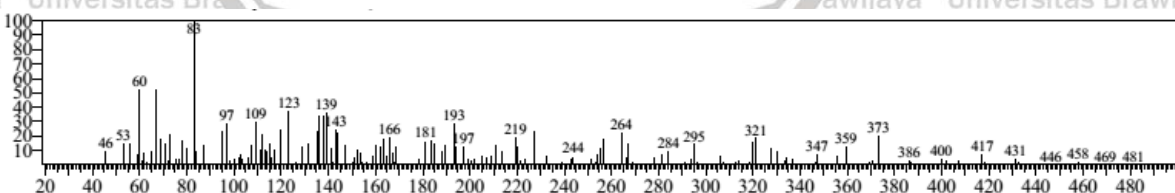
Line 5



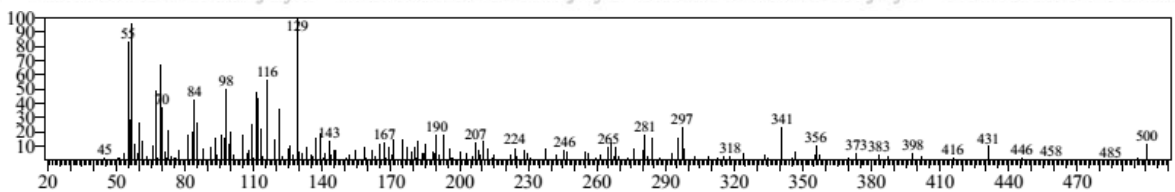
Line 6



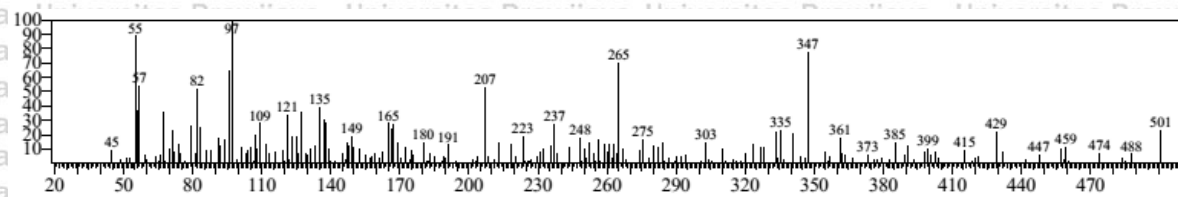
Line 7



Line 8



Line 9

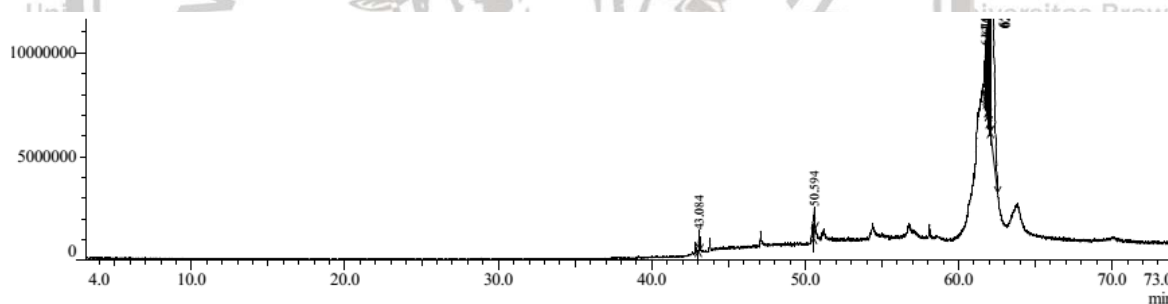


Line 10

Pada grafik muncul 3 peak (puncak), masing-masing puncak di analisa secara spektrofotometri massanya, untuk mengetahui senyawa yang dominan muncul pada masing-masing peak tersebut. Pada CPO memberikan produk asam lemak rantai hidrokarbon jenuh yaitu *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$) 40-47%, rantai hidrokarbon tak jenuh yaitu *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) 36-44% dan *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) 6%.

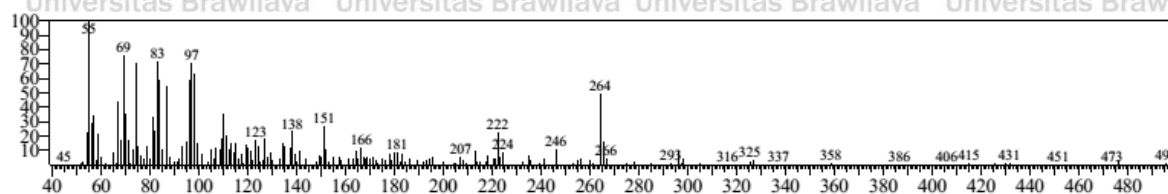
5.3.1.3 Hasil Uji GCMS *Crude Jatropha oil* (CJO)

Hasil karakteristik dengan menggunakan GC-MS pada *Crude Jatropha Oil* (CJO) menghasilkan kromatogram dengan 10 puncak (peak) seperti pada gambar dibawah.

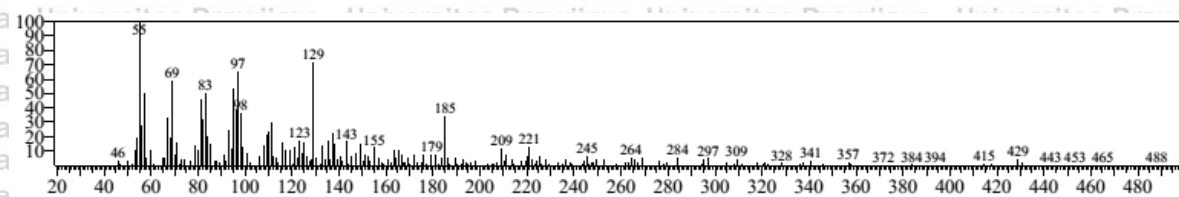


Gambar 5.7 Kromatogram dari *Crude Jatropha oil*

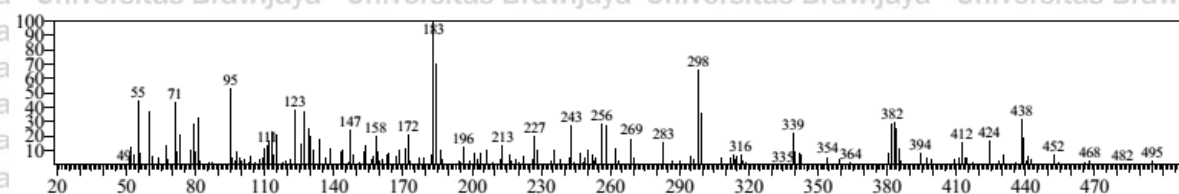
Berdasarkan gambar 5.7 terlihat bahwa sampel yang dianalisis mengandung 10 puncak (peak), disajikan pada tabel 5.1.



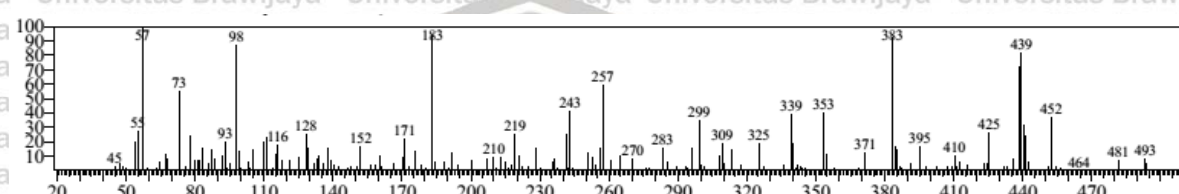
Line 1



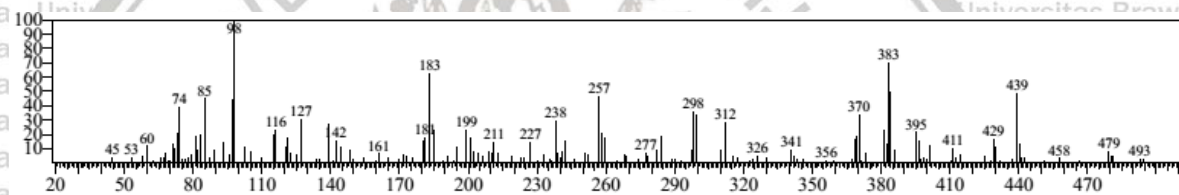
Line 2



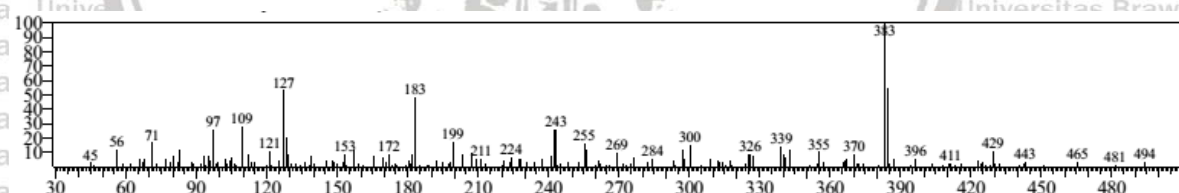
Line 3



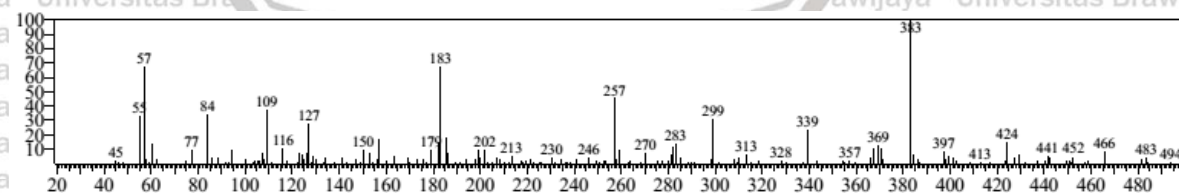
Line 4



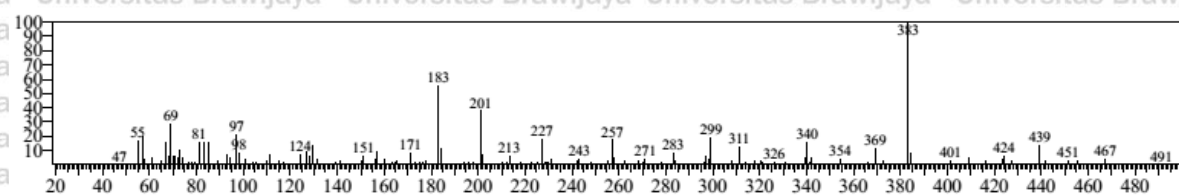
Line 5



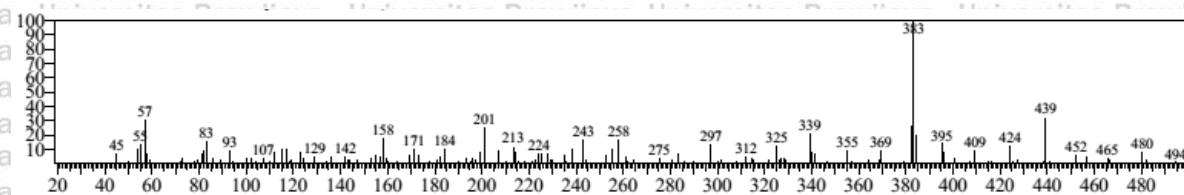
Line 6



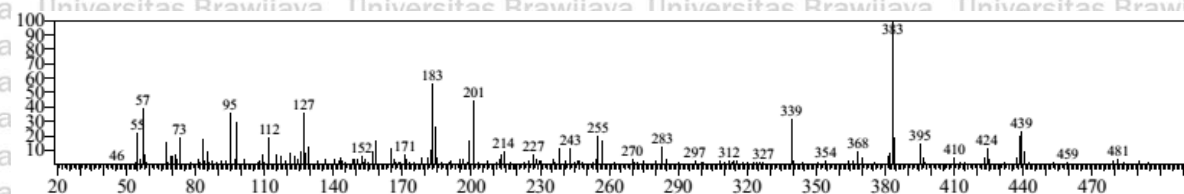
Line 7



Line 8



Line 9

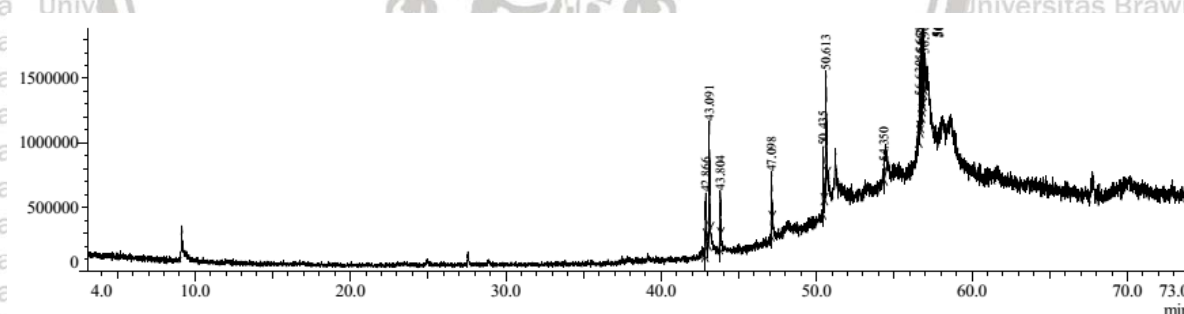


Line 10

Pada grafik muncul 3 peak (puncak), masing-masing puncak di analisa secara spektrofotometri massanya, untuk mengetahui senyawa yang dominan muncul pada masing-masing peak tersebut. Pada CJO memberikan produk asam lemak rantai hidrokarbon tidak jenuh yaitu oleic ($C_{18}H_{34}O_2$) 30,38% dan stearic ($C_{18}H_{36}O_2$) 7,36%. Rantai hidrokarbon jenuh yaitu palmitic ($C_{16}H_{32}O_2$) 14,62%.

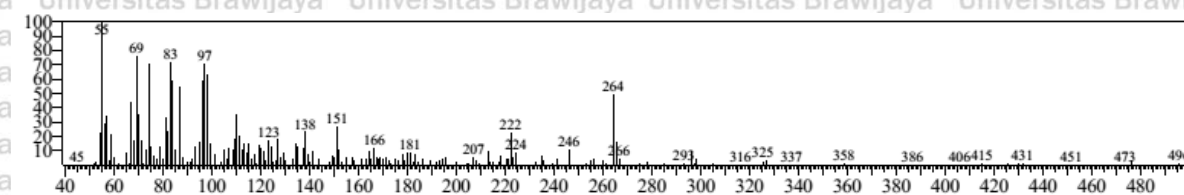
5.3.1.4 Hasil Uji GCMS Crude Sun Flower oil (CSFO)

Hasil karakteristik dengan menggunakan GC-MS pada *Crude Sun Flower Oils* (CSFO) menghasilkan kromatogram dengan 10 puncak (peak) seperti pada gambar dibawah.

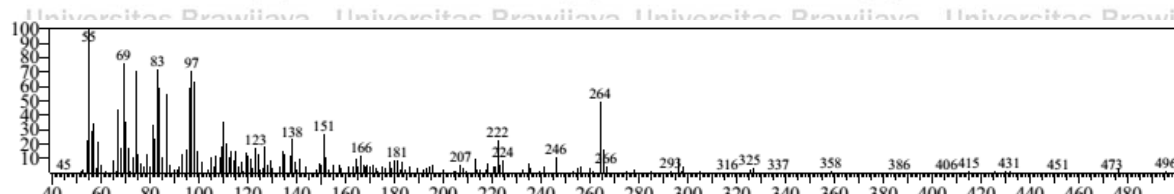
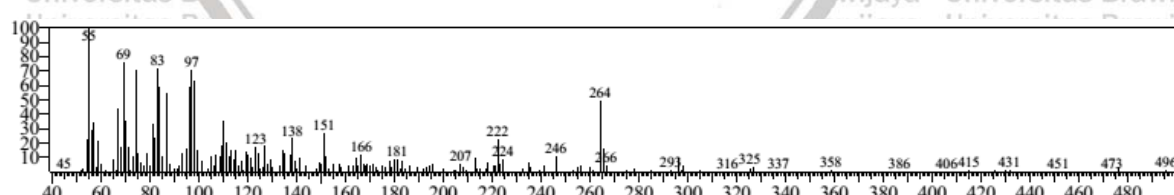
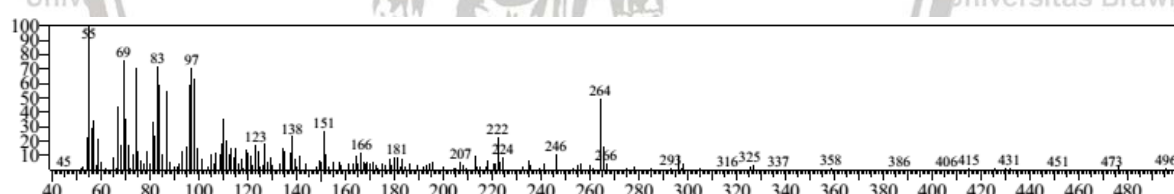
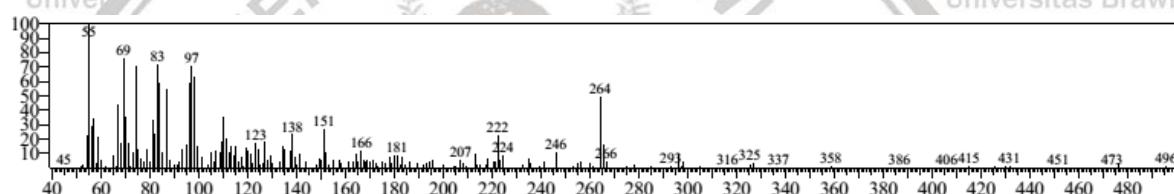
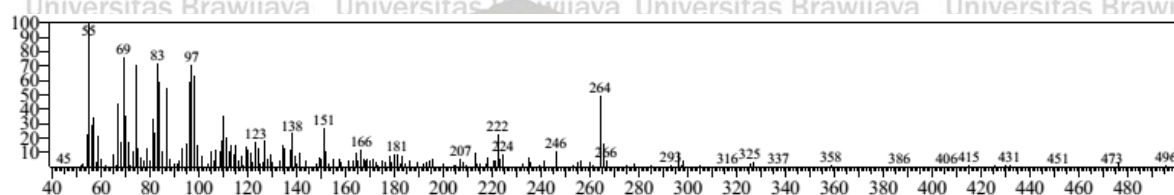
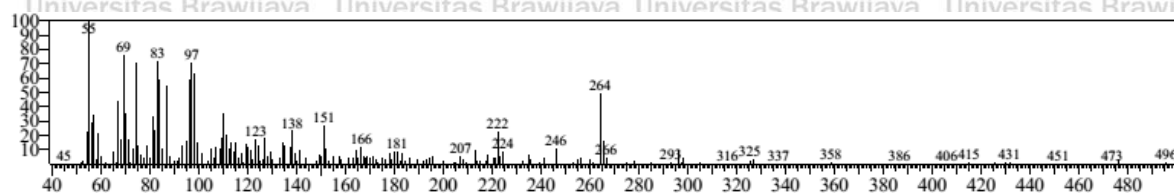
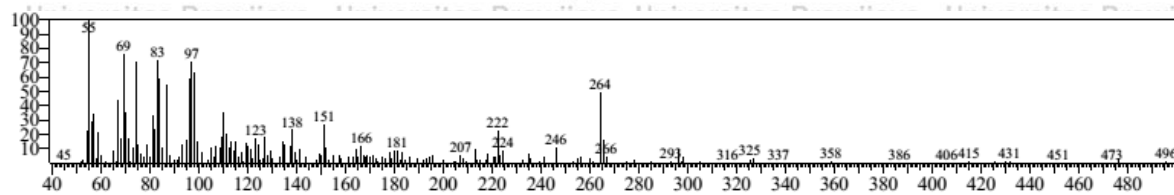


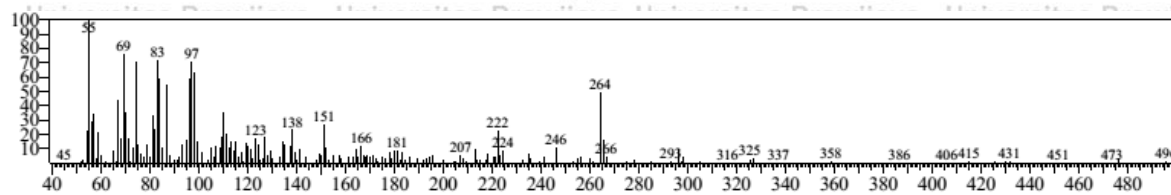
Gambar 5.8 Kromatogram dari *Crude Sun Flower Oils*

Berdasarkan gambar 5.8 terlihat bahwa sampel yang dianalisis mengandung 10 puncak (peak), disajikan pada tabel 5.1.

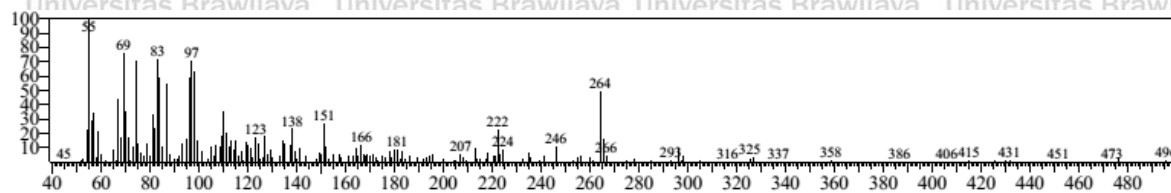


Line 1





Line 9



Line 10

Pada grafik muncul 3 peak (puncak), masing-masing puncak di analisa secara spektrofotometri massanya, untuk mengetahui senyawa yang dominan muncul pada masing-masing peak tersebut. Pada CSFO memberikan produk asam lemak rantai hidrokarbon tidak jenuh yaitu *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) 73.31% dan *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) 17.31%. Rantai hidrokarbon jenuh yaitu *stearic* ($C_{18}H_{36}O_2$) 3.08%.

5.4 Pengaruh Polaritas Asam Lemak terhadap Penyalaan dan Pendidihan

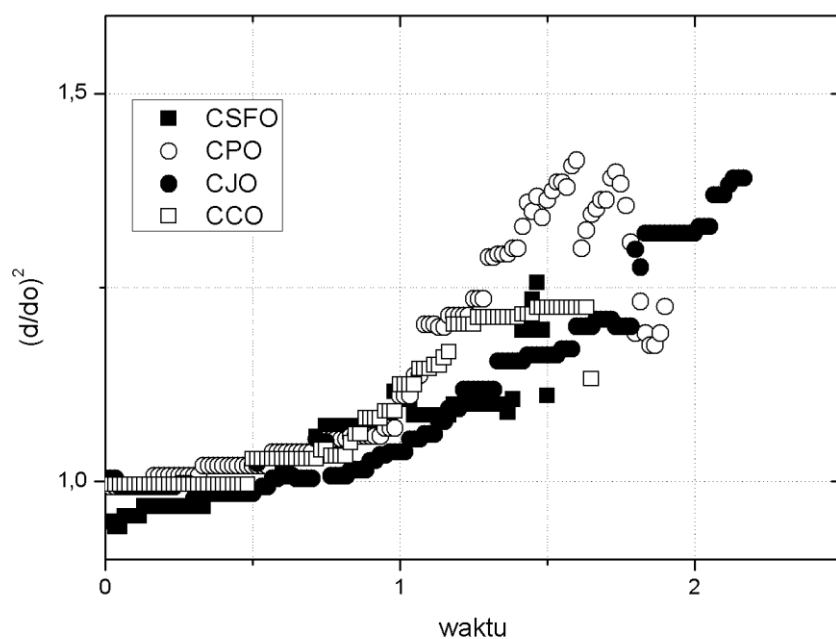
Polaritas asam lemak pada minyak nabati mempengaruhi penyalaan (*ignition*) dan pendidihan (*boiling*). Pada CCO dan CSFO digolongkan asam lemak polar sedangkan CJO dan CPO digolongkan asam lemak non-polar, karena kandungan asam lemak yang terdapat pada minyak nabati (lihat tabel 5.1). Kandungan terbanyak CCO adalah asam *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$), *myristic* ($C_{14}H_{28}O_2$) dan *caprylic* ($C_8H_{18}O_2$) (P. Nakpong and S. Wootthikanokkhan, 2010; M. Zarska *et al.*, 2014; M. Chinnamma *et al.*, 2015). Ketiga asam lemak tersebut memiliki rantai pendek, lurus, jenuh dan mempunyai massa molekul yang kecil, akibatnya CCO bersifat polar. Sedangkan pada CSFO kandungan terbanyak adalah asam lemak *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$). Asam lemak *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) merupakan rantai panjang, bengkok, tidak stabil dan *polyunsaturated* sehingga molekul CSFO bersifat polar (J. Parcerisa *et al.*, 1998). Kandungan terbesar pada CPO adalah *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$), *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) dan *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$). CJO mempunyai kandungan terbesar *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$), *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$) dan *stearic* ($C_{18}H_{36}O_2$) (Hendry *et al.*, 2018). CJO dan CPO memiliki kandungan utama *monounsaturated fatty acid* sehingga tergolong asam lemak non-polar. Asam lemak *monounsaturated* didominasi lipid non-polar, sedangkan asam lemak *unsaturated* dan *polyunsaturated* didominasi lipid polar (Parcelisa, 1998).

Gambar 5.9 dan 5.11 menunjukkan penyalaan (*ignition delay*) dari ke empat minyak nabati, yaitu CCO, CJO, CPO dan CSFO. CCO dan CSFO lebih mudah terbakar

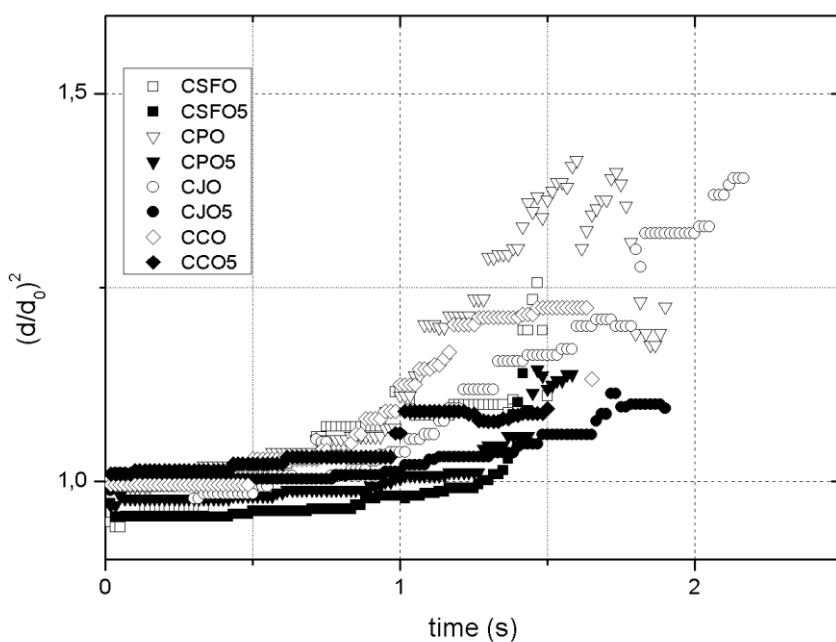
dibandingkan dengan CJO dan CPO, karena CCO dan CSFO didominasi asam lemak polar. *Polyunsaturated* pada *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) yang bersifat polar menyebabkan CSFO lebih reaktif, sehingga penyalan (*ignition delay*) CSFO lebih pendek lihat gambar 5.9 dan 5.11. Pada CCO dan CSFO (polar), mempunyai gaya inter-molekul besar sehingga densitas molekul besar (jarak inter-molekul kecil). Pada CJO dan CPO yang digolongkan asam lemak non-polar, mengakibatkan CJO dan CPO kurang reaktif sehingga lambat menyala (*ignition delay*) lebih lama dari CCO dan CSFO (lihat gambar 5.9). Pada CJO dan CPO non-polar, gaya inter-molekul yang timbul kecil, karena gaya yang terjadi terbentuk dari gaya london. Gaya inter-molekul yang kecil mengakibatkan densitas molekul kecil (jarak inter-molekul besar), karena getaran molekul yang cepat dan molekul menjadi gesit. Hal inilah yang menyebabkan dorongan antara satu molekul dengan molekul yang lain, sehingga jarak antar molekulnya menjadi lebih besar dan terjadi pemuaihan (gambar 5.9).

Gambar 5.9 menunjukkan evolusi diameter *droplet*, $(d/d_0)^2$ selama proses pemanasan empat minyak nabati yaitu CCO, CJO, CPO, dan CSFO. Plot terakhir dari setiap evolusi *droplet* minyak yang ditandai dengan panah menunjukkan *droplet* mulai terbakar. Diameter *droplet* semakin besar dengan meningkatnya waktu pemanasan yang menunjukkan bahwa volume *droplet* mengembang karena peningkatan energi kinetik molekuler. Minyak nabati yang didominasi oleh asam lemak polar, CCO dan CSFO kurang mengembang daripada yang didominasi oleh asam lemak non-polar, CJO dan CPO menunjukkan bahwa kekuatan polar dalam minyak nabati polar menjaga molekul saling rapat. Gambar 5.9 menggambarkan CCO terbakar sekitar 1,65 s dengan diameter *droplet* sekitar 1,13 mm, CSFO terbakar sekitar 1,5 s dengan diameter *droplet* 1,11 mm, CJO terbakar sekitar 2,16 s dengan diameter *droplet* 1,39 mm, dan CPO terbakar sekitar 1,9 s dengan diameter *droplet* 1,22 mm.

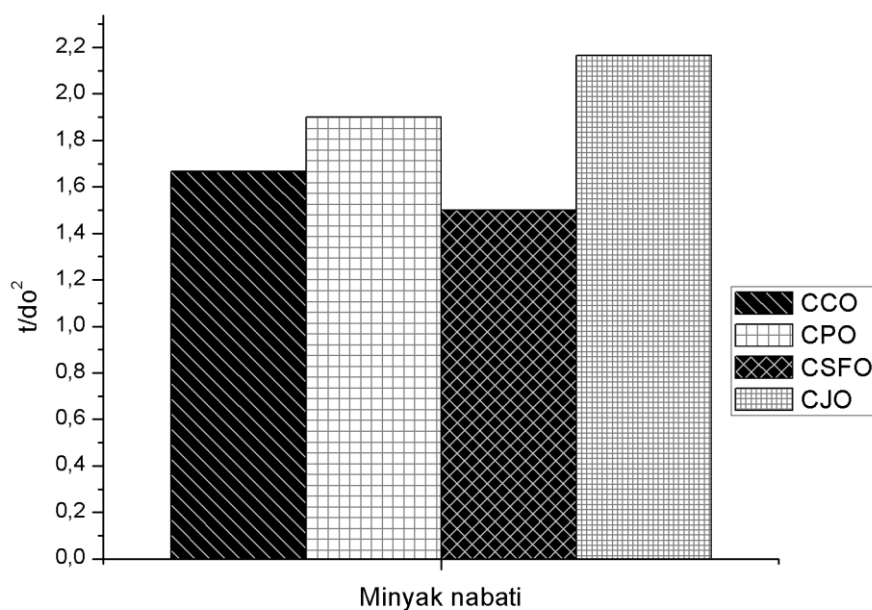
Ketika minyak nabati ditambahkan 1,8-sineol ditunjukkan dengan gambar 5.10 dan gambar 5.12 terlihat memiliki evolusi yang lebih singkat dan ukuran *droplet* yang lebih kecil dari minyak nabati yang tidak ditambah 1,8-sineol. CCO terbakar sekitar 1,5 s dengan diameter *droplet* sekitar 1,09 mm, CSFO terbakar sekitar 1,43 s dengan diameter *droplet* 1,09 mm, CJO terbakar 1,9 s dengan diameter *droplet* 1,09 mm, dan CPO terbakar 1,58 s dengan diameter *droplet* 1,138.



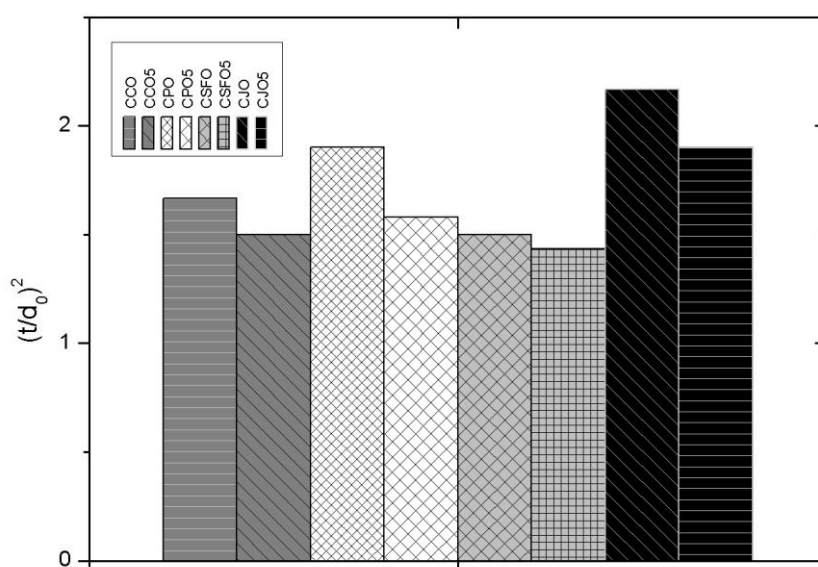
Gambar 5.9 Waktu Penyalaan *Droplet* Minyak Nabati



Gambar 5.10 Waktu Penyalaan *Droplet* Minyak Nabati + 1,8-sineol



Gambar 5.11 Waktu Penyalaan Droplet Minyak Nabati



Gambar 5.12 Waktu Penyalaan Droplet Minyak Nabati + 1,8-sineol

5.5 Visualisasi Droplet Asam Lemak

CCO dan CSFO yang didominasi asam lemak polar mempunyai gaya van der Waals (*dipole-dipole attraction*) yang kuat. Gaya Van der Waals yang kuat pada CCO dan CSFO mengakibatkan tegangan permukaan besar yang diindikasikan oleh gelembung pada *droplet* tumbuh berukuran kecil (lihat gambar 5.13a dan 5.14a). Terlihat pada gambar 5.14a bahwa ketika akan terbakar gelembung kecil pada CSFO berubah menjadi besar. *Polyunsaturated fatty acid* pada *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) membuat gelembung tumbuh membesar, molekul semakin reaktif, saling bertumbukan, dan terjadi penggabungan gelembung. Selain itu adanya gasifikasi *internal* menghasilkan pertumbuhan gelembung yang semakin membesar yang menjadi penyebab *micro-explosion* seperti penjelasan Dee. V *et al.*, (2004) dan Wardana (2010).

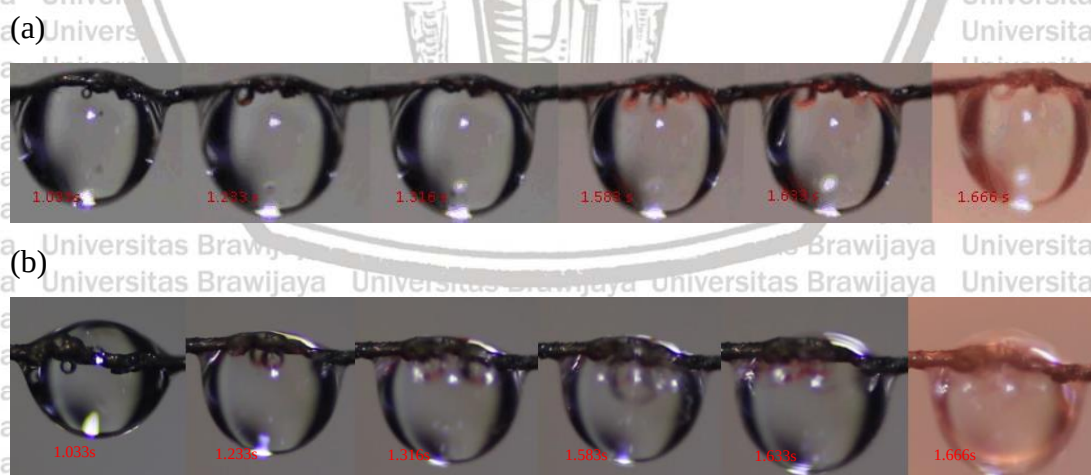
Gaya van der Waals pada CJO dan CPO lemah, sehingga CJO dan CPO mempunyai tegangan permukaan yang lebih kecil yang ditunjukkan oleh pertumbuhan gelembung pada *droplet* CJO dan CPO lebih besar dibanding CCO dan CSFO (lihat gambar 5.15a dan 5.16a).

Esteban *et al.*, (2012) dan Rizza *et al.*, (2018) menyatakan bahwa, tegangan permukaan dipengaruhi oleh panjang rantai karbon asam lemak dan jumlah ikatan rangkap. Rantai asam lemak yang panjang meningkatkan tegangan permukaan. Namun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan permukaan tidak saja dipengaruhi oleh panjang rantai asam lemak dan jumlah ikatan rangkap, tetapi dipengaruhi juga oleh polaritas asam lemak, massa molekul dan struktur geometri rantai karbon, seperti hasil penelitian Hendry *et al.*, (2018).

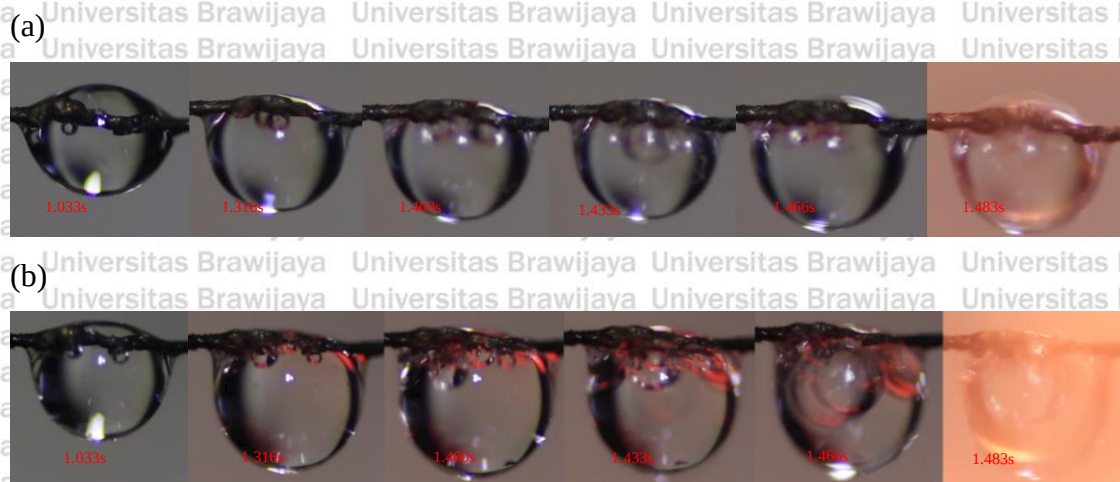
Ketika CCO dan CSFO yang didominasi asam lemak polar ditambahkan 1,8-sineol maka terlihat pada gambar 5.13b dan 5.14b gelembung tumbuh diawal lebih besar dibanding gelembung yang tanpa 1,8-sineol. Pada CSFO terlihat ketika tanpa penambahan 1,8-sineol gelembung tumbuh lebih banyak dengan ukuran kecil, setelah penambahan 1,8-sineol gelembung tumbuh berukuran besar dan jarang. Hal ini mengindikasikan bahwa sebelum penambahan 1,8-sineol terjadi laju penguapan *droplet* yang cepat, setelah penambahan 1,8-sineol laju penguapan semakin lambat dikarenakan adanya evaporasi *internal*, ini sesuai dengan pernyataan Wardana (2010). Hal ini dikarenakan dari perbedaan karakteristik dari penyusun rantai karbon trigliserida yang berbeda dari CCO, CSFO, CPO dan CJO.

Pada CJO terlihat terjadi gasifikasi *internal*, dengan ditandai gelembung yang tumbuh semakin membesar Dee & Shaw (2004); Wardana (2010); Hendry *et al.*, (2018), setelah penambahan 1,8-sineol maka rantai karbon trigliserida struktur geometrinya berubah serta panas yang dibutuhkan untuk penguapan dan penyalaan semakin tinggi, tetapi gelembung sulit untuk memuai.

Polaritas asam lemak cenderung memperkuat gaya antar molekul yang memperlambat penguapan, hal ini menyebabkan volume gelembung bertambah besar pada CCO dan CSFO pada gambar 5.13 dan 5.14. Akan tetapi, hal ini mempercepat laju reaksi karena muatan polar asam lemak menyediakan tambahan aktivasi energi seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.11 dan 5.12. Selain itu, asam lemak polar yang panjang dan bengkok lebih reaktif daripada yang asam lemak polar yang pendek dan lurus, hal ini disebabkan karena elektronnya lebih aktif sehingga elektron menjadi lebih *mobile* (lihat gambar 5.11). Mobilitas elektron tertinggi dalam asam lemak yang bengkok dan panjang membuat ikatan molekul kurang kuat sehingga laju penguapan meningkat yang ditunjukkan pada tabel 5.2. Namun, di sisi lain reaktivitas menurun (lihat gambar 5.11) karena polaritas diredam oleh mobilitas elektron. Dengan meningkatnya laju penguapan membuat pembakaran terjadi pada temperatur yang lebih rendah, hal ini disebabkan karena besarnya jumlah energi panas dikonversi menjadi panas laten yang digunakan untuk perubahan fase selama tahap penguapan. Keberadaan ikatan rangkap lebih dari satu (*polyunsaturated*) yang cenderung menghalangi sebagian mobilitas elektron dari kepala karboksil mempengaruhi polaritas menjadi lebih kuat, sedangkan di bagian ekor mobilitas elektron masih tinggi. Hal ini membuat CSFO menjadi sangat reaktif dan mudah menguap (lihat gambar 5.9 sampai 5.12, gambar 5.13 dan 5.14 serta tabel 5.2). Fenomena ini mengindikasikan bahwa CSFO memiliki potensi yang besar untuk digunakan sebagai energi alternatif terbarukan.



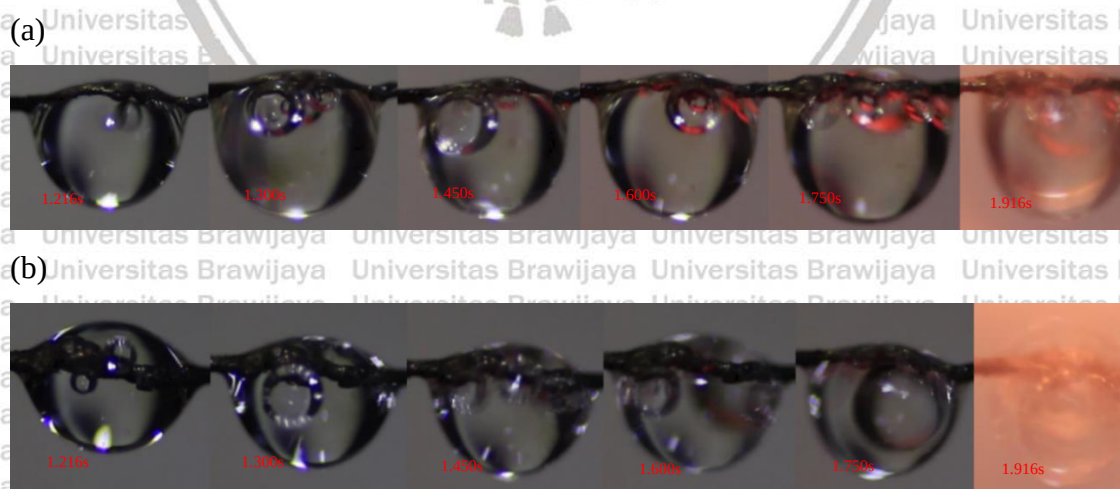
Gambar 5.13 Visualisasi *Droplet* CCO Mulai dari Pemanasan Sampai Penyalaan (a) Tanpa 1,8-sineol, (b) Dengan 1,8-sineol.



Gambar 5.14 Visualisasi *Droplet* CSFO Mulai dari Pemanasan Sampai Penyalaan (a) Tanpa 1,8-sineol, (b) Dengan 1,8-sineol.



Gambar 5.15 Visualisasi *Droplet* CJO Mulai dari Pemanasan Sampai Penyalaan (a) Tanpa 1,8 sineol, (b) Dengan 1,8-sineol.



Gambar 5.16 Visualisasi *Droplet* CPO Mulai dari Pemanasan Sampai Penyalaan (a) Tanpa 1,8-sineol, (b) Dengan 1,8-sineol.

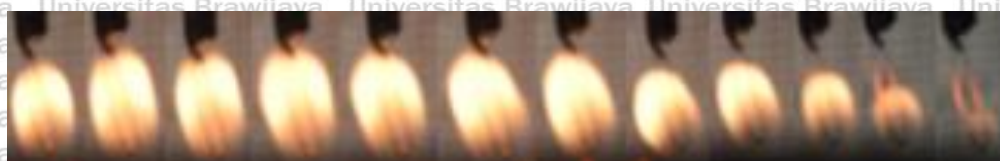
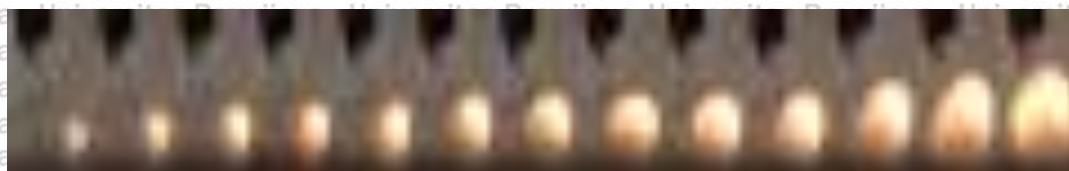
5.6 Pembakaran Bahan Bakar *Droplet*

Terlihat pada gambar 5.17 sampai 5.20 evolusi api *droplet* dari empat minyak nabati, yaitu CCO, CSFO, CJO dan CPO serta evolusi *droplet* dari penambahan 1,8-sineol pada CCO, CSFO, CJO dan CPO. Pada CCO terlihat api bulat sebelum dan sesudah penambahan 1,8-sineol ini karena CCO dominan tersusun dari asam lemak *unsaturated*. Pada gambar 5.20 CSFO paling volatil karena CSFO tersusun dari asam lemak *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$), asam lemak tidak jenuh ganda (*polyunsaturated*).

Gambar 5.17 sampai 5.20 menunjukkan evolusi api *droplet* minyak nabati tanpa dan dengan tambahan 1,8-sineol. Tanpa penambahan 1,8-sineol terlihat ketika terjadi micro-explosion bentuk api terlihat menjulang keatas, ini menandakan bahwa minyak nabati sulit terbakar. Pada gambar 5.19 terlihat pada CJO bentuk api lebih menjulang dibanding minyak nabati yang lain, sehingga CJO paling sulit untuk terbakar dibanding minyak yang lain. Bentuk api yang lebih panjang menunjukkan bahwa power yang dihasilkan lebih besar sehingga daya dorong dari hasil pembakaran lebih besar. Power lebih besar terbukti dari *burning rate* yang lebih singkat. Dengan penambahan 1,8-sineol terlihat bentuk api lebih bulat dan jumlah jelaga berkurang. Ini menunjukkan bahwa dengan penambahan 1,8-cineol hasil pembakaran lebih ramah.

Terlihat pada gambar 5.15 sampai 5.18 bahwa penambahan 1,8-sineol membuat waktu penyalan menjadi lebih pendek, hal ini menunjukkan bahwa laju penguapan dengan penambahan 1,8-sineol lebih cepat dibandingkan tanpa penambahan 1,8-cineol. Dengan penambahan 1,8-sineol mengakibatkan pembengkokan struktur geometri molekul rantai karbon trigliserida, sehingga gaya van der waals melemah. 1,8-sineol struktur ruang senyawa penyusunnya berbentuk siklik dan rantai terbuka sehingga dapat menurunkan kekuatan ikatan antar molekul trigliserida sehingga proses pembakaran akan lebih efektif.

Struktur geometri molekul pada CPO dan CSFO lebih mengkerut/pendek dibanding dengan struktur geometri molekul pada CCO dan CJO. Ini karena CSFO *polyunsaturated* dan rantai karbon trigliserida pada CSFO berbentuk cis rantai panjang. Ketika CSFO ditambahkan 1,8-sineol terlihat struktur geometri molekulnya bertambah bengkok dan pendek sehingga menjadi lebih tidak stabil. Sehingga bisa diambil kesimpulan penambahan 1,8-sineol besar pengaruhnya pada CSFO.



CCO



CCO + 1,8-sineol

Gambar 5.17 Evolusi Api Droplet CCO dan CCO+1,8-sineol



CPO



CPO + 1,8-sineol

Gambar 5.18 Evolusi Api Droplet CPO dan CPO + 1,8-sineol



CJO



CJO + 1,8-sineol

Gambar 5.19 Evolusi Api Droplet CJO dan CJO + 1,8-sineol



CSFO

CSFO + 1,8-sineol

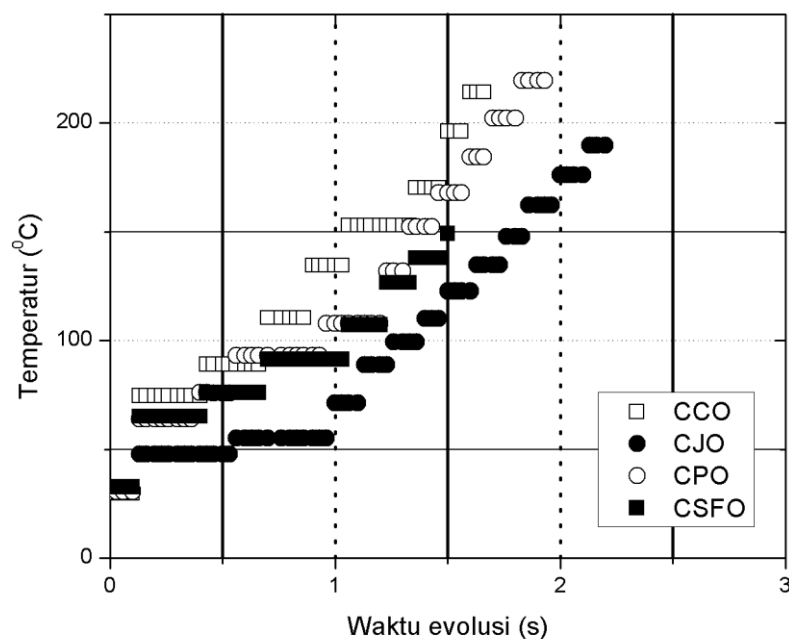
Gambar 5.20 Evolusi Api Droplet CSFO dan CSFO + 1,8-sineol

5.7 Pengaruh Geometri Asam Lemak terhadap Penyalaan dan Pendidihan

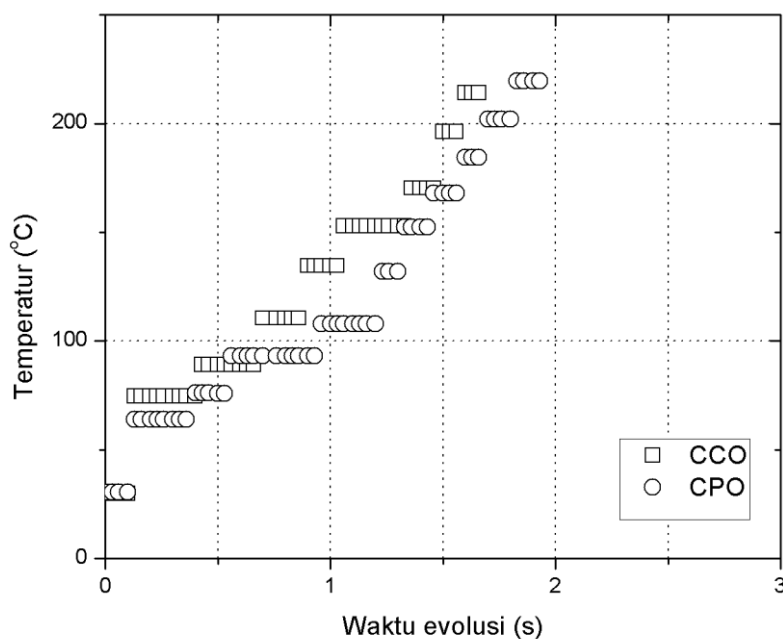
Pembakaran minyak nabati berlangsung dalam empat proses, yaitu pemanasan, penguapan, pengapian, dan pembakaran (Misra & Murty, 2010). Gambar 5.21a menunjukkan suhu pemanasan *droplet* minyak nabati. Suhu tertinggi adalah suhu penyalaan (*ignition*). Proses pemanasan diawali dengan transfer panas dari *heater* ke permukaan *droplet* yang menurunkan tegangan permukaan *droplet* lebih rendah daripada di dalam *droplet*. Akibatnya komponen bahan bakar bergerak ke permukaan *droplet* dan mengambil panas untuk pemanasan awal pada bahan bakar di dalam *droplet* (Misra & Murthy, 2010). Fase penguapan terjadi saat kondisi pemanasan tercukupi dimana terjadi proses gasifikasi pada masing-masing komponen bahan bakar. Lama waktu proses pemanasan hingga penguapan tergantung pada konsentrasi dan perbedaan titik didih diantara komponen penyusun (Fassinou WF *et al.*, 2010).

Pada CCO dan CPO yang prosentasi terbesarnya adalah asam lemak lurus memerlukan temperatur yang tinggi (gambar 5.21b), karena memerlukan energi yang besar untuk membengkokkan atau relaksasi molekul asam lemak lurus. Pada asam lemak lurus kebebasan gerak atom (energi kinetik) yang dimiliki kecil (lihat tabel 5.2), sehingga memerlukan energi yang besar untuk interaksi antar molekul dan untuk fase relaksasi sebelum penyalaan (*ignition delay*). Molekul yang lurus akan merenggang dahulu untuk memperbesar jarak antar molekul (lihat gambar 5.21b). Energi kinetik kecil yang dimiliki asam lemak lurus membuat pendidihan (*boiling*) lambat pada CCO dan CPO (tabel 5.2).

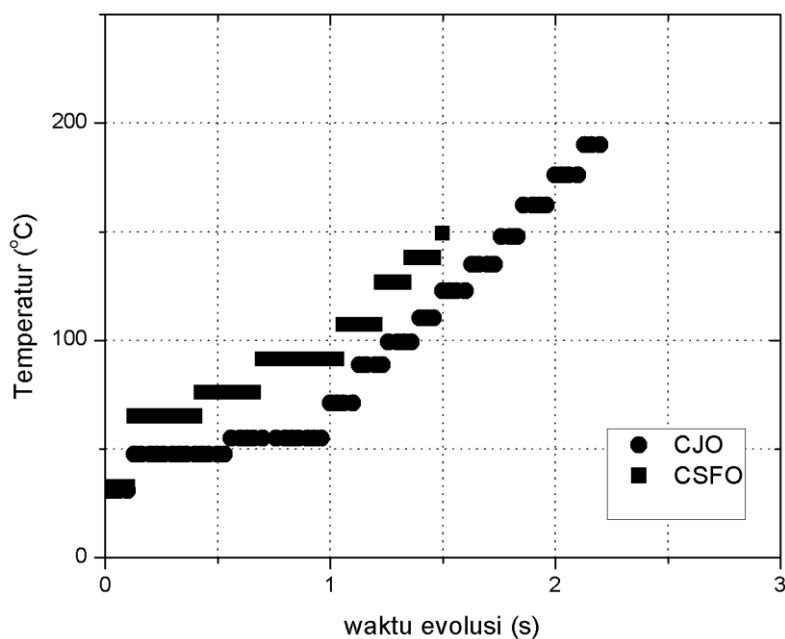
Pada CJO dan CSFO yang mempunyai prosentasi terbesar adalah asam lemak bengkok memerlukan temperatur yang lebih rendah daripada CCO dan CPO (gambar 5.21c.). Pada asam yang bengkok energi kinetik yang dimiliki besar, sehingga hanya memerlukan energi yang kecil untuk interaksi antar molekulnya, karena tidak melewati fase relaksasi karena bentuk geometrinya sudah bengkok (lihat gambar 5.22b). Energi kinetik besar yang dimiliki asam lemak bengkok mengakibatkan pendidihan (*boiling*) cepat pada CJO dan CSFO (tabel 5.2). Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa bentuk geometri molekul asam lemak mempengaruhi temperatur penyalaan (*ignition delay*).



(a). Evolusi Temperatur *Droplet* Minyak Nabati

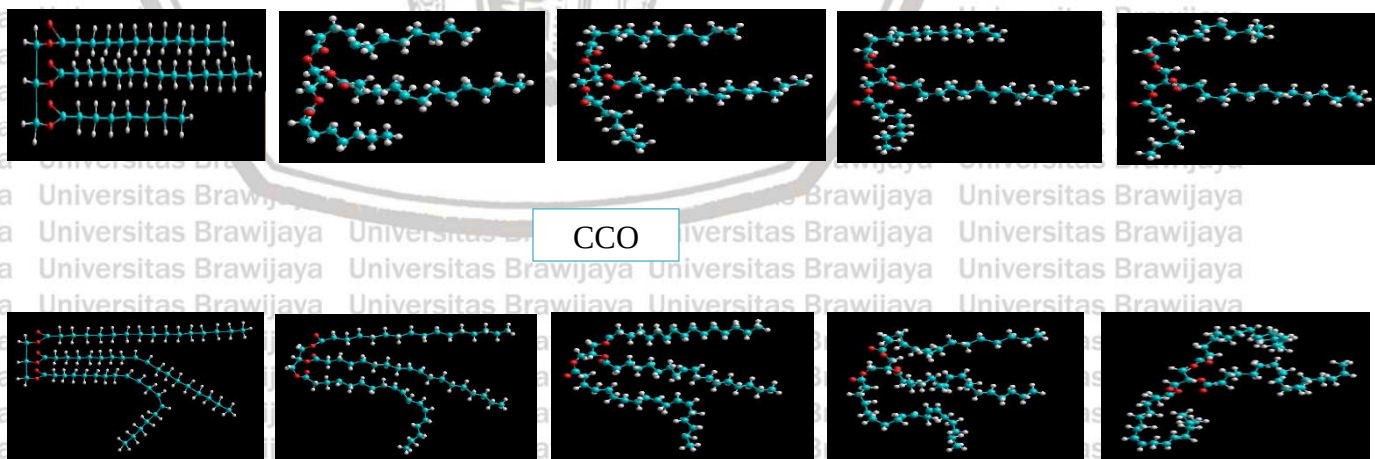


(b). CCO dan CPO (Asam Lemak Lurus)



(c). CJO and CSFO (Asam Lemak Bengkok)

Gambar 5.21 (a). Temperatur *Droplet* Minyak Nabati (b). Asam Lemak Lurus (c) Asam Lemak Bengkok

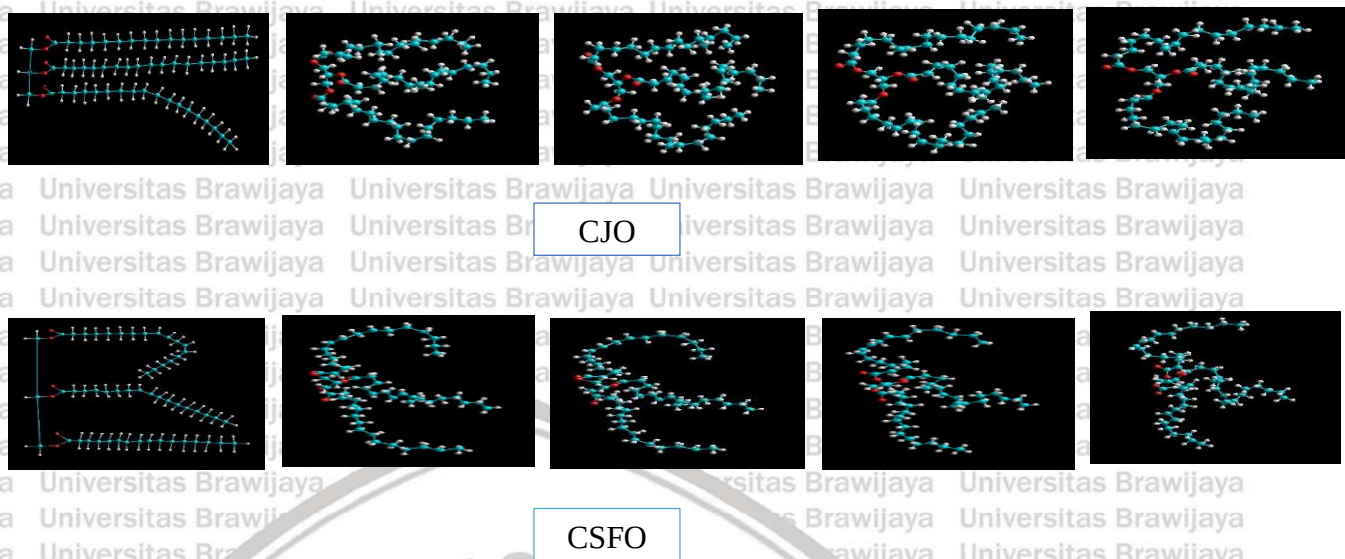


CCO

CPO

Melewati Fase Relaksasi

(a). Asam Lemak Lurus



Tidak Melewati Fase Relaksasi

(b). Asam Lemak Bengkok

Gambar 5.22 Fase Geometri Triglicerida (a). Asam Lemak Lurus (b) Asam Lemak Bengkok

5.8 Geometri Asam Lemak pada Saat penyalaan (Ignition)

Bentuk geometri molekul asam lemak dan besarnya energi kinetik yang terkandung dalam minyak nabati saat dipanaskan dapat dilihat dengan program *HyperCham* pada gambar 5.23 dan 5.24 dan tabel 5.3 dan tabel 5.4. CJO dan CSFO memiliki energi kinetik yang lebih besar dari CCO dan CPO. Pada CCO energi kinetik terbesar ada pada asam lemak *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$) rantai lurus, CJO pada asam lemak *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) rantai bengkok, CPO pada *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$) rantai lurus dan CSFO pada asam lemak *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) rantai bengkok. Keempat asam lemak tersebut merupakan prosentase asam lemak terbesar pada CCO, CJO, CPO dan CSFO. Dari keempat asam lemak yang paling tinggi energi kinetiknya adalah asam lemak *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) pada CJO (lihat tabel 5.4). Akibatnya pendidihan (*boiling*) pada CJO tercepat (lihat tabel 5.3) Semakin besar energi kinetik semakin mudah untuk memutuskan ikatan molekul. Molekul-molekul yang saling bertumbukan akan saling bertukar energi. Semakin besar energi kinetik molekul, semakin besar gerakan molekulnya. Sehingga molekul mudah berevaporasi dengan ditandai dengan pendidihan (*boiling*) yang cepat. Asam lemak *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) pada CJO tersusun dari atom yang lebih banyak dibandingkan asam lemak yang lain. Semakin banyak jumlah atom dalam molekul, semakin

banyak ruang kosong untuk dipol sesaat dan dipol terimbas terbentuk, sehingga timbul gaya london. Gaya london menyebabkan proses evaporasi pada molekul-molekul memiliki energi yang besar untuk memperbesar jarak antar molekul. Sehingga semakin mudah untuk memutuskan ikatan ini dibuktikan dengan besarnya energi kinetik yang dimiliki asam lemak *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$). Berbeda dengan Asam lemak *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$) lurus pada CCO dan asam lemak *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$) lurus pada CPO memiliki energi kinetik yang lebih kecil dari CJO dan CSFO (lihat tabel 5.3). Sehingga dibanding CJO dan CSFO boiling pada CCO dan CPO tumbuh lebih lambat.

Gambar 5.23 dan 5.24 memperlihatkan pergerakan molekul ketika dimulainya proses pemanasan, penguapan dan mulai terbakar. Molekul asam lemak bergerak berubah posisi walaupun gerakannya tidak signifikan, karena masih dalam tahap penyalaan (*ignition*). Seluruh panas yang di transfer ke *droplet* dipakai untuk penguapan *droplet*. Sehingga pergerakan molekul tidak terlalu signifikan di banding pada fase pembakaran. Untuk membuat deformasi terlihat jelas, lokasi deformasi diperbesar dalam gambar pertama dan terakhir. Dari gambar yang diperbesar, dapat dilihat bahwa asam lemak lurus cenderung memuntir untuk membentuk pola rantai karbon *zigzag*. Namun, asam *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$) lurus dalam CCO polar cenderung memuntir lebih kuat pada ekor yang berlawanan dengan kepala karboksil, sedangkan asam *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$) dalam CPO nonpolar memuntir lebih kuat pada kepala karboksilnya. Puntiran hampir tidak mengubah energi kinetik karena atom masih kencang dengan molekul sehingga energi kinetik lebih rendah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.4. Untuk asam lemak bengkok pada Gambar 5.24, deformasi lebih terlihat. Molekulnya juga cenderung memuntir menjadi lebih pendek dengan pola memuntir tetapi tidak *zigzag*. Asam *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) dalam CJO nonpolar menjadi memuntir di sepanjang rantai molekul, sedangkan asam *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) dalam CSFO polar cenderung menjadi lebih memuntir di sekitar sisi ekor dan memuntir lebih kuat di kepala karboksil. Oleh karena itu, tingkat kebebasan atom untuk asam lemak bengkok lebih tinggi dengan energi kinetik yang lebih tinggi. Terpuntirnya rantai karbon di sepanjang rantai *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) di CJO membuat energi kinetik pada CJO terbesar di antara asam lemak lainnya (tabel 5.3). Oleh karena itu, keberadaan *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) dalam CJO dapat melepaskan diri lebih cepat dan berubah menjadi gas, dan hal ini dibuktikan dengan waktu mendidih CJO yang tercepat (tabel 5.3). Fenomena ini menunjukkan bahwa energi kinetik mempengaruhi laju pendidihan droplet minyak nabati.

Dari semua asam lemak yang menyusun CCO, CJO, CPO dan CSFO asam, lemak *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) pada CJO (gambar 5.24a) yang paling besar perubahan struktur geometri

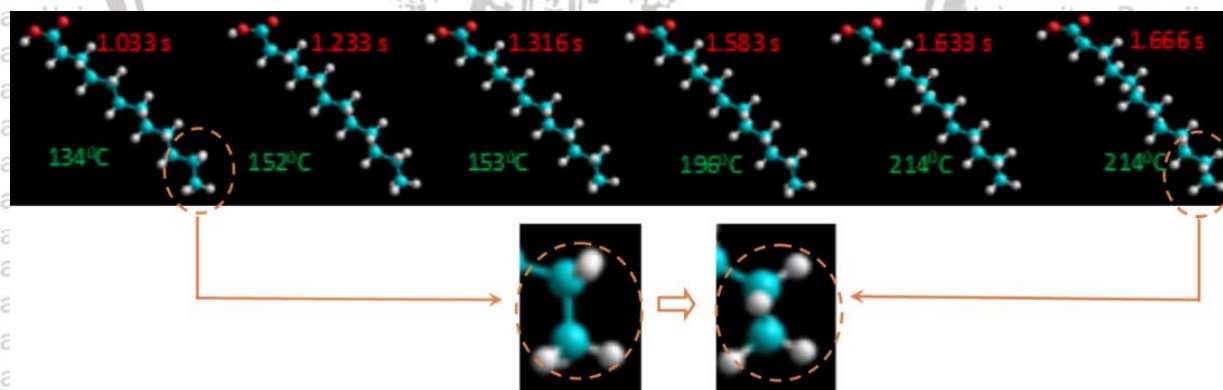
molekulnya. Ini dikarenakan energi kinetik pada *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) paling besar dibandingkan dengan asam lemak yang lainnya (tabel 5.4), sehingga *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) pada CJO dapat melepaskan diri lebih cepat menjadi gas, hal ini dibuktikan dengan *boiling* pada CJO paling cepat (tabel 5.3). Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi kinetik mempengaruhi kecepatan *boiling* pada *droplet* minyak nabati.

Dari semua asam lemak yang menyusun CCO, CJO, CPO dan CSFO terjadi pergeseran atom. Pergeseran atom terjadi pada *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$) di CCO, *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$) di CPO, *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) di CJO, and *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) di CSFO. Terlihat pada gambar 5.23a dan 5.23b, *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$) dan *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$) yang merupakan asam lemak lurus dari gambar awal dan gambar akhir terdapat perubahan posisi molekul (berotasi), ini disebabkan karena adanya penyimpangan sudut ikatan atau distorsi yang menyebabkan rantai dalam molekulnya mengalami regangan sehingga menghasilkan struktur yang kurang stabil. Sehingga temperatur pada CCO dan CPO lebih tinggi sedangkan energi kinetiknya rendah. Sedangkan pada asam lemak *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) pada CJO (gambar 5.24a) dan asam lemak *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) pada CSFO (gambar 5.24b), perubahan struktur geometri molekulnya lebih terlihat perubahannya. Karena atom carbon membentuk lekukan, sehingga regangan dan tolakan antar atom membentuk struktur yang paling stabil mengakibatkan temperatur pada CJO dan CSFO rendah dengan energi kinetik yang lebih besar (tabel 5.3).

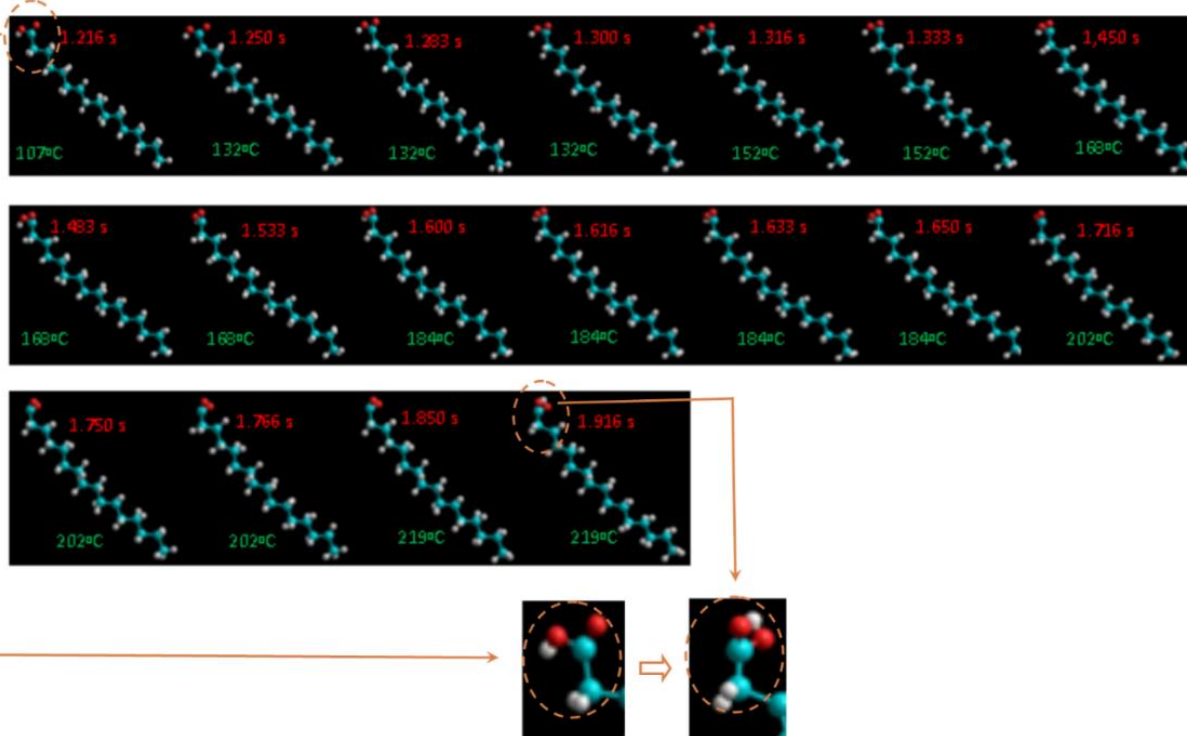
CPO, CJO, dan CSFO tersusun dari berbagai macam trigliserida yang terdiri atas gliserol dan tiga jenis asam lemak seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.1. Masing-masing minyak memiliki komponen asam lemak yang dominan, dan untuk CCO, CPO, CJO, dan CSFO secara berurutan asam lemak yang dominan adalah asam *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$), asam *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$), asam *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$), dan asam *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$). Setiap asam lemak memiliki kepala karboksil yang bersifat polar dimana oksigen cenderung memiliki muatan negatif sedangkan hidrogen cenderung memiliki muatan positif karena kekuatannya yang lebih lemah dalam menarik elektron dibandingkan dengan oksigen. Pada molekul asam lemak kecil polaritasnya lebih kuat karena elektronnya kurang aktif dan ini terjadi pada CCO yang tersusun dari asam lemak berantai pendek lurus seperti *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$) (lihat gambar 5.23a). Analisis ini terkonfirmasi dari menurunnya energi kinetiknya dari minyak seperti yang terlihat pada tabel 5.3. Selain itu, semakin panjang rantai karbon dalam CPO, CJO, dan CSFO menyebabkan mobilitas elektron makin tinggi dan disertai dengan meningkatnya energi kinetik (lihat tabel 5.2). Hal ini melemahkan muatan polar gugus karboksil. Selain itu, keberadaan *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) dalam CJO (lihat gambar 5.24a) membengkokkan molekul rantai karbon asam lemak, hal ini disebabkan karena jumlah hidrogen yang berbeda di sekitar

ikatan rangkap menimbulkan gaya tolak elektron yang tidak seimbang. Hal ini mampu mengganggu mobilitas elektron, namun keberadaan rantai karbon panjang yang masih dominan menyebabkan muatan polar pada karboksil masih sangat lemah. Selain itu, ketika terdapat ikatan rangkap dalam rantai karbon lebih dari satu, seperti kandungan asam *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) tak jenuh ganda dalam CSFO, menimbulkan gaya elektron yang semakin tidak seimbang di sekitar ikatan rangkap, dan hal ini menyebabkan ikatan molekul rantai karbon lebih kuat (gambar 5.24b) dan cenderung menghalangi sebagian mobilitas elektron dari kepala karboksil yang polar sehingga energi kinetik berkurang (lihat tabel 5.3) dan menyebabkan polaritas menjadi lebih kuat. Di sisi lain, mobilitas elektron yang terjadi di sisi berlawanan dari gugus karboksil mampu membuat energi panas mengubah rantai menjadi lebih kuat dan menjadi lebih terpuntir seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.24b. Hal inilah yang membedakan *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) dari *lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$), *palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$), dan *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$), di mana asam lemak *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) dalam CJO memiliki energi kinetik terbesar daripada CSFO yang jauh lebih rendah meskipun berat molekulnya hampir sama (lihat tabel 5.1, tabel 5.3 dan tabel 5.4). Fenomena ini mengindikasikan bahwa polaritas dan geometri memberikan pengaruh pada proses pengapian dan penguapan minyak nabati tetapi dengan mekanisme yang berbeda.

(a). *Lauric* ($C_{12}H_{24}O_2$) asam lemak dominan pada CCO

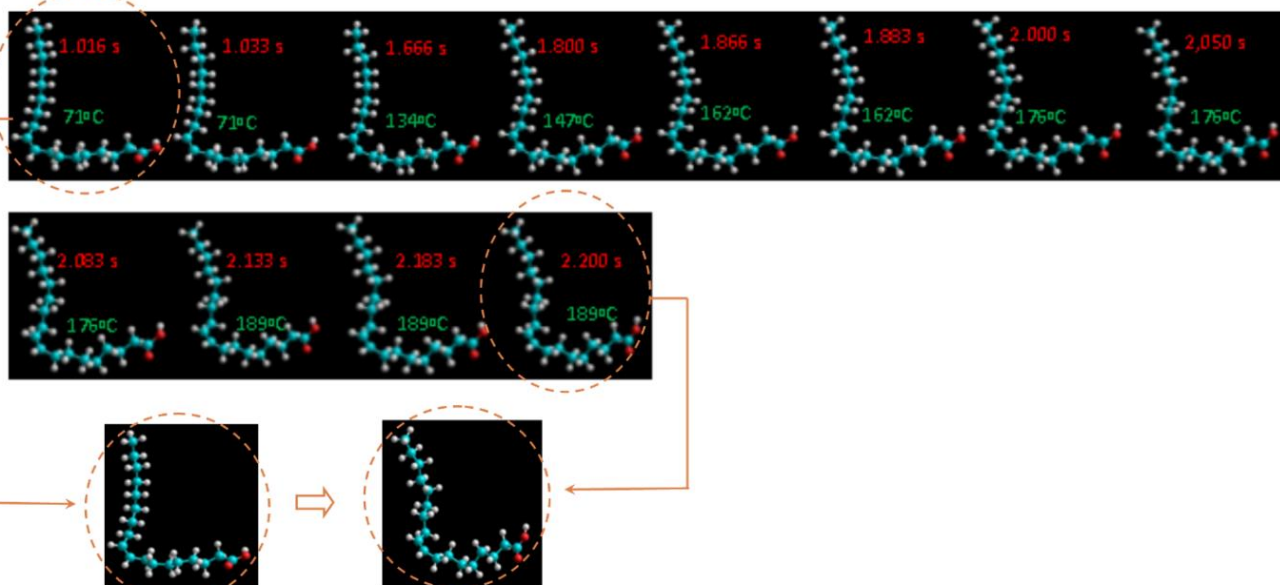


(b). *Palmitic* ($C_{16}H_{32}O_2$) asam lemak dominan pada CPO

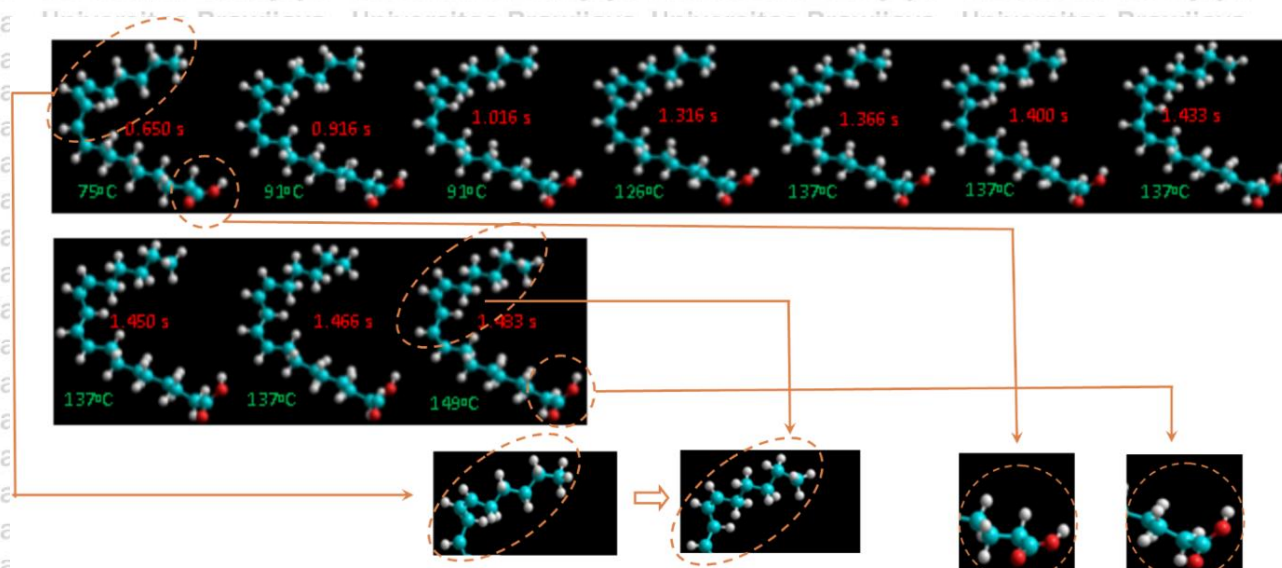


Gambar 5.23 Visualisasi Molekul Asam Lemak Lurus Pada Saat Penyalaan (*Ignition Delay*) (a). CCO dan (b). CPO

(a). *Oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) asam lemak dominan pada CJO



(b). *Linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$) Asam Lemak Dominan pada CSFO



Gambar 5.24 Visualisasi Molekul Asam Lemak Bengkok pada Saat Penyalaan (*Ignition Delay*) (a). CJO dan (b). CSFO

Tabel.5.3 Energi kinetik minyak nabati, waktu pendidihan dan temperatur penyalaan

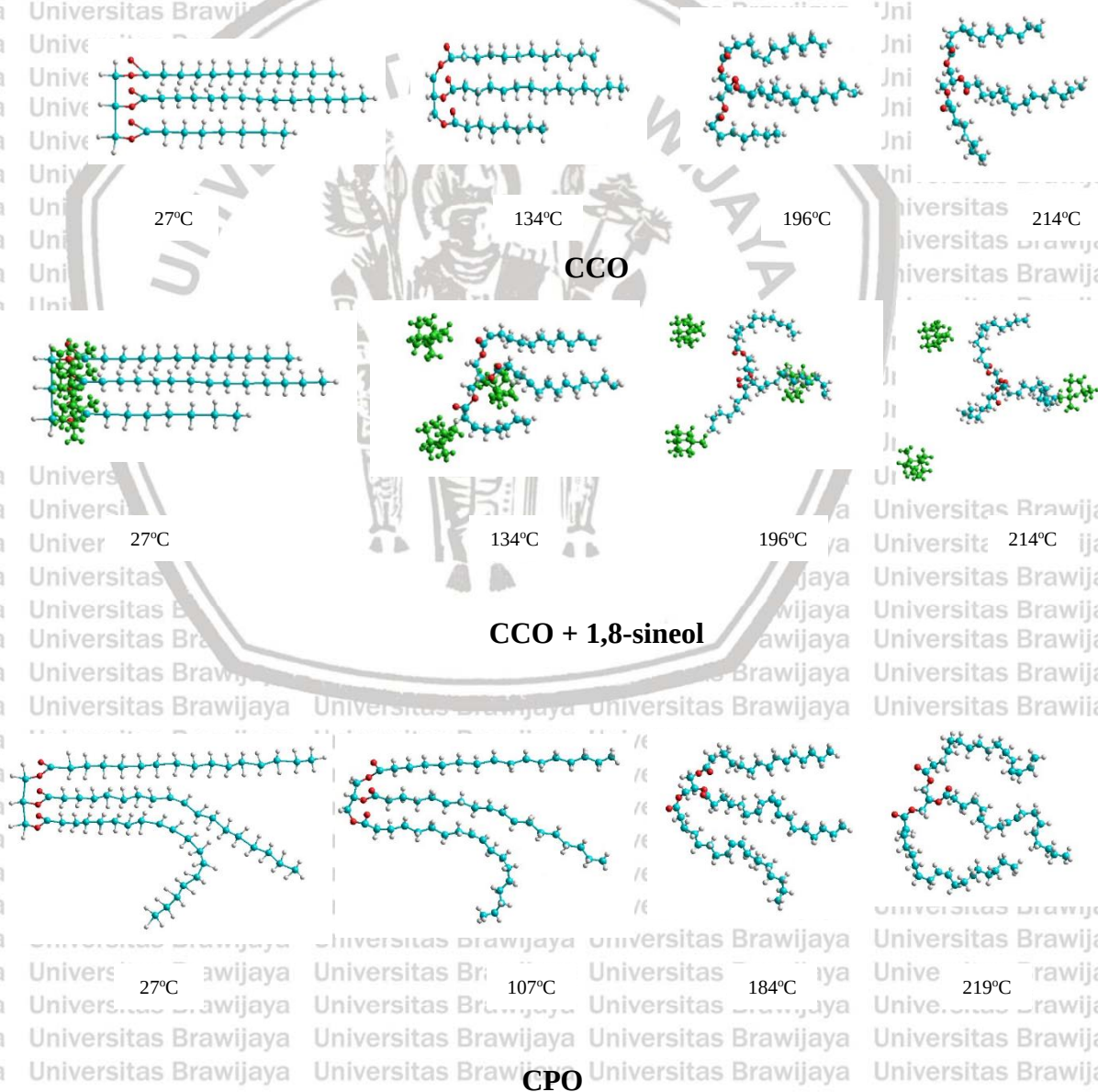
	Dominan asam lemak lurus		Dominan asam lemak bengkok	
	CCO	CPO	CJO	CSFO
Energi Kinetik (mak & min)	134.21	164.28	212.37	194.09
	84.26	114.81	132.88	135.44
Temperatur selama penyalaan °C	214.09	219.60	189.87	149.16
Waktu mulai pendidihan (s)	1.05	1.23	1.03	0.66

Tabel.5.4 Energi kinetik asam lemak minyak nabati

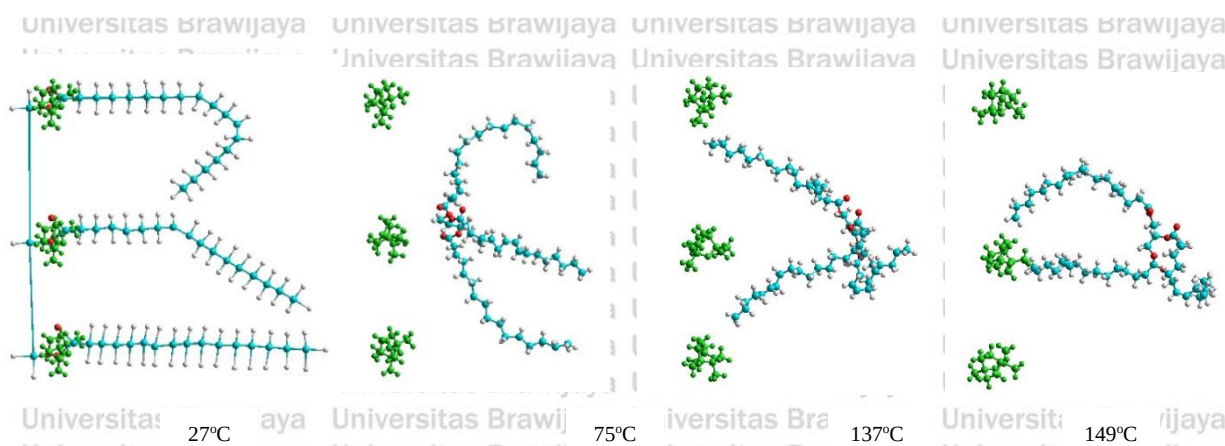
Dominan asam lemak lurus				Dominan asam lemak bengkok			
CCO		CPO		CJO		CSFO	
Asam lemak	Energi kinetik (mak & min)	Asam lemak	Energi kinetik (mak & min)	Asam lemak	Energi kinetik (mak & min)	Asam lemak	Energi kinetik (mak & min)
Lauric	67,02 27,79	Palmitic	64,82 25,52	Oleic	108,30 47,64	Linoleic	90,13 49,22
Myristic	41,31 35,20	Oleic	51,39 44,26	Palmitic	48,93 41,17	Oleic	50,8 44,10
Caprylic	25,88 21,27	Linoleic	48,07 45,03	Stearic	55,14 44,07	Palmitic	53,16 42,12

5.9 Perubahan Geometri trigliserida dengan penambahan 1,8-sineol

Ketika trigliserida ditambahkan 1,8-sineol terlihat pengaruhnya berbeda pada asam lemak yang didominasi asam lemak lurus (CCO dan CPO) dengan yang di dominasi asam lemak bengkok (CJO dan CSFO). Terlihat geometri molekul asam lemak trigliserida setelah penambahan 1,8-sineol lebih merenggang dan jarak hidrokarbon memendek menyebabkan terjadinya perubahan sudut ikatan. Pada gambar 5.25 asam lemak *linoleic* ($C_{18}H_{32}O_2$), *oleic* ($C_{18}H_{34}O_2$) dan *stearic* ($C_{18}H_{36}O_2$) penyusun CSFO geometri molekulnya setelah ditambah 1,8-sineol bergerak kearah berlawanan. Perubahan struktur geometri molekul lebih terlihat perubahannya, karena atom karbon membentuk lekukan, sehingga regangan dan tolakan antar atom membentuk struktur yang paling stabil membuat CSFO menjadi sangat reaktif dan mudah menguap.







CSFO + 1,8-sineol

Gambar 5.25 Fase Geometri Minyak Nabati dan Minyak Nabati dengan Penambahan 1,8-sineol



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian Peranan Polaritas, geometri molekul asam lemak dan respon penambahan 1,8-sineol terhadap karakteristik penyalan, pendidihan *droplet* minyak nabati, adalah sebagai berikut:

1. Polaritas berpengaruh terhadap gaya antar molekul dan karakteristik pembakaran *droplet* minyak nabati. Gaya antar molekul mempengaruhi sifat fisik dari minyak nabati. Minyak nabati yang di dominasi asam lemak polar lebih reaktif dibanding dengan minyak nabati yang didominasi asam lemak non-polar. Asam lemak polar yang panjang dan bengkok lebih reaktif daripada asam lemak yang pendek dan lurus karena polaritas lebih kuat dan mobilitas elektron yang lebih tinggi. Pada asam lemak polar yang panjang dan bengkok molekul kurang kuat, sehingga laju penguapan menjadi cepat. Laju penguapan yang lebih cepat membuat suhu pembakaran lebih rendah karena besarnya jumlah energi panas dikonversi menjadi panas laten yang digunakan untuk perubahan fase selama penguapan.
2. Asam lemak lurus mempunyai temperatur penyalan yang tinggi, karena memerlukan fase relaksasi sebelum penyalan. Temperatur yang tinggi menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk interaksi antar molekul besar, dikarenakan energi kinetik yang di miliki kecil mengakibatkan pendidihan lambat. Sedangkan pada asam lemak bengkok mempunyai temperatur penyalan yang rendah, karena tidak memerlukan fase relaksasi sebelum penyalan. Temperatur yang rendah menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk interaksi antar molekul kecil, dikarenakan energi kinetik yang dimiliki besar mengakibatkan pendidihan lambat.
3. Dengan penambahan 1,8-sineol viskositas dan flash point turun, mampu mengubah struktur geometri rantai karbon trigliserida menjadi lebih mengembang, sehingga menyebabkan gaya ikatan rantai karbon melemah serta meningkatkan *performance* pembakaran bahan bakar pada minyak nabati.

6.2 Saran

Hasil penelitian menunjukkan dengan meneliti polaritas dan geometri molekul minyak nabati saat dipanaskan dan dengan penambahan 1,8-sineol pada beberapa minyak nabati (CCO, CPO, CJO dan CSFO) menghasilkan pembakaran yang lebih baik di banding tanpa penambahan minyak kayu putih (1,8-sineol). Penelitian ini baru membahas dari segi geometri molekulnya saat penyalan (*ignition*) saja, sehingga perlu penelitian lanjutan dengan meneliti geometri molekul pada saat *burning rate* baik pada minyak nabati dan pada minyak nabati ketika ditambahkan 1,8-sineol.



DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal SK. Single droplet ignition: Theoretical analyses and experimental findings. *Prog Energy Combust Sci* 2014;45:79–107. doi:10.1016/j.pecs.2014.05.002.
- Awasthi I, Gogos G, Sundararajan T. Effects of size on combustion of isolated methanol droplets. *Combust Flame* 2013;160:1789–802. doi:10.1016/j.combustflame.2013.03.023.
- Bae JH, Avedisian CT. Experimental study of the effect of helium/nitrogen concentration and initial droplet diameter on nonane droplet combustion with minimal convection. *Proc Combust Inst* 2007;31 II:2157–64. doi:10.1016/j.proci.2006.08.042.
- Bajpai S, Sahoo PK, Das LM. Feasibility of blending karanja vegetable oil in petro-diesel and utilization in a direct injection diesel engine. *Fuel* 2009;88:705–11. doi:10.1016/j.fuel.2008.09.011.
- Barrios CC, Domínguez-Sáez A, Martín C, Álvarez P. Effects of animal fat based biodiesel on a TDI diesel engine performance, combustion characteristics and particle number and size distribution emissions. *Fuel* 2014;117:618–23. doi:10.1016/j.fuel.2013.09.037.
- Blin, J., Brunschwig, C., Chapuis, A., Changotade, O., Sidibe, S., Noumi, E., et al. (2013). Characteristics of vegetable oils for use as fuel in stationary diesel engines—Towards specifications for a standard in West Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 580-597.
- Botero ML, Huang Y, Zhu DL, Molina A, Law CK. of the Combustion Institute Droplet Combustion of Ethanol, Diesel, Castor Oil Biodiesel, and Their Mixtures. *Aerospace* 2011.
- Botero ML, Huang Y, Zhu DL, Molina A, Law CK. Synergistic combustion of droplets of ethanol, diesel and biodiesel mixtures. *Fuel* 2012;94:342–7. doi:10.1016/j.fuel.2011.10.049.
- Cai, L., & Pitts, H. (2015). Optimized chemical mechanism for combustion of gasoline surrogate fuels. *Combustion and Flame*, 162(5). <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2014.11.018>.
- Carareto NDD, Kimura CYCS, Oliveira EC, Costa MC, Meirelles AJA. Flash points of mixtures containing ethyl esters or ethylic biodiesel and ethanol. *Fuel* 2012;96:319–26. doi:10.1016/j.fuel.2012.01.025.
- Chinnamma M, Bhasker S, Madhav H, Devasia RM, Shashidharan A, Pillai BC, et al. Production of coconut methyl ester (CME) and glycerol from coconut (*Cocos nucifera*) oil and the functional feasibility of CME as biofuel in diesel engine. *Fuel* 2015;140:4–9. doi:10.1016/j.fuel.2014.09.057.
- Choi CY, Reitz RD. An experimental study on the effects of oxygenated fuel blends and multiple injection strategies on DI diesel engine emissions. *Fuel* 1999;78:1303–17. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00058-7.

Clairotte, M, Adam T,W., Zardini, A.A., Manfredi, U., Martini G., Krasenbrink, A., ...Astorga C. (2013). Effects of low temperatur on the cold start gaseous emission from light duty vehicles fuelled by etanol-blended gasoline. *Applied Energy*, 102, 44-54. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.08.010>.

Daïf A, Bouaziz M, Chesneau X, Ali Chérif A. Comparison of multicomponent fuel droplet vaporization experiments in forced convection with the Sirignano model. *Exp Therm Fluid Sci* 1998;18:282–90. doi:10.1016/S0894-1777(98)10035-3.

Dee V, Shaw BD. Combustion of propanol-glycerol mixture droplets in reduced gravity. *Int J Heat Mass Transf* 2004;47:4857–67. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.05.025.

Demirbas A. Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels. *Fuel* 2008;87:1743–8. doi:10.1016/j.fuel.2007.08.007.

Desmira N, Kuniyuki K, Morita S, Gupta AK. In-situ spectroscopic monitoring of Jatropha oil combustion properties. *Renew Energy* 2014;63:775–8. doi:10.1016/j.renene.2013.10.020.

Effendi., Molekul, Struktur, dan Sifat-sifatnya., Indonesia Academic Publishing., 2017

Esteban B, Riba JR, Baquero G, Rius A, Puig R. Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. *Biomass and Bioenergy* 2012;42:164–71. doi:10.1016/j.biombioe.2012.03.007.

G. Knothe, A. C. Matheus, and T. W. Ryan, “Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester,” *Fuel*, vol. 82, no. 8, pp. 971–975, 2003.

Gübitz GM, Mittelbach M, Trabi M. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresour Technol* 1999;67:73–82. doi:10.1016/S0960-8524(99)00069-3.

Hara H, Kumagai S. The effect of initial diameter on free droplet combustion with spherical flame. *Symp Combust* 1994;25:423–30. doi:10.1016/S0082-0784(06)80670-3.

Hellier P, Ladommatis N, Yusaf T. The influence of straight vegetable oil fatty acid composition on compression ignition combustion and emissions 2015;143:131–43.

Hendry Y. Nanlohya, □, I.N.G. Wardanaa, Nurkholis Hamidia, Lilis Yuliatia, Toshihisa Uedab The effect of Rh3+ catalyst on the combustion characteristics of crude vegetable oil droplets.pdf n.d.

Heywood, J.B.(1998), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGrawHill series in mechanical engineering (vol.21).

How HG, Masjuki HH, Kalam MA, Teoh YH. Engine performance, emission and combustion characteristics of a common-rail diesel engine fuelled with bioethanol as a fuel additive in coconut oil biodiesel blends. *Energy Procedia* 2014;61:1655–9. doi:10.1016/j.egypro.2014.12.185.

Hoxie A, Schoo R, Braden J. Microexplosive combustion behavior of blended soybean oil and butanol droplets. *Fuel* 2014;120:22–9. doi:10.1016/j.fuel.2013.11.036.

Huang LW, Chen CH. Single droplet combustion in a gravitational environment. *Wärme-*

Und Stoffübertragung 1994;29:415–23. doi:10.1007/BF01584043.

Huggins, M.L. (1937). The Polarity of Chemical Bonds. *J. Chem. Phys.* 5:527.

Doi:10.1063/1.1750070.

Ireland BF, Hibbert DB, Goldsack RJ, Doran JC, Brophy JJ. Chemical variation in the leaf essential oil of *Melaleuca quinquenervia* (Cav.) S.T. Blake. *Biochem Syst Ecol* 2002;30:457–70. doi:10.1016/S0305-1978(01)00112-0.

J. Parcerisa, D. G. Richardson, M. Rafecas, R. Codony, and J. Boatella, “Fatty acid, tocopherol and sterol content of some hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.) harvested in Oregon (USA),” *J. Chromatogr. A*, vol. 805, no. 1–2, pp. 259–268, 1998.

Jackson GS, Avedisian CT. The Effect of Initial Diameter in Spherically Symmetric Droplet Combustion of Sooting Fuels. *Proc R Soc A Math Phys Eng Sci* 1994;446:255–76. doi:10.1098/rspa.1994.0103.

Jeong I, Lee KH, Kim J. Characteristics of auto-ignition and micro-explosion behavior of a single droplet of water-in-fuel. *J Mech Sci Technol* 2008;22:148–56. doi:10.1007/s12206-007-1018-5.

Jeuland, N., Montagne, X., & Gautrot, X. (2004). Potentiality of ethanol as a fuel for dedicated engine. *Oil & Gas Science and Technology*, 59(6), 559–570. <http://doi.org/10.2516/ogst:2004040>.

Kadarohman A, Hernani, Khoerunisa F, Astuti RM. A potential study on clove oil, eugenol and eugenyl acetate as diesel fuel bio- additives and their performance on one cylinder engine. *Transport* 2010;25:66–76. doi:10.3846/transport.2010.09.

Kadarohman A, Hernani, Rohman I, Kusri R, Astuti RM. Combustion characteristics of diesel fuel on one cylinder diesel engine using clove oil, eugenol, and eugenyl acetate as fuel bio-additives. *Fuel* 2012;98:73–9. doi:10.1016/j.fuel.2012.03.037.

Kaul S, Saxena RC, Kumar A, Negi MS, Bhatnagar AK, Goyal HB, et al. Corrosion behavior of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts. *Fuel Process Technol* 2007;88:303–7. doi:10.1016/j.fuproc.2006.10.011.

Kim H, Baek SW, Chang D. A single n-heptane droplet behavior in rapid compression machine. *Int J Heat Mass Transf* 2014;69:247–55. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.10.028.

Kivevele TT, Mbarawa MM, Bereczky A, Laza T, Madarasz J. Impact of antioxidant additives on the oxidation stability of biodiesel produced from *Croton Megalocarpus* oil. *Fuel Process Technol* 2011;92:1244–8. doi:10.1016/j.fuproc.2011.02.009.

Knothe G, Matheaus AC, Ryan TW. Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester. *Fuel* 2003;82:971–5. doi:10.1016/S0016-2361(02)00382-4.

Knothe G. Some aspects of biodiesel oxidative stability. *Fuel Process Technol* 2007;88:669–77. doi:10.1016/j.fuproc.2007.01.005.

- L. C. Meher, C. P. Churamani, M. Arif, Z. Ahmed, and S. N. Naik, "Jatropha curcas as a renewable source for bio-fuels - A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 397–407, 2013.
- Lapuerta M, Armas O, Rodríguez-Fernández J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Prog Energy Combust Sci* 2008;34:198–223. doi:10.1016/j.pecs.2007.07.001.
- Law CK. Recent Advances in Droplet Vaporization and Combustion 1982;8:171–201.
- Lasheras JC, Fernandez-Pello AC, Dryer FL. Experimental Observations on the Disruptive Combustion of Free Droplets of Multicomponent Fuels. *Combust Sci Technol* 1980;22:195–209. doi:10.1080/00102208008952383.
- Lujaji F, Kristóf L, Bereczky A, Mbarawa M. Experimental investigation of fuel properties, engine performance, combustion and emissions of blends containing croton oil, butanol, and diesel on a CI engine. *Fuel* 2011;90:505–10. doi:10.1016/j.fuel.2010.10.004.
- M. Hajbabaie, G. Karavalakis, K. C. Johnson, J. Guthrie, A. Mitchell, and T. D. Durbin, "Impacts of biodiesel feedstock and additives on criteria emissions from a heavy-duty engine," *Fuel Process. Technol.*, vol. 126, no. 2014, pp. 402–414, 2014.
- M. Plank, G. Wachtmeister, K. Thuneke, E. Remmele, and P. Emberger, "Effect of fatty acid composition on ignition behavior of straight vegetable oils measured in a constant volume combustion chamber apparatus," *Fuel*, vol. 207, pp. 293–301, 2017.
- Mbarawa M. The effect of clove oil and diesel fuel blends on the engine performance and exhaust emissions of a compression-ignition engine. *Biomass and Bioenergy* 2010;34:1555–61. doi:10.1016/j.biombioe.2010.05.004.
- Meher LC, Churamani CP, Arif M, Ahmed Z, Naik SN. Jatropha curcas as a renewable source for bio-fuels - A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;26:397–407. doi:10.1016/j.rser.2013.05.065.
- Misra RD, Murthy MS. Blending of additives with biodiesels to improve the cold flow properties, combustion and emission performance in a compression ignition engine - A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:2413–22. doi:10.1016/j.rser.2011.02.023.
- Misra RD, Murthy MS. Jatropa - The future fuel of India. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:1350–9. doi:10.1016/j.rser.2010.10.011.
- Misra RD, Murthy MS. Straight vegetable oils usage in a compression ignition engine - A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:3005–13. doi:10.1016/j.rser.2010.06.010.
- Murali HS, Mohan MS, Manja KS, Sankaran R. Polar and nonpolar lipids and their fatty acid composition of a few Fusarium species. *J Am Oil Chem Soc* 1993;70:1039–41. doi:10.1007/BF02543034.
- N. D. D. Carareto, C. Y. C. S. Kimura, E. C. Oliveira, M. C. Costa, and A. J. A. Meirelles, "Flash points of mixtures containing ethyl esters or ethylic biodiesel and ethanol," *Fuel*, vol. 96, pp. 319–326, 2012.

- Nakpong P, Wootthikanokkhan S. High free fatty acid coconut oil as a potential feedstock for biodiesel production in Thailand. *Renew Energy* 2010;35:1682–7. doi:10.1016/j.renene.2009.12.004.
- Nakpong P, Wootthikanokkhan S. High free fatty acid coconut oil as a potential feedstock for biodiesel production in Thailand. *Renew Energy* 2010;35:1682–7. doi:10.1016/j.renene.2009.12.004.
- No SY. Application of hydrotreated vegetable oil from triglyceride based biomass to CI engines - A review. *Fuel* 2014;115:88–96. doi:10.1016/j.fuel.2013.07.001.
- No SY. Inedible vegetable oils and their derivatives for alternative diesel fuels in CI engines: A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:131–49. doi:10.1016/j.rser.2010.08.012.
- Nordstrom, B. H (1984). The Effect of Polarity on Solubility. *J. Chem. Educ.* 61(11):1009. doi:10.1021/ed061p1009.1.
- Ong HC, Mahlia TMI, Masjuki HH, Norhasyima RS. Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel: A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:3501–15. doi:10.1016/j.rser.2011.05.005.
- Orzechowski, T., & Weislik, S. (2004). Analysis of D2-law in case of leidenfrost drop evaporation. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 59, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2014.04.015>.
- P. Hellier, N. Ladammatos, and T. Yusaf, “The influence of straight vegetable oil fatty acid composition on compression ignition combustion and emissions,” vol. 143, pp. 131–143, 2015.
- Padalia, Verma, Chauhan, Goswami (2015). Chemical composition of *Melaleuca Linarrifolia* Sm. from India. *Industrial crops and Product*, 264–268.
- Parcerisa J, Casals I, Boatella J, Codony R, Rafecas M. Analysis of olive and hazelnut oil mixtures by high-performance liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionisation mass spectrometry of triacylglycerols and gas-liquid chromatography of non-saponifiable compounds (tocopherols and sterols). *J Chromatogr A* 2000;881:149–58. doi:10.1016/S0021-9673(00)00352-6.
- Parcerisa J, Richardson DG, Rafecas M, Codony R, Boatella J. Fatty acid, tocopherol and sterol content of some hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.) harvested in Oregon (USA). *J Chromatogr A* 1998;805:259–68. doi:10.1016/S0021-9673(98)00049-1.
- Parkins, W.D. (1986). Fourier transform-infrared spectroscopy: Part 1. Instrumentation. *Journal of Chemical Education*, 63(1), A5, <https://doi.org/10.1021/ed063pA5>.
- Pavia, D.L., Lampman, G.M., Kriz, G.S., & Vyvyan, J.A. (2008). Introduction to Spectroscopy. (L. Lockwood & B. Kirksey, EDS) 4 th Ed. Washington: Cengage Learning.
- Pradhan P, Raheman H, Padhee D. Combustion and performance of a diesel engine with preheated *Jatropha curcas* oil using waste heat from exhaust gas. *Fuel* 2014;115:527–33. doi:10.1016/j.fuel.2013.07.067.

Pauling L (1960). The Nature of the Chemical Bond (edisi ke-3rd). Oxford University Press. Hlmn. 98-100.

Ramadhass AS, Jayaraj S, Muraleedharan C. Use of vegetable oils as I.C. engine fuels - A review. *Renew Energy* 2004;29:727-42. doi:10.1016/j.renene.2003.09.008.

Ramirez, Brown R, Rainey, T.A Review of hydrothermal liquefaction bio crude properties for upgrading to transportation fuels. *Energies* 2015, 8, 6765-6794.

Rawson PM, Stansfield CA, Webster RL, Evans D, Yildirim U. The oxidative stability of synthetic fuels and fuel blends with monoaromatic blending components. *Fuel* 2015;161:97-104. doi:10.1016/j.fuel.2015.08.038.

Rizsa MA, Wijayanti W, Hamidi N, Wardana ING. Role of Intermolecular Forces on the Contact Angle of Vegetable Oil Droplets during the Cooling Process 2018;2018.

Roy MM, Wang W, Alawi M. Performance and emissions of a diesel engine fueled by biodiesel-diesel, biodiesel-diesel-additive and kerosene-biodiesel blends. *Energy Convers Manag* 2014;84:164-73. doi:10.1016/j.enconman.2014.04.033.

Sastrohamidjojo, H. (2004). Kimia Minyak Atsiri. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Schoo R, Hoxie A, Braden J. Combustion characteristics of butanol-soybean oil blended droplets. *ASME 2014 8th Int Conf Energy Sustain ES 2014 Collocated with ASME 2014 12th Int Conf Fuel Cell Sci Eng Technol* 2014;2:1-9. doi:10.1115/ES2014-6320.

Sidibé SS, Blin J, Vaitilingom G, Azoumah Y. Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:2748-59. doi:10.1016/j.rser.2010.06.018.

Song J, Cheenkachorn K, Wang J, Perez J, Boehman AL, Young PJ, et al. Effect of oxygenated fuel on combustion and emissions in a light-duty turbo diesel engine. *Energy and Fuels* 2002;16:294-301. doi:10.1021/ef010167t.

Wang CH, Liu XQ, Law CK. Combustion and microexplosion of freely falling multicomponent droplets. *Combust Flame* 1984;56:175-97. doi:10.1016/0010-2180(84)90036-1.

Wang CH, Liu XQ, Law CK. Combustion and microexplosion of freely falling multicomponent droplets. *Combust Flame* 1984;56:175-97. doi:10.1016/0010-2180(84)90036-1.

Wardana ING. Combustion characteristics of jatropha oil droplet at various oil temperatures. *Fuel* 2010;89:659-64. doi:10.1016/j.fuel.2009.07.002.

Westbrook CK, Naik CV, Herbinet O, Pitz WJ, Mehl M, Sarathy SM, et al. Detailed Chemical Kinetic Reaction Mechanisms for soy and rapeseed biodiesel fuel. *Combust Flame* 2011;158(4):742-55.

Wijayanti, Febnita Eka. 2008. Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Sumber Bahan Baku Produksi Metil Ester. FMIPA UI.

Yusaf TF, Yousif BF, Elawad MM. Crude palm oil fuel for diesel-engines: Experimental and ANN simulation approaches. *Energy* 2011;36:4871–8.
doi:10.1016/j.energy.2011.05.032.

Zarska M, Bartoszek K, Dzida M. High pressure physicochemical properties of biodiesel components derived from coconut oil or babassu oil. *Fuel* 2014;125:144–51.
doi:10.1016/j.fuel.2014.01.104.

