

**PENGARUH PENAMBAHAN KARBON AKTIF DENGAN  
BIOADITIF MINYAK KAYU PUTIH TERHADAP KARAKTERISTIK  
PEMBAKARAN *DROPLET* MINYAK KELAPA SAWIT**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ARIEF JUNEIRUL PRATAMA  
NIM. 145060201111052**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH PENAMBAHAN KARBON AKTIF DENGAN  
BIOADITIF MINYAK KAYU PUTIH TERHADAP KARAKTERISTIK  
PEMBAKARAN *DROPLET* MINYAK KELAPA SAWIT**

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ARIEF JUNEIRUL PRATAMA  
NIM. 145060201111052**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 28 November 2018

Dosen Pembimbing I

Putnami, ST., MT.

NIP. 19770707 200812 1 005

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D

NIP. 19590703 198303 1 002

Mengetahui,

Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

NIP. 19740930 200012 1 001



**JUDUL SKRIPSI:**

Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Dengan Bioaditif Minyak Kayu Putih Terhadap Karakteristik Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit

Nama Mahasiswa : Arief Juneirul Pratama  
NIM : 145060201111052  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Teknik Konversi Energi

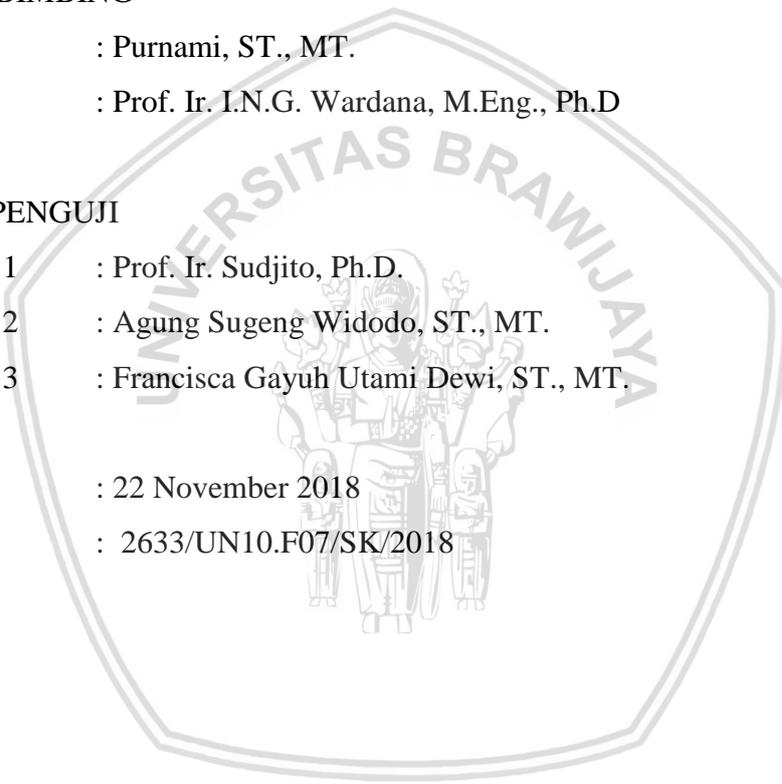
**KOMISI PEMBIMBING**

Pembimbing I : Purnami, ST., MT.  
Pembimbing II : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.  
Dosen Penguji 2 : Agung Sugeng Widodo, ST., MT.  
Dosen Penguji 3 : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

Tanggal Ujian : 22 November 2018  
SK Penguji : 2633/UN10.F07/SK/2018



### PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

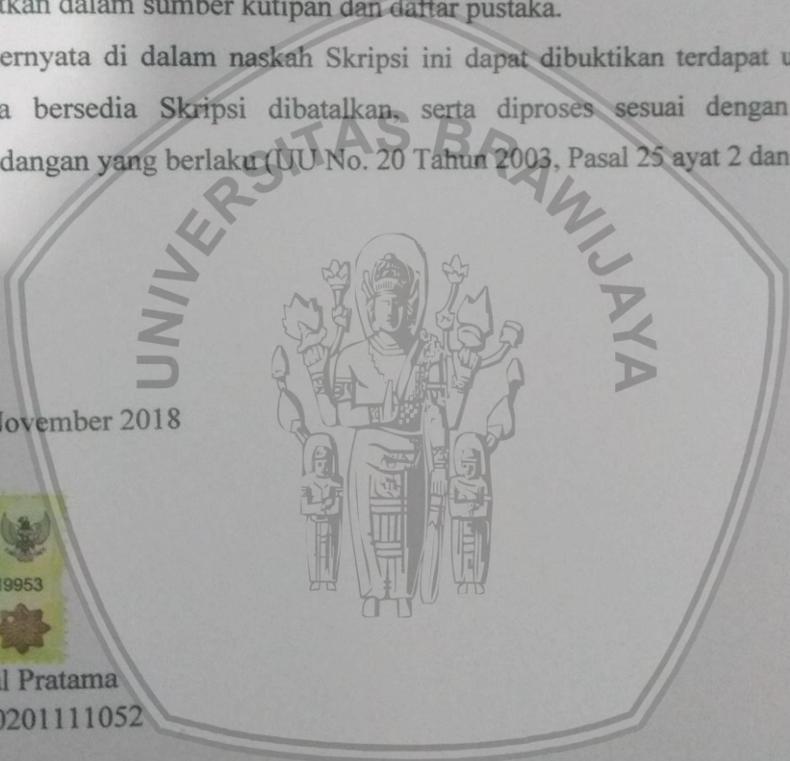
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 28 November 2018

Mahasiswa



Arief Juncirul Pratama  
NIM. 145060201111052



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai bentuk dokumentasi dan hasil akhir dari proses perkuliahan yang telah dilaksanakan. Skripsi ini juga merupakan persyaratan kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dalam kurikulum program studi Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tidak akan dapat menyelesaikan semuanya dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada berbagai pihak di antaranya:

1. Bapak Purnami, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi bimbingan, saran, motivasi, waktu dan ilmu yang sangat banyak selama penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi bimbingan, saran, motivasi, waktu dan ilmu yang sangat banyak selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr. Eng Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
6. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT. Met., selaku dosen pembimbing akademik yang banyak membantu dan memberi saran selama proses perkuliahan.
8. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberi ilmu dan membimbing penulis selama perkuliahan.
9. Kepada Bapak Mhd. Syafei dan Ibu Ermitta sebagai orang tua penulis, serta adik saya Adilla Dwi Syafitri dan Almh. Afifah Tri Melita yang tidak henti-hentinya memberikan semangat, motivasi maupun doa kepada penulis baik selama perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi ini.
10. Kepada keluarga besar Seven Er yang selalu memberikan saran, motivasi dan doa tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

11. Kepada saudara-saudara Seven Er G2 Uda Abdil, Uni Ezi, Fatur, Adilla, Almh. Fifi, Hanim, Hasim, Dea, Dinda, Fauzan, Fatan, Silvia, Fajran, Nafisa, Rijal, Opik dan Arika.
12. Kepada saudara-saudara Djambronk Bang Nanda, Bang Ilham, Isep, Fatur, Fauzan Adiak.
13. Kepada keluarga besar Omjin. Co Ilham, Afif, Genta, Randu, Topik, Robitson, Fadhil, Randa, Prety, Oo, Ihsan, Fikran, Arief, Randu Dian, Ranggie, Yandi, Yogi dan Umara atas motivasi, hiburan dan semangat yang diberikan kepada penulis.
14. Keluarga besar Mesin UB angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat serta bantuan selama perkuliahan ini khususnya Gede Utama Putra dan Alif Luqmanul Hakim selaku teman kelompok skripsi penulis.
15. Kepada teman-teman Djambronk Class Fadlur, Bagus, Made, Alfian, Gede, El dan Alif
16. Kepada Isfan Apra Adha sebagai sahabat dan saudara seperantauan dari ranah minang selama penulis kuliah di Malang.
17. Kepada saudara-saudara Rantau Pasaman yang telah menjadi saudara terdekat penulis di tanah perantauan ini. Terimakasih banyak.
18. Kepada saudara-saudara penghuni Kontrakan Masa Depan Jupri, Zikry, Dicky, Afandy, Gian, Dodi, Onky Alexsander dan Rifki yang selalu berbagi kebahagiaan kepada siapapun yang mereka kenali.

Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membantu perkembangan topik yang terkait dengan skripsi ini maupun bagi penulis sendiri secara pribadi. Penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan bagi perkembangan keilmuan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Malang, November 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

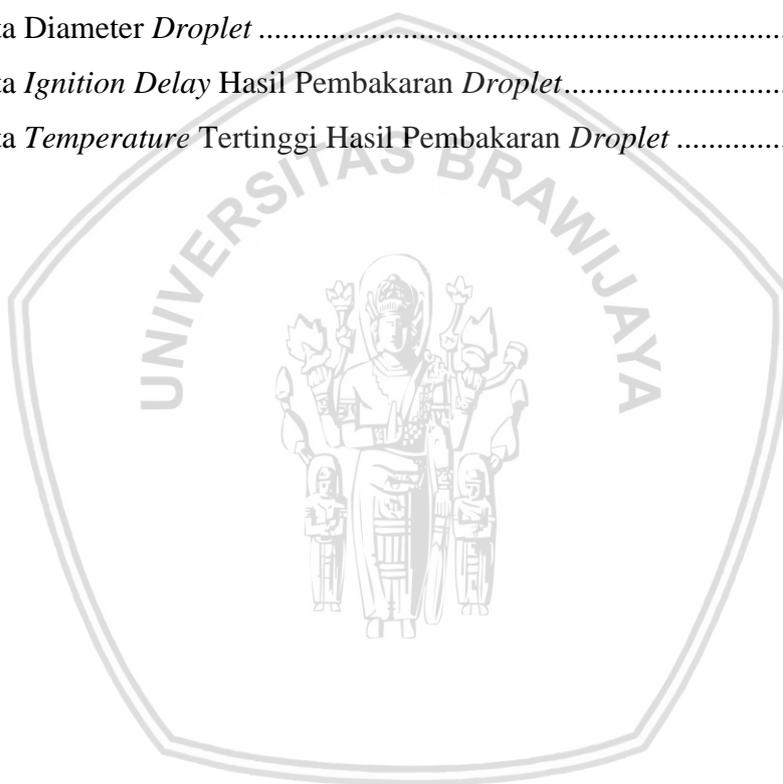
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>SUMMARY</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Minyak Nabati .....	5
2.2.1 Minyak Kelapa Sawit .....	7
2.3 Pembakaran .....	9
2.3.1 Pembakaran <i>Droplet</i> .....	10
2.3.2 Karakteristik Pembakaran .....	11
2.4 <i>Microexplosion</i> .....	12
2.5 Elektronegatifitas .....	13
2.6 Katalis .....	13
2.6.1 Karbon Aktif .....	14
2.6.2 Karbon Aktif dari Batok Kelapa .....	15
2.7 Minyak Atsiri .....	17
2.7.1 Bioadiktif Minyak Kayu Putih .....	17
2.8 Kerangka Konsep Berfikir .....	19
2.8.1 Penambahan Karbon Aktif .....	19
2.8.2 Penambahan Bioadiktif Minyak Kayu Putih .....	23
2.8 Hipotesis .....	26

<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
3.1 Metode Penelitian.....	27
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	27
3.3 Variabel Penelitian .....	27
3.4 Alat-alat dan Bahan-bahan Penelitian .....	28
3.4.1 Alat-alat Penelitian .....	28
3.4.2 Bahan-bahan Penelitian .....	30
3.5 Skema Instalasi Alat Penelitian .....	31
3.6 Prosedur Pengambilan Data .....	32
3.7 Diagram Alir Penelitian .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>37</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	37
4.1.1 Diameter <i>Droplet</i> .....	37
4.1.2 Tabel Data Hasil Penelitian .....	37
4.2 Analisis dan Pembahasan .....	38
4.2.1 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Kayu Putih dan Karbon Aktif Terhadap <i>Ignition Delay</i> Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kelapa Sawit.....	39
4.2.2 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Kayu Putih dan Karbon Aktif Terhadap <i>Burning Rate</i> Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kelapa Sawit.....	40
4.2.3 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Kayu Putih dan Karbon Aktif Terhadap Temperatur Reaksi Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kelapa Sawit	42
4.2.4 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Kayu Putih dan Karbon Aktif Terhadap Visualisasi Api Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kelapa Sawit .....	45
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan .....	51
5.1 Saran.....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis Jenis Asam Lemak yang Terkandung Dalam Minyak Nabati.....	6
Tabel 2.2	Komponen Penyusun Minyak Kelapa Sawit.....	8
Tabel 2.3	Kompisisi Kandungan Asam Lemak Pada Minyak Kelapa Sawit .....	8
Tabel 2.4	Sifat Fisik Beberapa Jenis Minyak Nabati .....	9
Tabel 2.5	Kandungan Komposisi Kimia dan Komposisi Unsur Tempurung Kelapa .....	16
Tabel 2.6	Perbandingan Perubahan Komponen dan Kandungan Bahan Tempurung Kelapa dan Arang Tempurung Kelapa.....	17
Tabel 2.7	Kompisisi Kandungan Kimia Kayu Putih ( <i>Melaleuca Leucacendra</i> ).....	18
Tabel 4.1	Data Diameter <i>Droplet</i> .....	37
Tabel 4.2	Data <i>Ignition Delay</i> Hasil Pembakaran <i>Droplet</i> .....	37
Tabel 4.3	Data <i>Temperature</i> Tertinggi Hasil Pembakaran <i>Droplet</i> .....	38



## DAFTAR GAMBAR

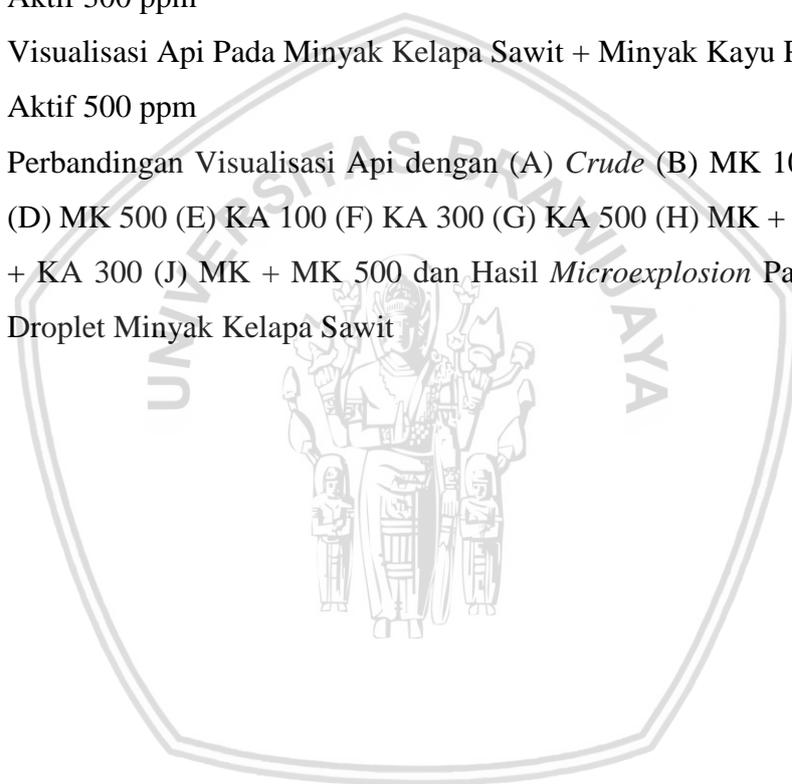
Gambar 2.1	Susunan ikatan molekul <i>tryglyceride</i> .....	6
Gambar 2.2	Minyak kelapa sawit .....	7
Gambar 2.3	Model api difusi pada pembakaran <i>droplet</i> .....	10
Gambar 2.4	Model nyala api <i>droplet</i> .....	11
Gambar 2.5	Tahapan <i>microexplosion</i> .....	12
Gambar 2.6	Tabel elektronegatifan unsur .....	13
Gambar 2.7	Diagram perbandingan energi aktivasi pada penambahan katalis dan tanpa katalis .....	14
Gambar 2.8	Struktur kimia karbon aktif .....	15
Gambar 2.9	Gerakan ikatan rangkap pada karbon aktif .....	19
Gambar 2.10	Ilustrasi skema medan magnet pada karbon aktif .....	20
Gambar 2.11	Kontak medan magnet karbon aktif dengan asam lemak .....	20
Gambar 2.12	Lintasan elektron atom karbon yang terganggu oleh medan magnet .....	21
Gambar 2.13	Ilustrasi pengikatan atom karbon oleh <i>graphene</i> pada <i>trigliserida</i> .....	21
Gambar 2.14	Ikatan hidrogen pada <i>graphane</i> .....	22
Gambar 2.15	Proses oksidasi molekul bebas minyak kelapa sawit .....	23
Gambar 2.16	Struktur sineol .....	23
Gambar 2.17	Ilustrasi resonansi elektron pada sineol .....	24
Gambar 2.18	Reaksi cincin siklik sineol dan asam lemak minyak kelapa sawit .....	24
Gambar 2.19	Ilustrasi pengaruh medan magnet terhadap melekul asam lemak minyak kelapa sawit .....	25
Gambar 2.20	Ilustrasi medan magnet terhadap pemutusan ikatan .....	25
Gambar 3.1	Elemen pemanas .....	28
Gambar 3.2	<i>Thermocouple</i> .....	28
Gambar 3.3	<i>Data logger</i> .....	29
Gambar 3.4	Pembuat <i>droplet</i> .....	30
Gambar 3.5	Gelas ukur .....	30
Gambar 3.6	Katalis karbon aktif (batok kelapa) .....	30
Gambar 3.7	Minyak kayu putih .....	31
Gambar 3.8	Minyak kelapa sawit .....	31
Gambar 3.9	Skema instalasi alat penelitian .....	32
Gambar 3.10	Diagram alir penelitian .....	35

Gambar 4.1	Grafik pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap <i>ignition delay</i> pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit .....	39
Gambar 4.2	Grafik pengaruh penambahan minyak kayu putih terhadap <i>burning rate</i> pada pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit .....	40
Gambar 4.3	Grafik pengaruh penambahan karbon aktif terhadap <i>burning rate</i> pada pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit .....	41
Gambar 4.4	Grafik pengaruh penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap <i>burning rate</i> pada pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit .....	41
Gambar 4.5	Grafik perbandingan pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap temperatur tertinggi pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit .....	42
Gambar 4.6	Grafik perbandingan pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih terhadap temperatur pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit.....	43
Gambar 4.7	Grafik perbandingan pengaruh variasi penambahan karbon aktif terhadap temperatur pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit.....	43
Gambar 4.8	Grafik perbandingan pengaruh variasi penambahan campuran minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap temperatur pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit .....	44
Gambar 4.9	Grafik pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap panjang api pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit.....	45
Gambar 4.10	Grafik pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap lebar api pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa sawit .....	46
Gambar 4.11	Ilustrasi cara kerja karbon aktif dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak kelapa sawit .....	48
Gambar 4.12	Ilustrasi cara kerja minyak kayu putih dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak kelapa sawit .....	49

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel Data Dimensi Panjang Hasil Pembakaran *Droplet*
- Lampiran 2 Tabel Data Dimensi Lebar Hasil Pembakaran *Droplet*
- Lampiran 3 Grafik *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit Murni
- Lampiran 4 Grafik Pengaruh Penambahan Minyak Kayu Putih 100 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 5 Grafik Pengaruh Penambahan Minyak Kayu Putih 300 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 6 Grafik Pengaruh Penambahan Minyak Kayu Putih 500 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 7 Grafik Pengaruh Penambahan Karbon Aktif 100 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 8 Grafik Pengaruh Penambahan Karbon Aktif 300 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 9 Grafik Pengaruh Penambahan Karbon Aktif 500 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 10 Grafik Pengaruh Penambahan Kayu Putih Dan Karbon Aktif 100 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 11 Grafik Pengaruh Penambahan Kayu Putih Dan Karbon Aktif 300 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 12 Grafik Pengaruh Penambahan Kayu Putih Dan Karbon Aktif 500 ppm Pada *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit
- Lampiran 13 Temperatur Kelapa Sawit Murni
- Lampiran 14 Temperatur Kelapa Sawit + Kayu Putih 100 ppm
- Lampiran 15 Temperatur Kelapa Sawit + Kayu Putih 300 ppm
- Lampiran 16 Temperatur Kelapa Sawit + Kayu Putih 500 ppm
- Lampiran 17 Temperatur Kelapa Sawit + Karbon Aktif 100 ppm
- Lampiran 18 Temperatur Kelapa Sawit + Karbon Aktif 300 ppm
- Lampiran 19 Temperatur Kelapa Sawit + Karbon Aktif 500 ppm
- Lampiran 20 Temperatur Kelapa Sawit + Kayu Putih + Karbon Aktif 100 ppm
- Lampiran 21 Temperatur Kelapa Sawit + Kayu Putih + Karbon Aktif 300 ppm
- Lampiran 22 Temperatur Kelapa Sawit + Kayu Putih + Karbon Aktif 500 ppm
- Lampiran 23 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit Murni

- Lampiran 24 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 100 ppm
- Lampiran 25 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 300 ppm
- Lampiran 26 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 500 ppm
- Lampiran 27 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 100 ppm
- Lampiran 28 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 300 ppm
- Lampiran 29 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 500 ppm
- Lampiran 30 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih + Karbon Aktif 100 ppm
- Lampiran 31 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih + Karbon Aktif 300 ppm
- Lampiran 32 Visualisasi Api Pada Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih + Karbon Aktif 500 ppm
- Lampiran 33 Perbandingan Visualisasi Api dengan (A) *Crude* (B) MK 100 (C) MK 300 (D) MK 500 (E) KA 100 (F) KA 300 (G) KA 500 (H) MK + KA 100 (I) MK + KA 300 (J) MK + MK 500 dan Hasil *Microexplosion* Pada Pembakaran Droplet Minyak Kelapa Sawit



## RINGKASAN

**Arief Juneirul Pratama**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2018, *Perbandingan Penambahan Karbon Aktif dengan Bioaditif Minyak Kayu Putih Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Kelapa Sawit*, Dosen Pembimbing: Purnami dan I.N.G. Wardana.

Perkembangan infrastruktur dan penggunaan kendaraan bermotor selalu mengalami peningkatan. Peningkatan ini menyebabkan kebutuhan terhadap energi menjadi semakin bertambah. Sedangkan sebagian besar bahan bakar yang digunakan saat ini berasal dari fosil dan tidak dapat diperbaharui, yang menyebabkan ketersediaannya menjadi semakin terbatas. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil ini harus diatasi segera dengan menggunakan energi alternatif, salah satunya adalah minyak nabati. Minyak kelapa sawit dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif yang kesinambungan produksinya dapat terjamin. Namun, minyak kelapa sawit memiliki kekurangan pada propertisnya seperti nilai titik didihnya yang tinggi sehingga sulit untuk terbakar. Penambahan katalis pada pembakaran diperlukan untuk memperbaiki propertis minyak tersebut. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak kayu putih dan karbon aktif. Variasi penambahan katalis minyak kayu putih dan karbon aktif adalah 0 ppm (minyak kelapa sawit murni), 100 ppm, 300 ppm, dan 500 ppm. Hasil penelitian ini menunjukkan pengaruh katalis terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit, yaitu penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif dapat menurunkan nilai dari *ignition delay*, *burning rate*, temperatur pembakaran dan dimensi api, serta mempercepat reaksi pembakaran minyak kelapa sawit.

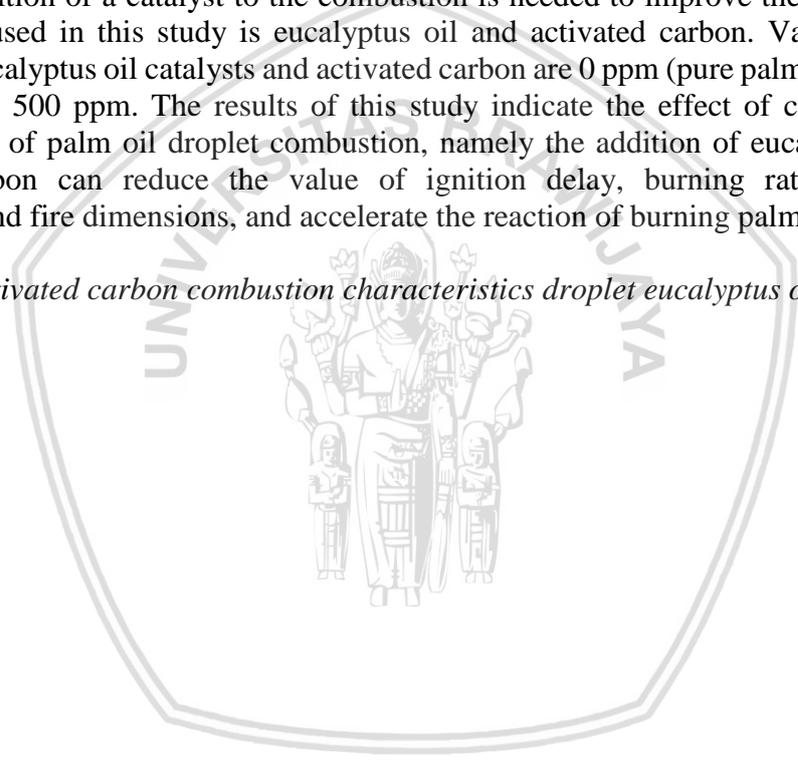
**Kata Kunci:** Droplet karakteristik pembakaran karbon aktif minyak kelapa sawit minyak kayu putih

## SUMMARY

**Arief Juneirul Pratama**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, November 2018, *Comparasion of Activated Carbon with Bio-Additive Eucalyptus Oil on Droplet Combustion Characteristic of Palm Oil*, Academic Supervisor: Purnami dan I.N.G. Wardana.

The development of infrastructure and the use of motorized vehicles has always increased. This increase causes the need for energy to increase. While most of the fuel used today comes from fossils and is non-renewable, which causes its availability to be increasingly limited. Dependence on fossil fuels must be immediately adopted by using alternative energy, one of which is vegetable oil. Palm oil can be used as an alternative energy source where the sustainability of its production can be guaranteed. However, palm oil has a deficiency in its properties such as its high boiling point which makes it difficult to burn. The addition of a catalyst to the combustion is needed to improve the oil properties. The catalyst used in this study is eucalyptus oil and activated carbon. Variations in the addition of eucalyptus oil catalysts and activated carbon are 0 ppm (pure palm oil), 100 ppm, 300 ppm, and 500 ppm. The results of this study indicate the effect of catalysts on the characteristics of palm oil droplet combustion, namely the addition of eucalyptus oil and activated carbon can reduce the value of ignition delay, burning rate, combustion temperature and fire dimensions, and accelerate the reaction of burning palm oil.

**Keywords:** *activated carbon combustion characteristics droplet eucalyptus oil palm oil*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia sekarang ini mengalami peningkatan yang signifikan, hal ini mengakibatkan permintaan pada bidang energi menjadi meningkat. Selain itu penggunaan kendaraan bermotor semakin hari semakin meningkat sehingga kebutuhan terhadap energi juga menjadi semakin bertambah. Jika berbicara tentang pembangunan infrastruktur dan kendaraan bermotor yang selalu mengalami peningkatan ini, tentu tidak terlepas dari bahan bakar yang dibutuhkan. Bahan bakar yang digunakan saat ini kebanyakan adalah bahan bakar yang berasal dari fosil atau disebut juga bahan bakar fosil/bahan bakar mineral. Bahan bakar fosil tidak dapat diperbaharui dan biaya produksinya yang relatif mahal, sehingga Indonesia akan mengalami kesusahan untuk pemasokan bahan bakar kedepannya. Hal ini menyebarkan Indonesia akan tergantung kepada impor bahan bakar fosil.

Sekitar 20 juta ton pertahun industri di dunia membutuhkan bahan baku berupa bahan bakar fosil dan sekitar 76% dari kebutuhan tersebut adalah minyak bumi. Minyak bumi bukan hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar energi, namun juga digunakan sebagai bahan baku di industri. Sekitar 93% dari minyak bumi dimanfaatkan sebagai bahan bakar sedangkan untuk bahan baku industri hanya sekitar 7% (Machhammer, 2007).

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil ini harus diatasi segera. Salah satu pemecahan masalah ini adalah dengan menggunakan energi baru/sumber energi alternatif. Salah satu dari energi alternatif yang dapat digunakan adalah, dan minyak nabati merupakan salah satunya. Minyak nabati berasal dari tanaman, seperti minyak jagung, biji bunga matahari, kelapa sawit, randu, kemiri sunan, dan jarak pagar.

Salah satu dari minyak nabati yang bisa dimanfaatkan untuk pengganti bahan bakar fosil adalah minyak kelapa sawit. Penggunaan minyak kelapa sawit atau *palm oil* sebagai sumber energi alternatif merupakan sumber energi yang bersifat *renewable* sehingga kesinambungan produksi bisa terjamin. Selain itu, Indonesia sangat cocok sebagai habitat berkembangnya tanaman kelapa sawit dan juga produsen utama minyak sawit sehingga ketersediaan bahan baku akan terjamin. Pengembangan energi alternatif ini juga merupakan proses produksi yang ramah lingkungan. Sedangkan dalam segi kandungan, *palm oil*

memiliki kandungan asam lemak jenuh yang tinggi sehingga dapat menghasilkan angka setana yang tinggi.

Akan tetapi minyak kelapa sawit membutuhkan katalis untuk dapat dijadikan sebagai bahan bakar dengan menurunkan energi aktifasinya agar pembakaran lebih mudah terjadi, Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif dengan bahan dasar batok kelapa dan minyak esensial (minyak atsiri) berupa minyak kayu putih. Karbon aktif ini akan berperan sebagai katalis heterogen sedangkan minyak kayu putih sebagai katalis homogen pada pembakarannya.

Penambahan karbon aktif dari batok kelapa pada minyak kelapa sawit dapat meningkatkan nilai *burning rate*, dan penurunan nilai *ignition delay*, demensi api, serta dapat mempercepat reaksi pembakaran (Byan, 2017). Sedangkan penambahan bioaditif minyak atsiri pada bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi *thermal* serta menurunkan nilai konsumsi bahan bakar pada mesin diesel (Forson *et al*, 2004).

Berdasarkan penguraian diatas, maka butuh penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan minyak kelapa sawit tersebut sebagai bahan bakar alternatif untuk mengetahui perbandingan karakteristik pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit dengan penambahan katalis karbon aktif berupa batok kelapa dan bioaditif minyak kayu putih (minyak atsiri) yang nantinya akan mempengaruhi propertis dari minyak kelapa sawit tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana perbandingan pengaruh penambahan katalis karbon aktif berupa batok kelapa dan bioaditif minyak kayu putih pada pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit yang meliputi temperatur pembakaran, *ignition delay*, *burning rate*, dan visualisasi nyala api.

## 1.3 Batasan Masalah

Berikut merupakan batasan masalah dari penelitian ini agar pembahasan tidak meluas dan spesifik.

1. Tidak mendiskripsikan cara pembuatan dan penemuan minyak kelapa sawit, karbon aktif berupa batok kelapa dan minyak kayu putih.
2. Tekanan pada pengujian ini yaitu konstan pada tekanan 1 atm dan suhu ruangan sebesar 27°C.
3. Diameter *droplet* diasumsikan tepat memiliki diameter 1,5 mm.

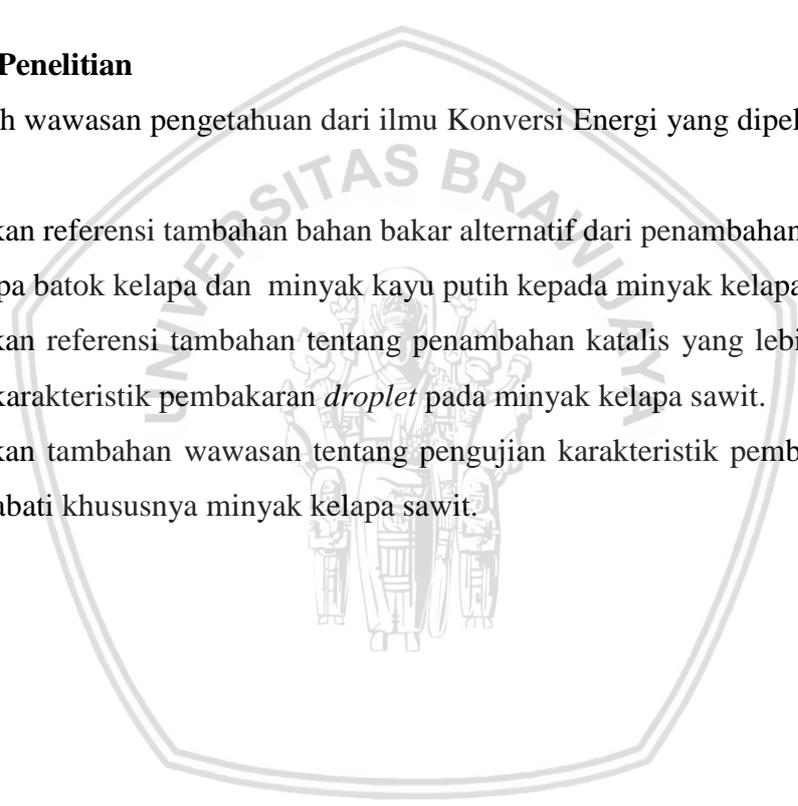
4. Karakteristik yang dialami pada pembakaran adalah *burning rate*, *ignition delay*, temperatur dari pembakaran droplet minyak kelapa sawit, dan visualisasi api (dimensi tinggi dan lebar dari api).

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh penambahan katalis karbon aktif berupa batok kelapa dan minyak kayu putih terhadap karakteristik pembakaran *droplet* yaitu *burning rate*, *ignition delay*, temperatur dari pembakaran droplet minyak kelapa sawit, dan visualisasi api (dimensi tinggi dan lebar dari api).

#### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Menambah wawasan pengetahuan dari ilmu Konversi Energi yang dipelajari di Teknik Mesin.
2. Memberikan referensi tambahan bahan bakar alternatif dari penambahan katalis karbon aktif berupa batok kelapa dan minyak kayu putih kepada minyak kelapa sawit.
3. Memberikan referensi tambahan tentang penambahan katalis yang lebih berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran *droplet* pada minyak kelapa sawit.
4. Memberikan tambahan wawasan tentang pengujian karakteristik pembakaran *droplet* minyak nabati khususnya minyak kelapa sawit.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian tentang pembakaran menggunakan katalis sudah dilakukan. Aldy (2017) melakukan Penelitian tentang pengaruh penambahan karbon aktif dengan bahan dasar sekam padi dan batok kelapa pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar, membuktikan bahwa seiring bertambahnya persentase karbon aktif membuat visualisasi dimensi api mengalami penurunan. Tetapi pada persentase 0.03% mengalami peningkatan karena mengalami *micro-expansion* diawal pembakarannya. Selain itu penambahan katalis karbon aktif menyebabkan *burning rate* meningkat, tetapi *ignition delay* mengalami penurunan.

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Byan (2017) pengaruh penambahan karbon aktif terhadap karakteristik pembakaran pada pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit, menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif batok kelapa pada minyak kelapa sawit ini dapat meningkatkan *burning rate*, dan menurunkan nilai *ignition delay*, dimensi api, serta mempercepat reaksi pembakaran. Sebaliknya penambahan karbon aktif sekam padi pada minyak kelapa sawit dapat menyebabkan turunnya nilai *burning rate* dan meningkatkan nilai *ignition delay*, dimensi api, serta dapat meningkatkan maupun memperlambat reaksi pembakaran. Hal ini dikarenakan sekam padi mengandung silika dengan sifat semi konduktor, sehingga dapat menjadi isolator dan juga dapat menjadi konduktor.

Kemudian pada penelitian lainnya tentang eksplorasi minyak atsiri sebagai bioaditif bahan bakar solar oleh Kadarohman (2009), menunjukkan bahwa penambahan minyak kayu putih sebanyak 3% menghasilkan laju konsumsi bahan bakar sebesar 253,314 ml/jam, lebih rendah dari penggunaan solar tanpa aditif yaitu 258 ml/jam. Penambahan minyak kayu putih ini dapat menurunkan laju konsumsi bahan bakar sebesar 1,82% dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar tanpa aditif.

### 2.2 Minyak Nabati

Minyak nabati adalah minyak yang diekstrak dari berbagai bagian tumbuhan. Minyak ini biasanya digunakan sebagai makanan, menggoreng, pelumas, bahan bakar, bahan pewangi (parfum), pengobatan, dan berbagai penggunaan industri lainnya. Minyak nabati berasal dari tumbuhan seperti kelapa, kedelai, kacang, jagung dan kelapa sawit. Minyak



<b>Asam linolenat</b>	Cis-9, cis-12, cis-15- oktadekatrienoat	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
<b>Asam urekat</b>	Cis-13-dokosenoat	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$

### 2.2.1 Minyak Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) merupakan tumbuhan tropis golongan plasma yang termasuk tanaman tahunan yang berasal dari negara Afrika Barat. Tanaman ini juga banyak tumbuh di Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Papua Nugini. Kelapa sawit memiliki peran yang sangat penting bagi pembangunan nasional. Hal ini dikarenakan perkebunan kelapa sawit dapat menciptakan lapangan pekerjaan bagi tenaga kerja yang lebih besar dan juga sebagai salah satu sumber devisa negara yang terbesar. Andrian Hallet adalah seseorang yang berkebangsaan Belgia yang pertama kali merintis usaha perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Budidaya tanaman ini dilakukan secara komersial pada tahun 1991.

Tanaman ini dapat menghasilkan minyak nabati berupa minyak kelapa sawit. Minyak kelapa sawit merupakan minyak nabati edibel yang didapatkan dari mesocarp buah pohon kelapa sawit. Minyak sawit biasanya digunakan untuk kebutuhan bahan pangan, industri kosmetik, industri kimia, dan industri pakan ternak. Kebutuhan minyak sawit kebanyakan digunakan untuk bahan pangan seperti minyak goreng, margarin, shortening, pengganti lemak kakao dan untuk kebutuhan industri roti, cokelat, es krim, biskuit, dan makanan ringan. Selain itu minyak kelapa sawit juga digunakan untuk industri oleokimia yang menghasilkan asam lemak, fatty alcohol, gliserol, dan metil ester serta surfaktan. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat minyak kelapa sawit yang dihasilkan dari tanaman kelapa sawit.



Gambar 2.2 Minyak kelapa sawit

Minyak sawit memiliki komposisi yang didominasi oleh trigliserida (>90%), serta asam lemak bebas sekitar 3-4% dan komponen komponen lainnya dalam jumlah kecil. Komponen komponen penyusun minyak kelapa sawit ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2  
Komponen Penyusun Minyak Kelapa Sawit

Komponen	Komposisi (%)
Trigliserida	95,62
Asam lemak bebas	4,00
Air	0,2
Phosphatida	0,07
Karoten	0,03
Aldehid	0,07

Sumber: Gunstone (1997)

Minyak sawit merupakan salah satu minyak yang memiliki kadar lemak jenuh yang tinggi, selain itu seperti minyak nabati lainnya minyak ini tidak mengandung kolesterol pada kandungannya. Minyak sawit berwujud setengah padat pada temperatur ruangan, minyak ini mengandung beberapa jenis asam lemak jenuh seperti asam laurat (0.1%), asam miristat (1%), asam stearat (4,5%), dan asam palmitat (44,2%). Selain itu minyak kelapa sawit juga mengandung asam lemak tak jenuh dalam bentuk asam oleat (39,3%), asam linoleat (9,6%), dan asam alfa linoleat (0,3%) (Wardana, 2008). Komposisi kandungan minyak kelapa sawit dapat dilihat dari Tabel 2.3.

Tabel 2.3  
Komposisi Kandungan Asam Lemak Pada Minyak Kelapa Sawit

Asam Lemak	Minyak Kelapa Sawit (%)
Lauric (12:0)	0,1
Myristic (14:0)	1
Palmitic (16:0)	44,2
Stearic (18:0)	4,5
Oleic (18:1)	39,3
Linoleic (18:2)	9,6
Linolenic (18:3)	0,3
Lainnya	1

Sumber: Wardana (2008)

Minyak kelapa sawit bersifat semi solid, dikarenakan minyak kelapa sawit memiliki titik leleh yang cukup tinggi yaitu 25°C-50°C. Hal ini juga dikarenakan oleh viskositas kelapa sawit yang cukup tinggi dibanding minyak nabati lainnya, yaitu sekitar 5,15 cSt. Sedangkan densitas pada minyak kelapa sebesar 0,842 g/ml pada suhu ruang. Suhu dapat mempengaruhi nilai densitas minyak kelapa sawit, dimana jika suhu semakin tinggi maka nilai densitas minyak akan menurun (Wulandari *et al.*, 2011). Minyak kelapa sawit tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut nonpolar seperti dietil eter, benzena, kloroform dan heksana. Tabel 2.4 merupakan tabel sifat fisik pada minyak kelapa sawit.

Tabel 2.4  
Sifat Fisik Beberapa Jenis Minyak Nabati

Sifat Fisik	Minyak Sawit
Densitas (gr/ml)	0,842
Viskositas (cSt)	5,15
Titik nyala (°C)	179
Titik leleh (°C)	12
Titik kabut (°C)	18

Sumber: Wardana (2008)

Pada penelitian ini penulis memilih minyak kelapa sawit sebagai minyak nabati utama yang digunakan. Hal ini dikarenakan minyak kelapa sawit banyak didominasi asam lemak jenuh terutama asam palmitat (44,2%). Kandungan asam lemak jenuh yang tinggi ini akan menghasilkan nilai angka setana yang tinggi. Selain itu minyak kelapa sawit mengandung asam lemak tak jenuh yang paling sedikit setelah minyak kelapa (Wardana, 2008).

Semakin banyak jumlah komponen asam lemak tak jenuh yang terkandung dalam minyak akan memperlama proses pemecahan semprotan bahan bakar menjadi butiran-butiran *droplet* dan proses penguapan. Sehingga, semakin banyak kandungan asam lemak tak jenuh dalam minyak, maka akan memperlambat proses pelepasan energi panas. Sedangkan disisi lain ketersediaan akan bahan baku minyak kelapa sawit akan lebih terjamin, dikarenakan Indonesia sangat cocok sebagai habitat berkembangnya tanaman kelapa sawit ini.

### 2.3 Pembakaran

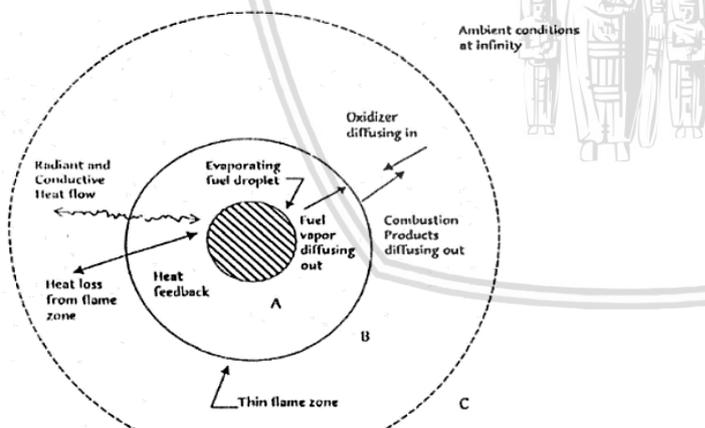
Pembakaran adalah proses reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Proses pembakaran dapat berlangsung jika ada bahan bakar, pengoksidasi (oksigen atau udara), dan panas atau energi aktivitas. Panas atau energi digunakan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar yang biasa disebut dengan energi aktivasi (Wardana, 2008). Pada umumnya terdapat 2 macam pembakaran, yaitu *premixe* dan pembakaran difusi.

Pembakaran *premixe* merupakan pembakaran yang terjadi antara bahan bakar dan udara yang sudah tercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadinya pembakaran, sedangkan pembakaran difusi adalah proses pembakaran bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak di campur secara mekanik, melainkan di biarkan bercampur secara alami melalui proses difusi sebelum terjadi pembakaran (Wardana, 2008).

### 2.3.1 Pembakaran *Droplet*

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara tidak dicampur lebih dulu secara mekanik melainkan bercampur sendiri secara alami dengan proses difusi dalam proses pembakaran (Wardana, 2008). Pembakaran dapat lebih efektif jika diubah dalam bentuk *droplet*. Maka pembakaran pada campuran minyak kelapa sawit dan katalis karbon aktif ini dilakukan dengan mengubah bentuk fisik dari campuran tersebut menjadi *droplet*. Ukuran *droplet* berkisar antara  $10^{-2}$  cm sampai sekitar 1 cm. Bahan bakar cair dari pembakaran diubah menjadi kumpulan *droplet* (*spray*). Pembakaran ini sendiri 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 *droplet*.

Pencampuran antara bahan bakar dengan oksidator dilakukan setelah *droplet* terbakar atau disebut juga pembakaran difusi. Kemudian *droplet* dipanaskan maka terjadi penguapan yang mengakibatkan uap dari bahan bakar berdifusi dengan oksidator menuju *flame front*. Sehingga api akan terbentuk pada jarak tertentu dari permukaan *droplet*. Api akan berbentuk lingkaran jika dalam kondisi gravitasi rendah karena tidak adanya gaya apung. Akan tetapi api akan berbentuk memanjang keatas pada kondisi gravitasi normal karena efek dari konveksi alamiah, ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Model api difusi pada pembakaran *droplet*

Sumber: Alam (2013)

Energi yang dibutuhkan untuk menguapkan *droplet* dapat dilihat pada persamaan:

$$Q = \Delta h_v + C_{hf} (T_s - T_0) \quad (2-1)$$

Sumber: Kuo (2005:571)

Keterangan:

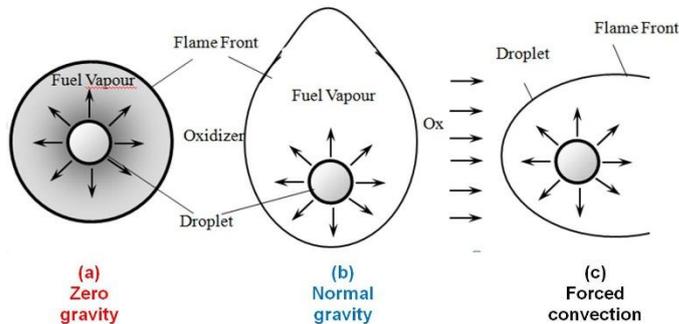
$Q$  = Energi penguapan total (kj/kg)

$C_{hf}$  = Kalor jenis bahan bakar (kj/kg<sup>o</sup>C)

$T_0$  = Temperatur awal *droplet* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_s$  = Temperatur permukaan *droplet* ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta h_v$  = Kalor laten penguapan (kj/kg)



Gambar 2.4 Model nyala api *droplet*  
Sumber: Mishra (2014)

### 2.3.2 Karakteristik Pembakaran

Karakteristik pembakaran yang diamati dalam penelitian ini adalah:

#### 1. *Ignition delay*

Pada pembakaran *droplet*, *ignition delay* yang dimaksud adalah waktu jeda antara bahan bakar mulai dipanaskan, hingga bahan bakar tersebut mulai terbakar ditunjukkan oleh adanya nyala api. Semakin lama waktu *ignition delay* maka bahan bakar akan semakin sulit terbakar.

#### 2. Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran adalah temperatur tertinggi yang nantinya diukur pada pusat *droplet* saat pembakaran berlangsung. Temperatur pembakaran dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar itu sendiri. Nilai kalor adalah jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut.

#### 3. *Burning rate*

*Burning rate* adalah kecepatan suatu bahan bakar untuk terbakar hingga bahan bakar tersebut habis terbakar (Quintiere, 1997). *Burning rate* sangat penting bagi pembakaran karena waktu tinggal *droplet* bahan bakar harus lebih lama dari pada lama waktu *droplet* terbesar pada ruang bakar hingga habis terbakar (Mishra, 2014).

#### 4. Visualisasi Nyala Api

Dimensi api berperan dalam penentuan secara kasat mata apakah pembakaran yang terjadi nanti merupakan pembakaran dengan reaksi yang cepat atau lambat. Apabila reaksi bahan bakar untuk terbakar semakin cepat, maka dimensi api akan semakin kecil

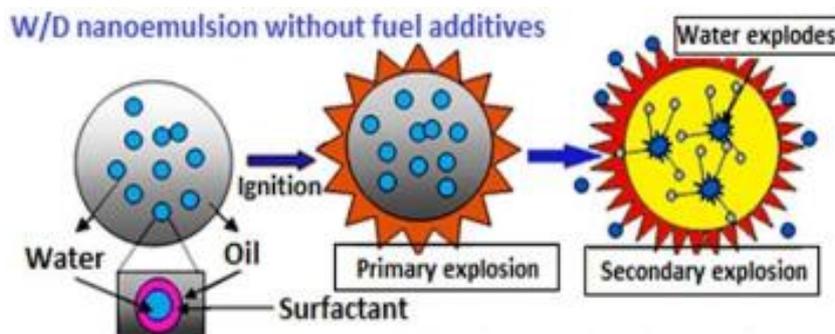
dan begitu juga sebaliknya, jika reaksi pembakaran lambat, maka api cenderung semakin lebar dan panjang. Hal tersebut dikarenakan semakin lama reaksi pembakaran maka semakin lama pula waktu yang diperlukan oleh bahan bakar untuk beroksidasi dan terbakar.

## 2.4 *Microexplosion*

*Microexplosion* adalah suatu fenomena ledakan yang timbul dari hasil proses pembakaran akibat campuran dua atau lebih bahan bakar yang memiliki titik didih yang berbeda. Penyebab lain terjadi *microexplosion* adalah perbedaan karakteristik dan adanya udara yang masuk ke dalam bahan bakar saat proses pembakaran.

Perbedaan titik didih bahan bakar yang berbeda bukan hanya salah satu faktor terjadinya *microexplosion*, perbedaan dari karakteristik penguapan minyak (*volatil* dan *nonvolatil*) juga berperan penting dalam menjelaskan terjadinya *microexplosion* (Lasheras et al.) selain itu komposisi campuran juga menjadi faktor terjadinya *microexplosion*, *microexplosion* dapat terjadi pada campuran bahan bakar *droplet* karena adanya kemungkinan udara yang masuk ke dalam *droplet* pada saat pembentukan *droplet* (Wang, et al., 2012).

Proses terjadinya *microexplosion* diawali dengan menguapnya bahan bakar yang memiliki titik didih yang lebih rendah dari bahan bakar utama sehingga akan menguap terlebih dahulu di dalam *droplet*. Ketika *droplet* terus dipanaskan, *droplet* akan mengalami penurunan nilai densitas yang mengakibatkan tegangan permukaan *droplet* akan semakin turun. Ketika *droplet* tidak dapat menahan tekanan gas dari dalamnya, maka *droplet* akan mudah pecah dan menimbulkan *microexplosion*. Terjadinya *microexplosion* dapat meningkatkan kecepatan pembakaran dari *droplet* sehingga bahan bakar akan lebih cepat habis terbakar. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat tahapan *microexplosion* pada pembakaran.



Gambar 2.5 Tahapan *microexplosion*  
Sumber: Rajwinder, et al., (2016)

## 2.5 Elektronegatifitas

Keelektronegatifan adalah suatu kemampuan suatu atom menarik elektron dalam ikatan kimia. Keelektronegatifan berbanding lurus dengan afinitas elektron (cenderung menarik elektron dengan mudah) dan energi ionisasi (tidak mudah melepaskan elektron) (Chang, 2006, p.267). Jadi semakin besar keelektronegatifan suatu atom maka nilai afinitas elektron dan energi ionisasinya juga semakin meningkat. Pada Gambar 2.6 ditunjukkan besar keelektronegatifan suatu atom.

IA												VIIIA					
1	2											5	6	7	8	9	10
H	He											B	C	N	O	F	Ne
2,1	-											2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	-
IIA												III A	IV A	V A	VIA	VII A	
3	4											13	14	15	16	17	18
Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
1,0	1,5											1,5	1,8	2,1	2,5	3,0	-
		VIII B															
11	12	III B	IV B	V B	VIB	VII B				IB	IIB						
Na	Mg	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0,9	1,2	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
		1,3	1,5	1,6	1,6	1,5	1,8	1,8	1,8	1,9	1,6	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	-
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,2	2,2	2,2	1,9	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,5	-
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,2	2,2	2,4	1,9	1,8	1,8	1,9	2,0	2,2	-
87	88	89															
Fr	Ra	Ac															
0,7	0,9	1,1															

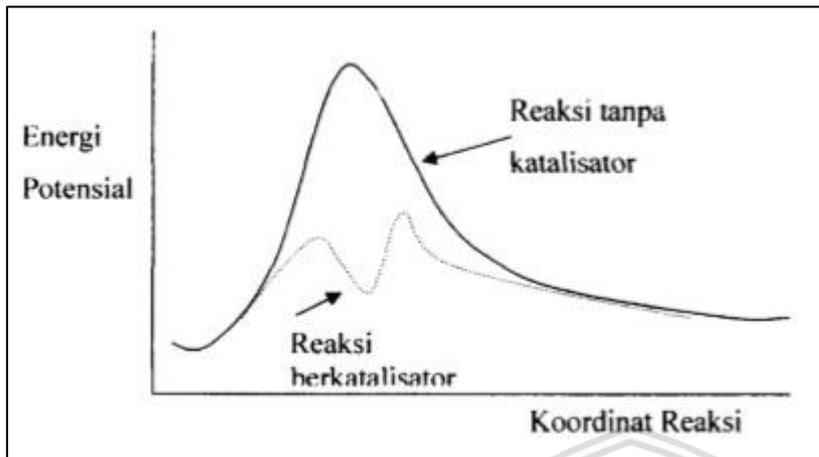
Gambar 2.6 Tabel elektronegatifan unsur  
Sumber: Chang (2006)

Besar nilai elektronegatifan dijelaskan pada gambar tabel elektronegatifitas pada tabel periodik unsur dimana nilainya semakin kekanan dalam satu periode akan semakin besar dan semakin turun dalam satu golongan nilainya akan semakin kecil.

## 2.6 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tetapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Suatu katalis berperan dalam peningkatan laju reaksi dengan menurunkan energi aktivasi pada suatu reaksi (Widjajanti, 2008). Katalis mempercepat laju reaksi disebabkan karena kemampuannya mengadakan interaksi paling sedikit satu molekul reaktan untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif. Interaksi ini akan dapat meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan, meningkatkan konsentrasi akibat lokalisasi reaktan, sehingga meningkatkan jumlah tumbukan dan membuka alur reaksi dengan energi aktivasi yang lebih rendah (Gates, 1992). Hal ini dapat

dilihat pada diagram perbandingan penurunan energi aktivasi dengan penambahan katalis, seperti yang ditunjukkan pada gambar ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Diagram perbandingan energi aktivasi pada penambahan katalis dan tanpa katalis  
Sumber: Widjajanti (2005)

Katalis dibedakan menjadi 2 jenis yaitu, katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa sama dengan fasa zat-zat pereaksi. Sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fasa berbeda dengan zat-zat pereaksinya.

### 2.6.1 Karbon Aktif

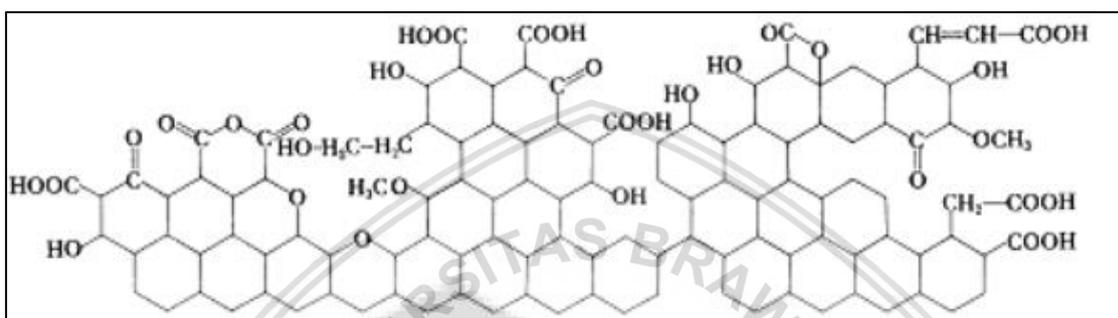
Karbon aktif adalah suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi sekitar  $600^{\circ}\text{C}$  –  $900^{\circ}\text{C}$ . Karbon aktif juga merupakan suatu bahan padat yang berpori dan hasil pembakaran dari bahan yang mengandung karbon melalui proses pirolisis. Sebagian dari pori-porinya masih tertutup hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat (fixed carbon), abu, air, nitrogen, dan sulfur.

Karbon aktif adalah senyawa karbon yang di tingkatkan daya absorsinya dengan proses aktivasi. Proses aktivasi merupakan proses untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang melapisi permukaan arang sehingga dapat meningkatkan porositas karbon aktif. Pada proses aktivasi tersebut terjadi penghilangan gas -gas, hidrogen dan air dari permukaan karbon sehingga karbon mengalami perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi ini dapat terjadi karena terbentuk gugus aktif karena adanya radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti hidrogen dan oksigen. Gugus fungsi ini yang menyebabkan karbon aktif reaktif secara kimia dan dapat mempengaruhi sifat absorsinya (Murti, 2008).

Pada proses aktivasi juga terbentuk struktur pori - pori baru yang semakin membesar dikarenakan adanya pengikisan atom karbon melalui proses oksida (Murti, 2008). Dengan semakin besar pori - pori yang terbentuk dari karbon aktif, maka daya absorsinya semakin

besar. Karbon aktif terdiri dari 87% - 97% karbon dan sisanya berupa hidrogen, nitrogen, sulfur, oksigen serta senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatannya. Volume karbon aktif biasanya  $0,2 \text{ cm}^3/\text{gram}$  sampai  $1 \text{ cm}^3/\text{gram}$ . Sedangkan luas permukaan yang dimiliki karbon aktif  $300 \text{ m}^2/\text{gram}$  sampai  $3000 \text{ m}^2/\text{gram}$ , karbon aktif yang baik harus memiliki luas permukaan yang besar sehingga daya absorsinya juga semakin besar (Sudibandryo, 2013).

Sedangkan Ilustrasi struktur kimia karbon aktif dapat di lihat pada Gambar 2.8. dibawah ini, yang menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki struktur ikatan kimia heksagonal dan berbentuk cincin dengan ikatan enam buah atom karbon.



Gambar 2.8 Struktur kimia karbon aktif  
Sumber: Sudibandryo (2013)

Kualitas arang aktif ditunjukkan dengan nilai daya serap Iod berdasarkan ketentuan dari SNI 06-3730-1995, arang aktif dinilai berkualitas ketika nilai daya serap Iodnya mendekati  $750 \text{ mg/g}$ . Meskipun prosedur aktivasi digunakan terutama menentukan sifat kimia dari oksida permukaan dan luas permukaan produk yang dihasilkan, struktur pori-pori dan distribusi ukuran pori sebagian besar ditentukan oleh sifat dari bahan awal. Komposisi unsur karbon aktif yang dihasilkan dari bahan awal alami biasanya terdiri dari 85-90% C, 0,5% H, 0,5% N, 5% O, 1% S, dan keseimbangan 5-6% mewakili anorganik (abu) konstituen (Rizki Amelia, 2013).

Bahan baku untuk pembuatan karbon aktif meliputi sejumlah bahan karbon, terutama kayu, gambut, batubara coklat, batubara bitumen, lignit, batok kelapa, almond kerang, lubang dari persik dan buah-buahan lainnya, residu minyak bumi berbasis, residu pabrik pulp, dan resin pertukaran ion. (Rizki Amelia, 2013)

## 2.6.2 Karbon Aktif dari Batok Kelapa

Salah satu bahan baku dari karbon aktif adalah batok kelapa (tempurung kelapa). Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia utama berupa selulosa (34%), hemiselulosa (21%) dan lignin (27%). Sedangkan komposisi unsur dari tempurung kelapa terdiri dari

74.3% C, 21.9% O, 0.2% Si, 1.4% K, 0.5% S dan 1.7% P. (Budi et al,2012). Komposisi kima dan komposisi unsur dari tempurung kelapa ini dapat dilihat lebih jelas pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5

## Kandungan Komposisi Kimia dan Komposisi Unsur Tempurung Kelapa

Komposisi Kimia	Komposisi Unsur
Selulosa (34%)	74.3 %C
Hemiselulosa (21%)	21.9 % O
Lignin (27%)	0.2 % Si
	1.4 % K
	0.5 % S
	1.7 % P

Pembuatan arang tempurung kelapa dilakukan melalui proses pemanasan pirolisis tempurung kelapa didalam tungku pemanas (kiln) selama kurang lebih 6 jam pada suhu berkisar antara 70°C–150°C. Proses ini juga disebut sebagai proses karbonisasi yang bertujuan untuk pembentukan kandungan karbon dan menghilangkan atau mengurangi kandungan tar pada arang. Setelah proses pirolisis selesai yang ditandai dengan habisnya bahan tar yang menguap, arang tempurung ditiriskan (didinginkan), kemudian digiling sebanyak dua kali untuk membentuk serbuk arang tempurung kelapa dengan ukuran partikel dalam skala mikrometer. Satu kali penggilingan akan menghasilkan serbuk kasar sedangkan dua kali penggilingan akan menghasilkan serbuk halus.

Selain untuk pembentukan kandungan karbon dan menghilangkan kandungan tar, proses karbonisasi juga bertujuan untuk menghilangkan unsur-unsur bukan karbon seperti hidrogen (H) dan oksigen (O). Sedangkan proses aktivasi bertujuan untuk membentuk pori-pori didalam bahan melalui perpindahan unsur-unsur karbon (C) di dalam bahan tersebut yang dapat dilakukan melalui proses secara kimia maupun fisika. Aktivasi secara kimia dilakukan menggunakan larutan kimia sebagai agen aktivasi atau dehidrasi seperti  $H_3PO_4$ ,  $ZnCl_2$ ,  $K_2CO_3$ , NaOH dan KOH. Sedangkan aktivasi secara fisika dilakukan dengan menggunakan uap air,  $CO_2$  atau pun campuran keduanya (Budi et al, 2012).

Perubahan tempurung kelapa menjadi arang dapat menghasilkan kandungan karbon yang lebih tinggi dengan sedikit kenaikan prosentasi kandungan abu, menghilangkan kandungan moisture serta pengurangan kandungan volatile. Jika dibandingkan dengan arang bahan baku alami lainnya seperti arang tongkol jagung, sekam padi dan tempurung buah coklat, arang dari bahan baku tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi sehingga berpotensi sebagai sumber karbon aktif. Kandungan dari komponen komponen penyusun tempurung kelapa dan arangnya dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6

Perbandingan Perubahan Komponen dan Kandungan Bahan Tempurung Kelapa dan Arang Tempurung Kelapa

Bahan	Komponen	Kandungan
Tempurung Kelapa	<i>Moisture</i>	10.46
	<i>Volatile</i>	67.67
	<i>Karbon</i>	18.29
	<i>Abu</i>	3.58
Arang tempurung kelapa	<i>Volatile</i>	10.60
	<i>Karbon</i>	76.32
	<i>Abu</i>	13.08

Sumber: Budi (2012)

## 2.7 Minyak Atsiri

Minyak atsiri, atau biasa dikenal sebagai minyak eterik (*aetheric oil*), minyak esensial (*essential oil*), atau serta minyak aromatik (*aromatic oil*) adalah kelompok besar minyak nabati yang berbentuk cairan kental pada suhu ruang namun mudah menguap sehingga memberikan aroma yang khas. Minyak atsiri merupakan bahan dasar dari pembuatan wangi-wangian atau minyak gosok (untuk pengobatan) alami. Minyak atsiri pada umumnya berbentuk cair dan diperoleh dari mengekstrak bagian tanaman seperti akar, kulit, batang, daun, buah dan biji.

Minyak atsiri ini bisa dijadikan sebagai bahan bioaditif karena memiliki karakteristik yang menyerupai atau mendekati bahan bakar minyak, seperti mudah menguap (karena titik uap yang rendah), berat jenisnya rendah, dan tersusun dari senyawa-senyawa organik hidrokarbon spesifik. Minyak atsiri umumnya larut dalam pelarut organik seperti alkohol, eter, petroleum, benzene, dan tidak larut dalam air. Sedangkan pada komponen oksigen yang terkandung dalam struktur kimia minyak atsiri ini diharapkan dapat menyempurnakan reaksi pada pembakaran.

### 2.7.1 Bioaditif Minyak Kayu Putih

Salah satu minyak atsiri yang dapat digunakan sebagai bioaditif adalah minyak kayu putih. *Melaleuca leucadendron linn.* atau biasa disebut tanaman kayu putih merupakan salah satu tanaman penghasil minyak atsiri yang penting bagi industri minyak atsiri di Indonesia. Tanaman kayu putih juga merupakan salah satu tanaman hutan yang berpotensi untuk dikembangkan. Kayu putih termasuk tanaman penghasil produk hasil hutan dalam bentuk bukan kayu sehingga memiliki prospek cukup baik untuk dikembangkan. Sedangkan potensi tanaman kayu putih di Indonesia sangat besar mulai dari daerah Maluku, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Tenggara, Bali dan Papua yang berupa hutan alam kayu putih, selanjutnya

di daerah lain seperti Jawa Timur, Jawa Tengah dan Jawa Barat merupakan hutan tanaman kayu putih (Mulyadi, 2005).

Produk utama yang dihasilkan dari tanaman kayu putih ini adalah minyak kayu putih (*cajuput oil*) yang diperoleh dari hasil penyulingan daun dan ranting kayu putih. Minyak kayu putih merupakan salah satu jenis minyak atsiri yang banyak digunakan untuk bahan berbagai produk kesehatan atau farmasi sehingga minyak kayu putih menjadi produk yang banyak dicari. Kebutuhan minyak kayu putih saat ini semakin meningkat dengan semakin berkembangnya variasi dari pemanfaatan minyak kayu putih tersebut. Selain itu minyak kayu putih juga dapat dimanfaatkan sebagai bioadiktif dalam proses pembakaran.

Tabel 2.7

Komposisi Kandungan Kimia Kayu Putih (*Melaleuca Leucacendra*)

Nama Komponen Kimia	Kadar (%)
$\alpha$ -pinene	37,05
1,8-cineole	55,80
$\beta$ -pinene	0,15
Camphene	0,43
1-metil-4-isopropil Benzene	0,29
1-methyl-4-(1-methylethylidene) cylohexene	0,25
3-oxatricyclo	0,49
3-cyclohexene-1-methanol	2,06
$\alpha$ -terpinil asetat	2,85
Trans-2-dodecana	0,63

Sumber: Imelda (2018)

Minyak kayu putih diisolasi dari daun dan ranting pohon kayu putih (*Melaleuca leucacendra*). Minyak kayu putih biasanya berwarna kekuningan atau kehijauan jernih, khas, berbau harum, dan berasa sedikit pahit. Senyawa hidrokarbon rantai terbuka pada minyak kayu putih ini dapat menurunkan ikatan antar molekul penyusun bahan bakar (minyak kelapa sawit), sehingga proses pembakaran akan lebih efektif. Secara kimiawi kandungan didalam ekstrak *Melaleuca leucacendra* adalah 55%-65% sineol (C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O) dan juga bentuk alkohol dari terpineol (C<sub>10</sub>H<sub>17</sub>OH), beberapa jenis terpen 1-pinena, valerat dan benzoat aldehyd.

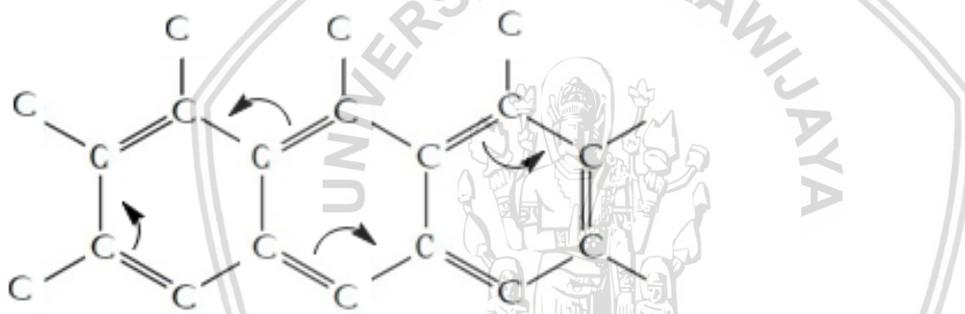
Pada kandungan minyak kayu putih terdapat senyawa sineol sebanyak 55%-65% yang merupakan kandungan dominan pada minyak tersebut. Senyawa sineol ini lah yang nantinya akan menghasilkansensasi hangat pada bagian kulit ketika deoleskan. Senyawa hidrokarbon dalam minyak atsiri (minyak kayu putih dapat berperan penting dalam menyempunakan pembakaran. Hidrokarbon aromatik (olefin) yaitu seri hidokarbon dengan satu ikatan rangkap, memiliki sifat anti *knock* yang baik karena termasuk senyawa siklik yang memiliki enam atom karbon yang saling mengikat satu atom hidrogen.

## 2.8 Kerangka Konsep Berfikir

### 2.8.1 Penambahan Karbon Aktif

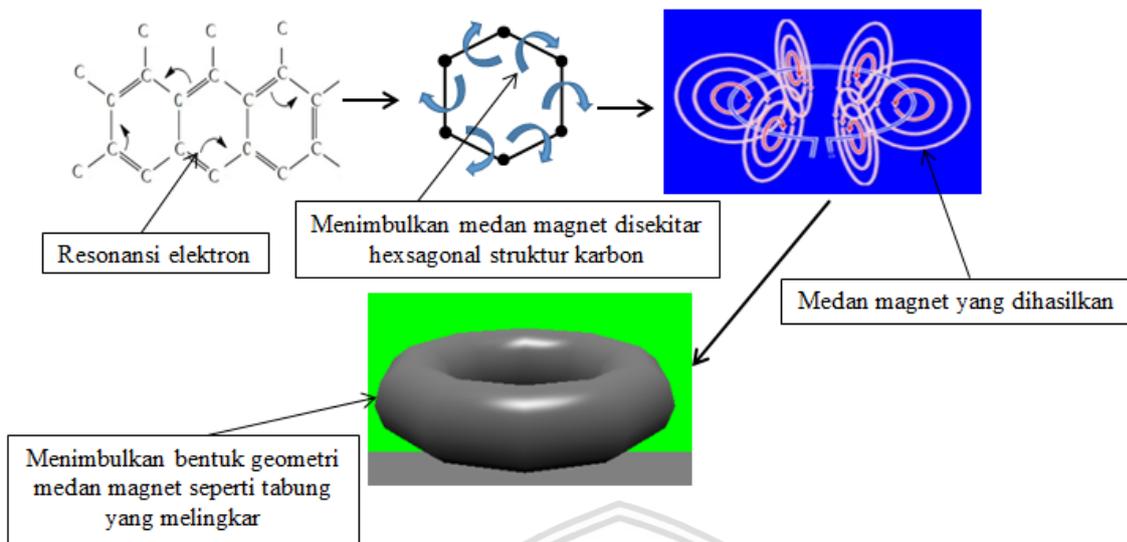
Pada penelitian ini digunakan senyawa karbon aktif sebagai zat tambahan dan katalis yang diharapkan mampu meningkatkan karakteristik pembakaran minyak nabati (minyak kelapa sawit) sebagai bahan bakar. Karbon aktif tersusun dari grafit yang berbentuk tumpukan lembaran-lembaran *graphene* yang berlubang-lubang. *Graphene* adalah alotrop karbon yang berbentuk heksagonal dengan ketebalan hanya satu atom. *Graphene* ini memiliki sifat yang dapat memperbaiki struktur sprainya sendiri apabila terkena molekul yang mengandung karbon seperti hidrokarbon (Konstantine N, 2012).

Karbon aktif memiliki ikatan rangkap yang bersifat tidak terlokalisasi (posisinya akan selalu berpindah dari satu posisi ke posisi lain). Hal ini dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2.9.



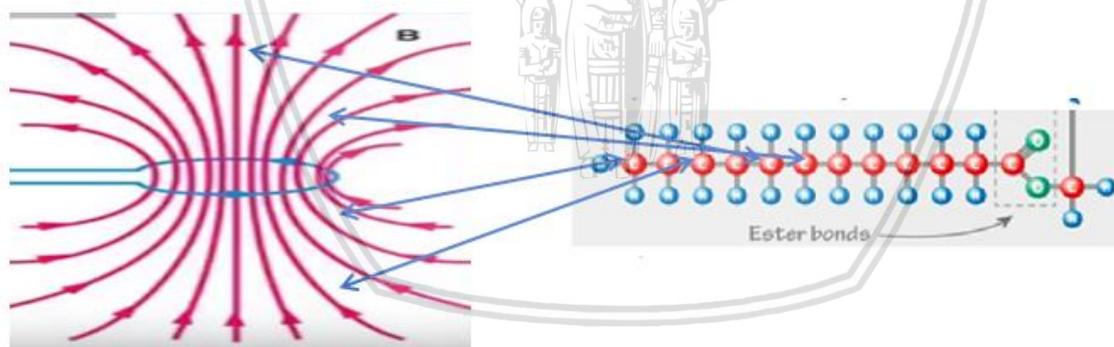
Gambar 2.9 Gerakan ikatan rangkap pada karbon aktif

Fenomena berpindahnya ikatan rangkap ini terjadi karena elektron pada ikatan rangkap terus menerus berpindah menuju ikatan tunggal. Gerakan perpindahan terus ini membentuk suatu lompatan elektron (resonansi elektron) sehingga akan menimbulkan medan magnet lemah yang dapat menarik atom karbon untuk memperbaiki cacat pada strukturnya sendiri. Kecacatan pada pori-pori *grapheme* ini dapat diketahui dengan melihat dimensi dari pori-pori *grapheme* tersebut. Pori-pori normal pada *grapheme* biasanya berukuran 0,7 nm, sedangkan pori-pori pada karbon aktif dapat mencapai 2 nm. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Ilustrasi skema medan magnet pada karbon aktif

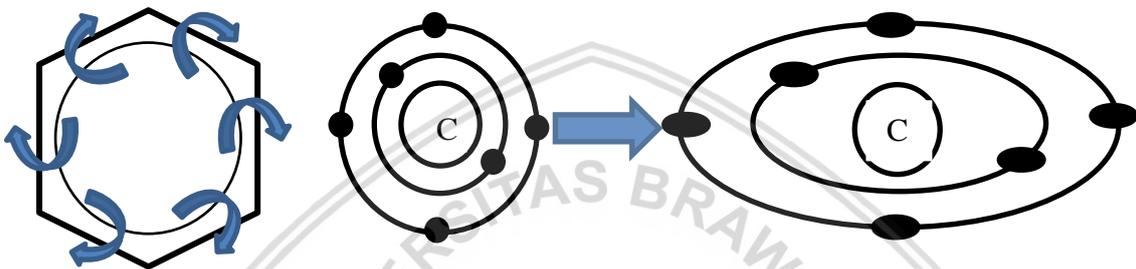
Sedangkan pada minyak kelapa sawit memiliki asam lemak yang tersusun dari mekul molekuler *hidrocarbon*, maka *graphene* akan mengikat atom karbon pada minyak kelapa sawit untuk memperbaiki lapisan yang cacat pada *graphene* nya. Hal ini dilakukan dengan memanfaatkan medan magnet yang timbul dari resonansi elektron struktur hexagonal karbon aktif tersebut. Kontak medan magnet dengan asam lemak ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kontak medan magnet karbon aktif dengan asam lemak

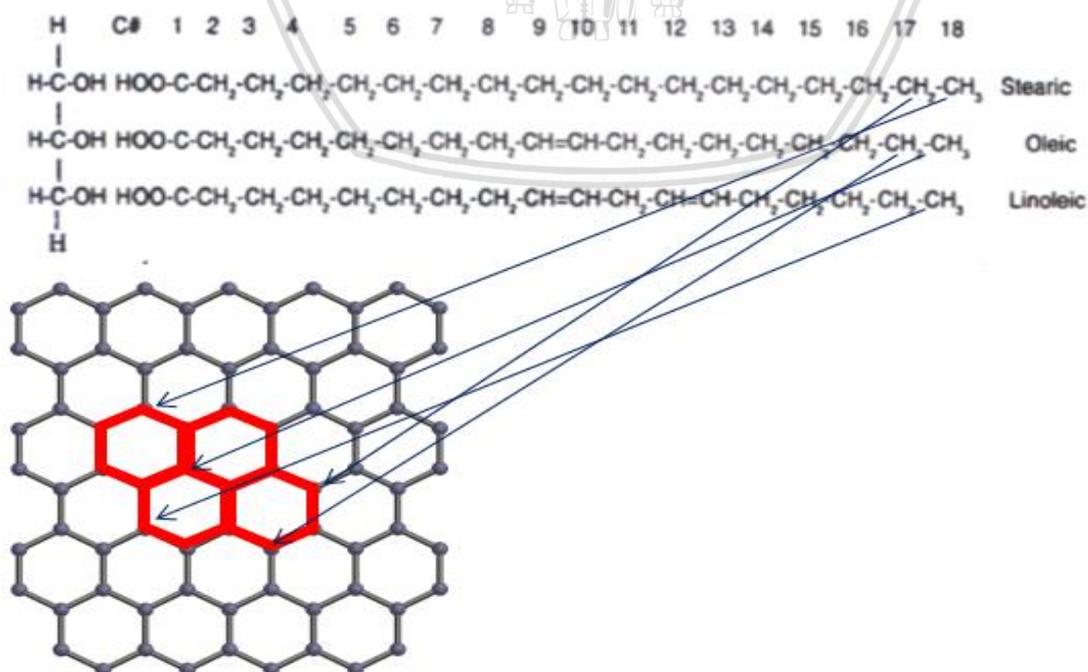
Karbon pada pori aktif mampu memperbaiki spre *graphene* yang mengalami kerusakan dengan mengikat atom karbon dari senyawa lain dengan memanfaatkan medan magnet lemah dari resonansi elektron struktur karon aktif, sehingga memicu atom karbon pada trigliserida minyak kelapa sawit untuk terurai. Reaksi pada *trigliserida* ini terjadi karena medan magnet dari karbon aktif menarik karbon yang terletak jauh dari kutub trigliserida. Hal ini diakibatkan karena semakin jauh posisi karbon dari kutub maka gaya *van der wall*nya semakin rendah sehingga daya tarik menariknya semakin melemah. Akibatnya reaksi karbon yang akan ditarik oleh medan magnet dari karbon aktif akan lebih mudah terjadi.

Adanya gaya elektromagnetik yang ditimbulkan oleh resonansi elektron ini akan menyebabkan lintasan elektron atom karbon pada *trigliserida* menjadi terganggu sehingga berbentuk lonjong (berbentuk seperti elips). Bentuk lonjong pada lintasan elektron ini akan menyebabkan atom karbon menjadi bermuatan yang bersifat temporer, terkadang bermuatan positif dan terkadang bermuatan negatif. hal ini dapat kita ilustrasikan pada gambar 2.11. Muatan karbon yang bersifat temporer ini disebabkan oleh lintasan elektron pada atom karbon memiliki jarak yang tidak tetap terhadap inti atomnya. Perbedaan muatan inilah yang menyebabkan atom karbon pada *trigliserida* dapat ditarik oleh atom karbon pada karbon aktif.



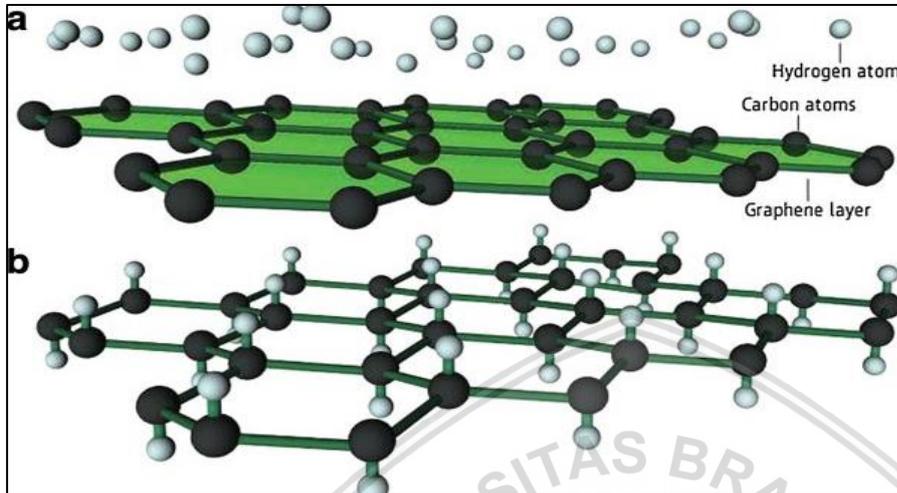
Gambar 2.12 Lintasan elektron atom karbon yang terganggu oleh medan magnet

*Graphene* pada karbon aktif ini akan mendapatkan atom karbon dari trigliserida yang mengakibatkan beberapa atom hidrogen menjadi radikal bebas. Molekul-molekul bebas bermuatan ini menjadi aktif dan sangat mudah bereaksi karena perbedaan potensial yang dimiliki. Gambar 2.13 merupakan ilustrasi pengikatan atom karbon oleh *graphene* pada *trigliserida*.



Gambar 2.13 Ilustrasi pengikatan atom karbon oleh *graphene* pada *trigliserida*

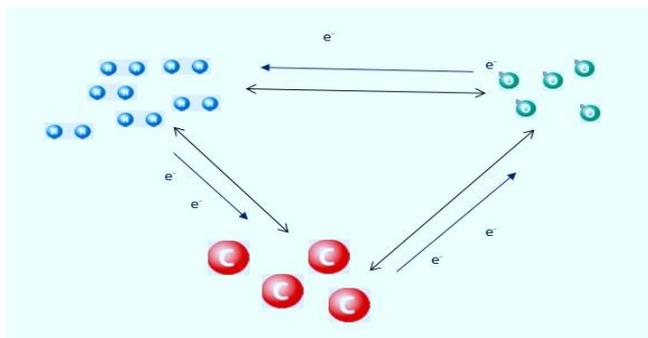
Sebagian atom hidrogen bebas ini akan berikatan dengan atom karbon pada *graphene* dan membentuk suatu alotrop yang disebut *graphane*, dan sebagian lainnya tetap menjadi radikal bebas. Atom hidrogen yang berikatan dengan atom karbon pada *graphene* memunculkan sifat magnetik pada molekul *graphane* (Os. Jorge, 2016).



Gambar 2.14 Ikatan hidrogen pada *graphane*  
Sumber: Os. Jorge (2016)

Sifat magnetik yang terbentuk dari karbon aktif ini akan mengakibatkan elektron-elektron trigliserida keluar dari orbitnya, sehingga ikatan kimia pada trigliserida menjadi lebih lemah. Elektron pada molekul asam lemak akan ditarik oleh atom karbon pada karbon aktif, hal ini dikarenakan karbon memiliki keelektronegatifan lebih tinggi dibandingkan atom hidrogen pada asam lemak. Kemudian elektron pada karbon aktif akan berpindah menuju oksigen karena keelektronegatifan oksigen lebih tinggi dibandingkan karbon. Peristiwa ini menyebabkan penguraian atau proses aktivasi molekul-molekul asam lemak dan gliserol menjadi lebih mudah.

Setelah terurainya molekul pada minyak kelapa sawit, terjadilah proses oksidasi antara atom atau molekul yang telah bermuatan dengan oksidator. Perbedaan muatan antara atom hidrogen yang bermuatan positif (yang ada pada molekul minyak kelapa sawit) dan oksigen (oksidator) yang bermuatan negatif akan menyebabkan reaksi tarik menarik antara keduanya. Hal ini menyebabkan terjadinya tumbukan antara molekul minyak kelapa sawit dan oksigen yang terjadi secara masif sehingga menyebabkan energi aktivasinya menurun. energi aktivasi yang menurun ini akan menyebabkan kecepatan pembakarannya menjadi meningkat. Proses oksidasi ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.15.

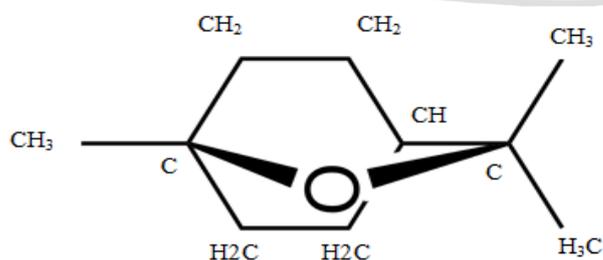


Gambar 2.15 Proses oksidasi molekul bebas minyak kelapa sawit

### 2.8.2 Penambahan Bioaditif Minyak Kayu Putih

Bahan aditif tidak merubah karakteristik fisika kimia dari bahan bakar minyak, seperti berat jenis, titik nyala, titik didih, kekentalan dan kandungan sulfur, tetapi zat aditif ini memiliki kemampuan untuk menyempurnakan pembakaran sehingga dapat menghemat pemakaian bahan bakarnya. Selain itu dapat juga mengurangi residu pengotor pada mesin serta mampu mengurangi kadar gas buang seperti CO, CO<sub>2</sub> dan HC. Bioaditif minyak kayu putih adalah salah satu contohnya.

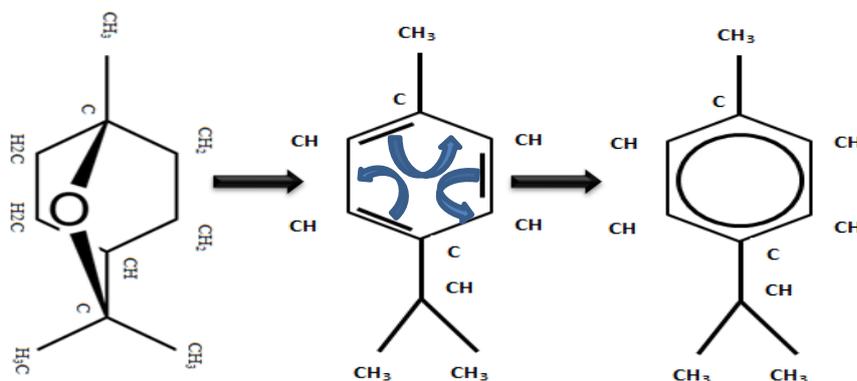
Minyak kayu putih dapat dijadikan bioaditif karena dapat larut dalam bahan bakar, dan dari hasil analisis terhadap komponen penyusunnya banyak mengandung oksigen, sehingga diharapkan dapat meningkatkan pembakaran pada bahan bakar. Pada senyawa senyawa penyusun minyak kayu putih terdapat hidrokarbon rantai terbuka dan juga hidrokarbon aromatik. Secara kimiawi kandungan didalam ekstrak *Melaleuca leucacandra* adalah 65-75% sineol (C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O) dan juga bentuk alkohol dari terpineol (C<sub>10</sub>H<sub>17</sub>OH), beberapa jenis terpen 1-pinena, valerat dan benzoat aldehyd. Struktur kimia sineol dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Struktur sineol

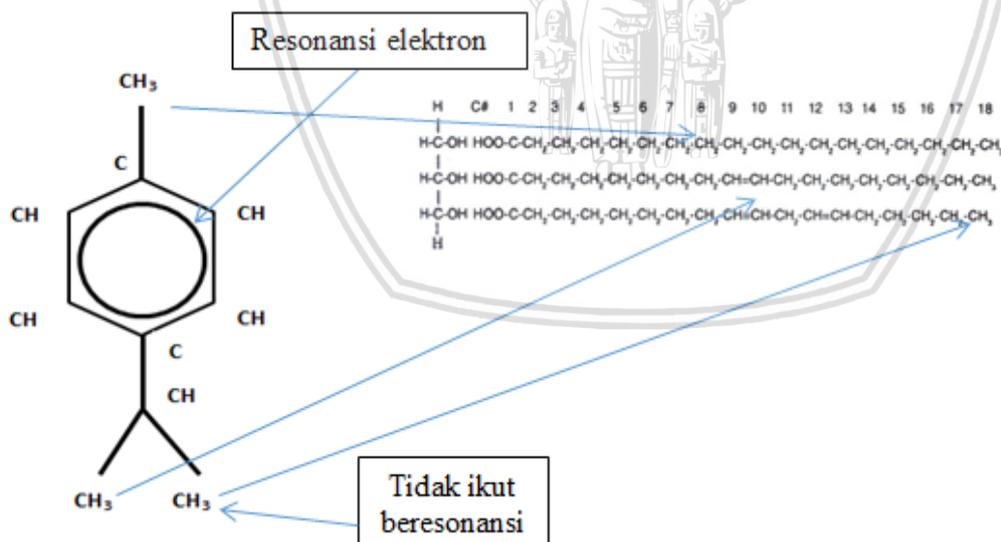
Sineol termasuk senyawa hidrokarbon yang memiliki cincin siklik namun belum stabil. Sineol cenderung akan melepas elektron untuk membuatnya memiliki cincin siklik yang akan membuat strukturnya menjadi stabil. Untuk membuatnya stabil sineol harus melepas

beberapa elektron atom O dan H. Cincin siklik yang terdapat pada struktur sineol diakibatkan loncatan elektron akibat ikatan konjugasi yang terdapat pada struktur heksagonalnya.



Gambar 2.17 Ilustrasi resonansi elektron pada sineol

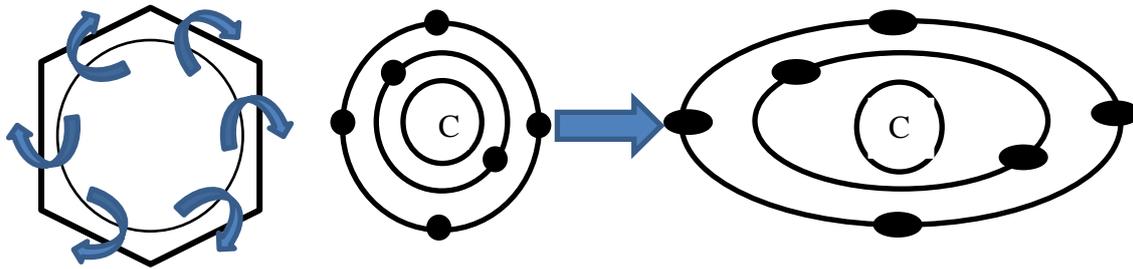
Cincin siklik ini memiliki perbedaan muatan antara ikatan rangkap ganda dan tunggal, menyebabkan elektronnya mengalami dislokalisasi dan bergerak dari ikatan rangkap ganda menuju ikatan tunggal. Dislokalisasi elektron tersebut dinamakan resonansi elektron. Resonansi elektron ini akan menimbulkan medan magnet lemah disekitar cincin siklik sineol. Akan tetapi resonansi yang terjadi pada cincin siklik sineol ini tidak berpengaruh terhadap ikatan diluar cincin. Hal ini dikarenakan ikatan luar cincin tidak memiliki ikatan konjugasi, bahkan ikatan luar cincin siklik yang tak ikut beresonansi ini akan memperpanjang rantai karbon dari asam lemak karena memiliki struktur yang sama.



Gambar 2.18 Reaksi cincin siklik sineol dan asam lemak minyak kelapa sawit

Medan magnet yang dihasilkan oleh resonansi elektron pada bioadiktif minyak kayu putih akan mengganggu orbit dari electron atom C pada susunan minyak kelapa sawit. Medan magnet lemah ini dapat menyebabkan orbit elektron atom C pada molekul menjadi lonjong karena pengaruh gaya magnet, semakin lonjong maka jarak antar elektron akan semakin jauh

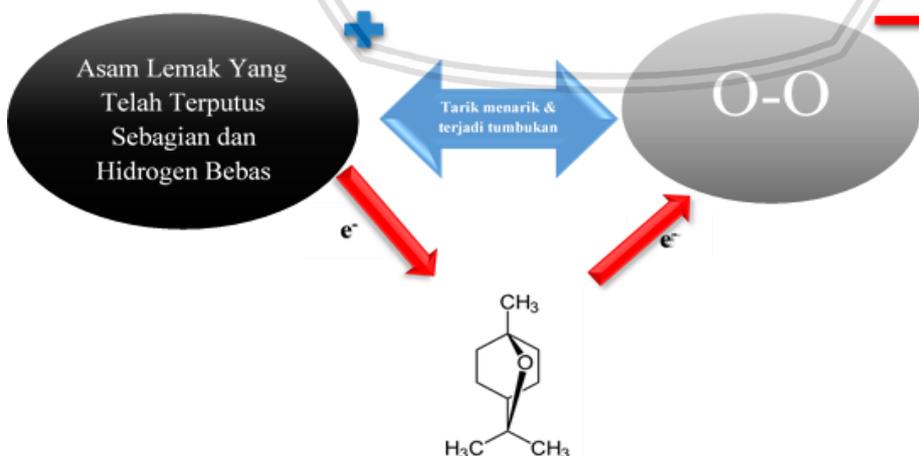
dan akibatnya energinya akan semakin kecil (Wardana, 2008). Sehingga pemutusan ikatan asam lemak menjadi atom-atom yang terpisah membutuhkan energi yang semakin kecil.



Gambar 2.19 Ilustrasi pengaruh medan magnet terhadap melekul asam lemak minyak kelapa sawit

Atom-atom bermuatan yang terlepas akibat pengaruh medan magnet dan saat pembentukan cincin siklik akan menjadi radikal bebas. Atom bermuatan tersebut sangat mudah bereaksi karena ketidakstabilan muatannya. Jika radikal bebas menghatam (menumbuk) molekul lain akan menyebabkan jarak ikatan molekul tersebut merenggang, sehingga ikatannya lebih mudah untuk diputuskan. Semakin banyak radikal bebas yang terbentuk akan semakin membantu memutus ikatan molekul pada minyak kelapa sawit.

Pengaruh medan magnet ini mengakibatkan molekul minyak dan oksigen akan menjadi bermuatan. Beberapa atom  $H^+$  yang terlepas dari inti atom minyak kelapa sawit akan berikatan dengan atom  $O^-$  yang terlepas dari oksigen menjadi uap air ( $H_2O$ ). Hal ini menyebabkan molekul minyak kelapa sawit bermuatan positif dan molekul oksigen sekarang bermuatan negatif. Terjadilah tarik menarik antar molekul minyak kelapa sawit dan oksigen dan menyebabkan terjadinya tumbukan antar molekul tersebut. Tumbukan ini terjadi secara masif dan mengakibatkan energi aktivasinya semakin menurun dan kecepatan reaksi pembakaran menjadi meningkat. Proses oksidasi ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.20 Ilustrasi medan magnet terhadap pemutusan ikatan

## 2.9 Hipotesis

Berdasarkan penjelasan pada kerangka konsep berfikir, penulis mengambil suatu hipotesis penelitian bahwa dengan adanya penambahan karbon aktif pada minyak kelapa sawit dengan metode pengujian pembakaran *droplet* dapat menjadikan karakteristik pembakaran menjadi lebih baik. Katalis karbon aktif dapat menurunkan nilai *ignition delay* karena pengaruh dari karbon aktif ini akan mengurai ikatan karbon dari *trigliserida* yang terdapat pada minyak kelapa sawit, sehingga menyebabkan energi aktifasinya menurun. Sedangkan pada penambahan bioaditif minyak kayu putih akan menurunkan temperatur pembakaran karena bioaditif minyak kayu putih ini mengandung oksigen didalamnya.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dengan melakukan eksperimental nyata (*true experimental research*). Metode ini digunakan untuk menguji suatu perlakuan dengan membandingkan satu atau kelompok pengujian dengan perlakuan atau tanpa perlakuan.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juni 2018 hingga selesai, bertempat di Laboratorium Fluida Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

### 3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga macam variabel, yaitu:

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya telah ditentukan dan tidak dipengaruhi variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah persentase penambahan karbon aktif berupa batok kelapa pada minyak kelapa sawit yaitu 0ppm, 100ppm, 300ppm, dan 500ppm serta persentase penambahan minyak kayu putih pada minyak kelapa sawit yaitu 0ppm, 100ppm, 300ppm, dan 500ppm dari massa minyak kelapa sawit.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya bergantung dari variabel bebas dan hasilnya dapat diketahui setelah penelitian selesai dilakukan. Penelitian kali ini variabel terikat adalah temperatur pembakaran, *ignition delay*, *burning rate*, dan visualisasi nyala api yang meliputi tinggi dan lebar api pada proses pembakaran *droplet* campuran minyak kelapa sawit dengan katalis karbon aktif berupa batok kelapa dan minyak kayu putih.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya telah ditentukan sebelum penelitian berlangsung dan bersifat konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrol adalah :

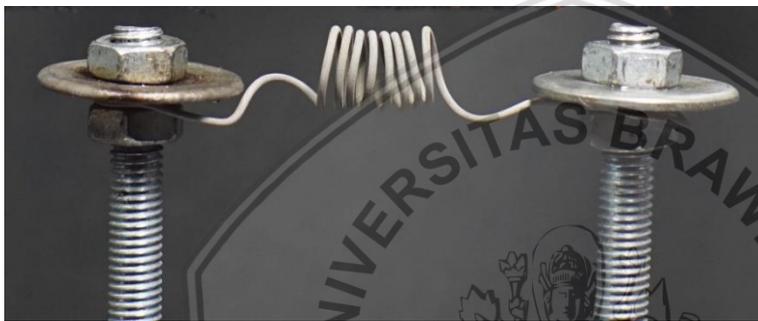
- a. Suhu ruang uji bakar sebesar : 25°C-30°C
- b. Daya *heater* : 30 Watt
- c. Diameter *droplet* : 1,5 mm
- d. Kecepatan kamera : 60 fps

### 3.4 Alat-Alat dan Bahan-Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat-Alat Penelitian

##### 1. Elemen panas (*heater*)

Berfungsi sebagai pembakar droplet sehingga menumbulkannya api. Elemen panas ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

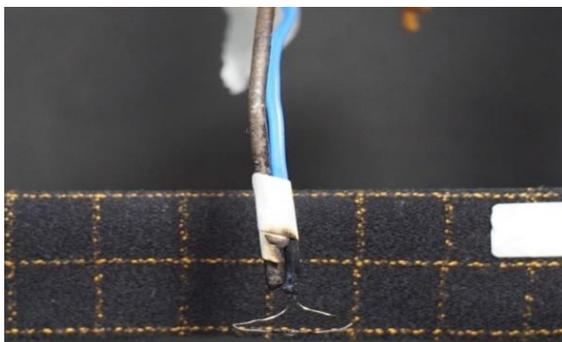


Gambar 3.1 Elemen pemanas

- Material : Ni80
- Diameter : 0,3 mm
- Hambatan : 0,25 ohm

##### 2. *Thermocouple*

*Thermocouple* merupakan suatu alat berupa sensor untuk melakukan pengukuran suatu perubahan suhu melalui dua jenis logam yang merupakan konduktor yang berbeda digabungkan pada salah satu pangkal logam yang berhadapan dan dengan pangkal logam lain dihubungkan pada *data logger*. *Thermocouple* ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Thermocouple*

- Tipe : K
- Diameter : 0,2 mm

- Jangkauan suhu yang dapat diukur: 0 – 1370°C

### 3. Data Logger

*Data logger* berfungsi sebagai pengubah data yang didapat dari *thermocouple* yang berupa data analog menjadi data yang bersifat digital sehingga dapat terbaca pada sistem komputer yang digunakan. *Data logger* ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Data logger

- Merk : Advantech
- Tipe : USB-4718
- Aplikasi : DAQNav 4.0.3.4

### 4. Kamera

Berfungsi untuk merekam proses terjadinya penguapan hingga nyala api didalam ruang uji bakar *droplet*.

- Merk : Sony a6000
- Resolusi pengambilan *video* : 1280 x 1080 pixel, 60 fps

### 5. Laptop

Berfungsi mengolah dan menyimpanan data *digital* yang diperoleh dari *data logger*.

- Merk : Asus X451CAP
- *Random Access Memory* : 2GB
- *Processor* : Intel Core i3-3217U 1.80 GHz

### 6. Timbangan Analitik

Timbangan analitik digunakan untuk mengukur massa minyak kelapa sawit, massa karbon aktif, dan massa minyak kayu putih.

- Merk : Precisa 320 XB
- Ketelitian : 0,0001 gram
- Kapasitas : 220 gram
- Waktu respons : 4s
- *Pan size* : 80 x 3,1 mm

### 7. Pembuat *Droplet*

Alat pembuat *droplet* yang digunakan adalah rekayasa *syringe* dikombinasikan dengan suntikan insulin. Sehingga *syringe* dapat membentuk diameter *droplet* yang sama setiap kali digunakan. Alat pembuat *droplet* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pembuat *droplet*

### 8. Gelas Ukur

Penampungan campuran minyak kelapa sawit dengan katalis karbon aktif dan minyak kayu putih. Gelas Ukur tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.

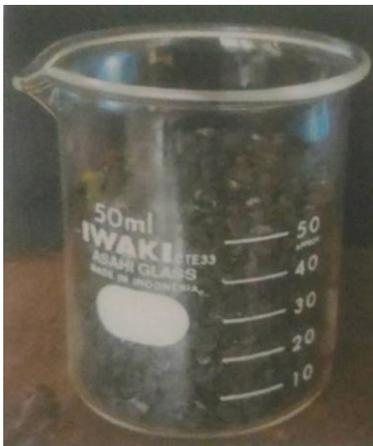


Gambar 3.5 Gelas ukur

## 3.4.2 Bahan–Bahan Penelitian

### 1. Katalis Karbon Aktif (Batok Kelapa)

Katalis heterogen yang digunakan pada penelitian ini untuk mempercepat reaksi pembakaran. Katalis Karbon Aktif yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Katalis karbon aktif (batok kelapa)

## 2. Minyak Kayu Putih

Minyak kayu putih digunakan sebagai katalis homogen untuk mempercepat reaksi pembakaran Minyak kayu putih yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.7 Minyak kayu putih

## 3. Minyak Kelapa Sawit

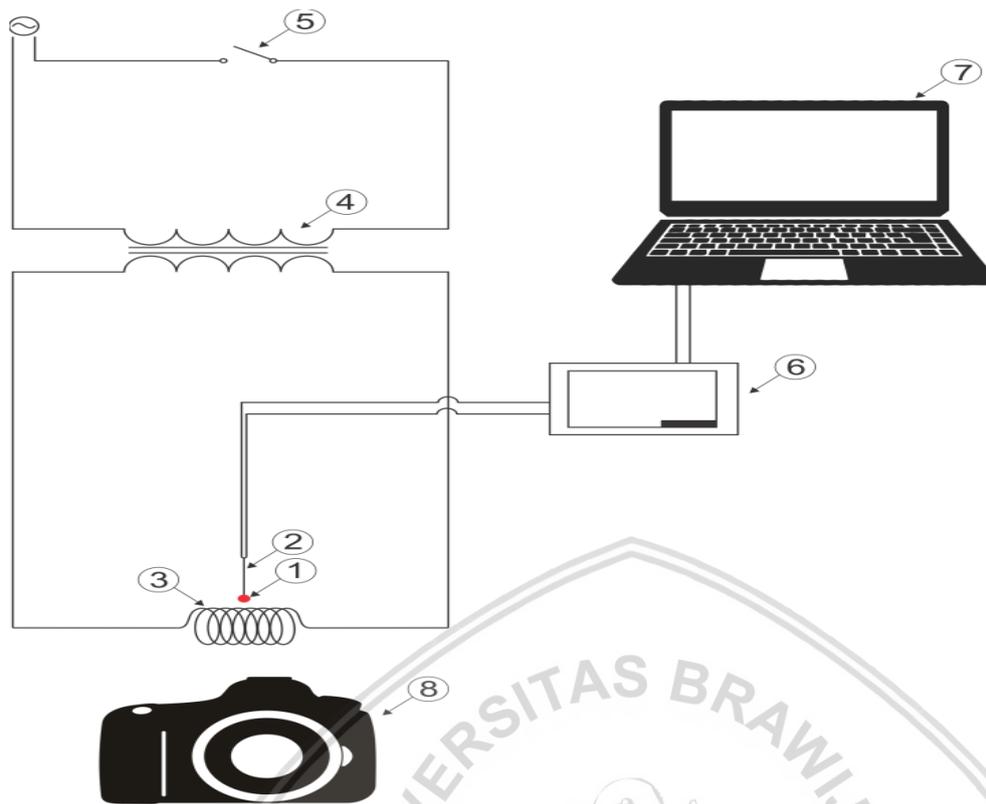
Bahan bakar minyak nabati yang dipakai untuk penelitian pembakaran *droplet* adalah minyak kelapa sawit dan dapat dilihat pada Gambar 3.8 .



Gambar 3.8 Minyak kelapa sawit

### 3.5 Skema Instalasi Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian kemudian disusun sesuai skema instalasi sesuai Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Skema instalasi alat penelitian

Keterangan:

1. *Dropet*
2. *Thermocouple*
3. Elemen Pemanas
4. *Trafo*
5. Saklar
6. *Data Logger*
7. Laptop/komputer
8. Kamera

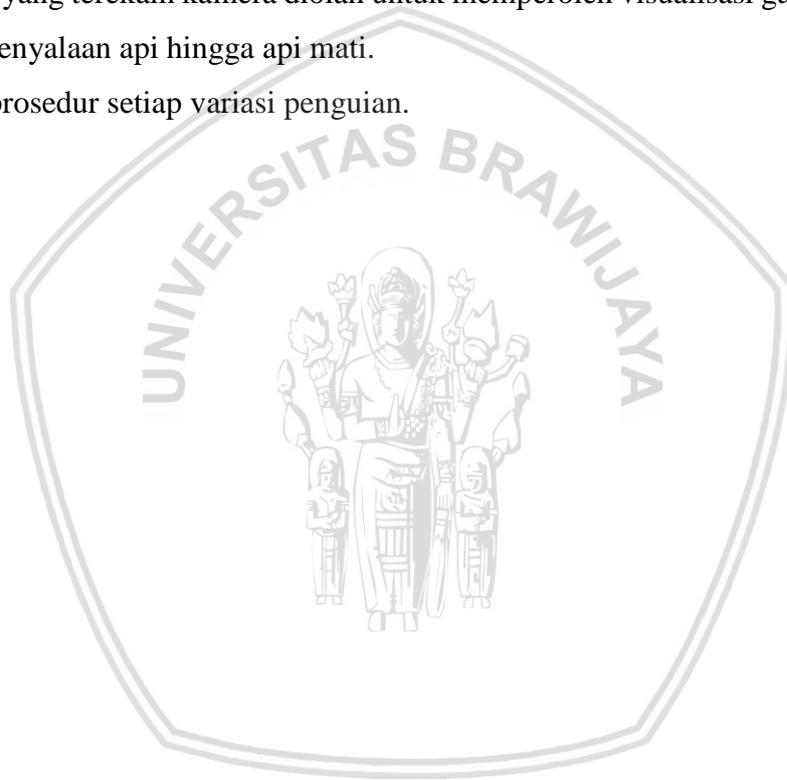
### 3.6 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data meliputi:

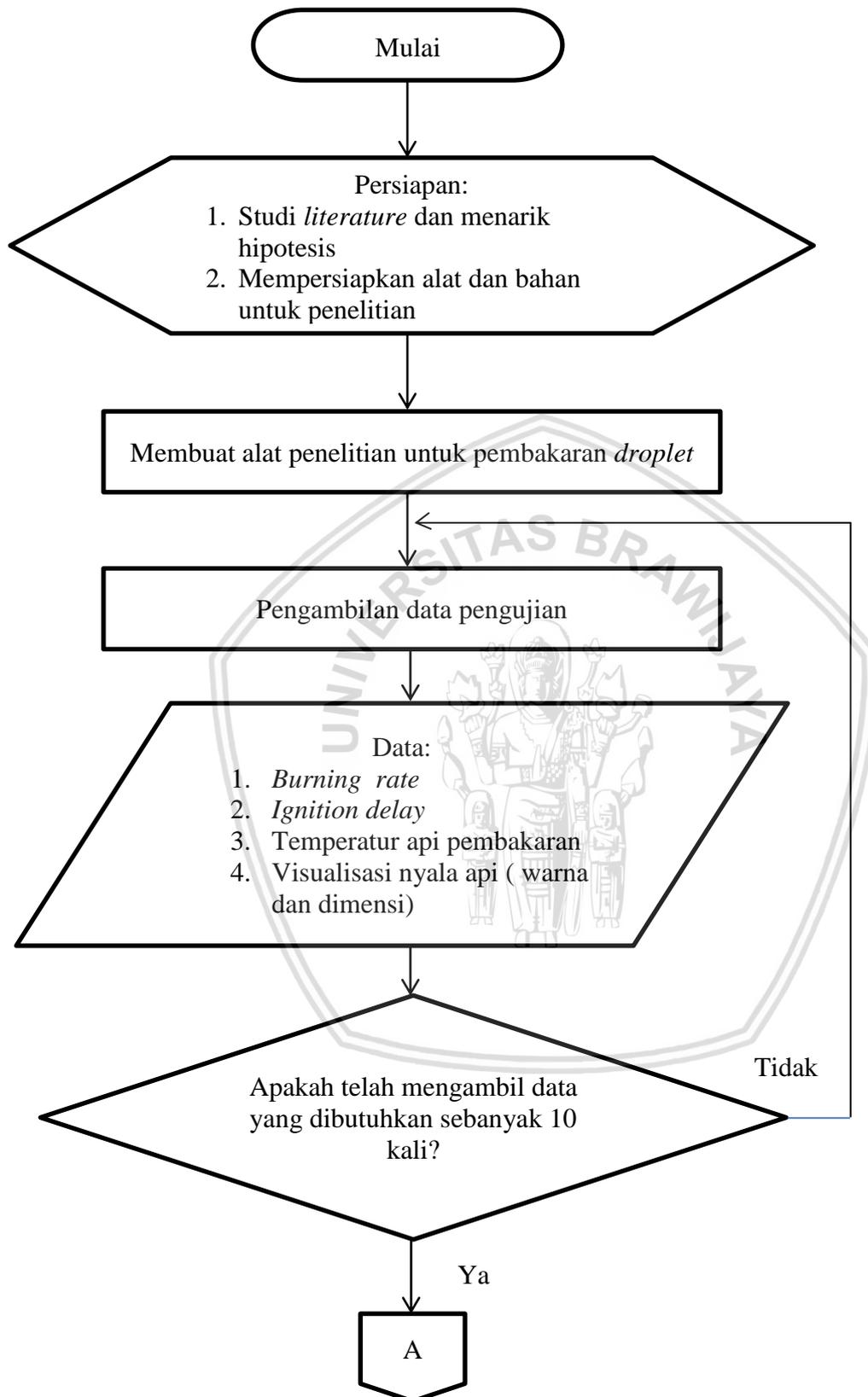
1. Proses pembuatan minyak kelapa sawit dengan karbon aktif berupa batok kelapa.
  - a. Minyak kelapa sawit di campur secara mekanik di dalam gelas ukur dengan katalis karbon aktif (batok kelapa) dengan massa 0ppm, 100ppm, 300ppm, dan 500ppm dari massa total campuran 50 gram.
  - b. Masukkan campuran minyak kelapa sawit dengan karbon aktif (batok kelapa) ke dalam *syringe* yang telah dimodifikasi yang digunakan sebagai pembuat *droplet*.

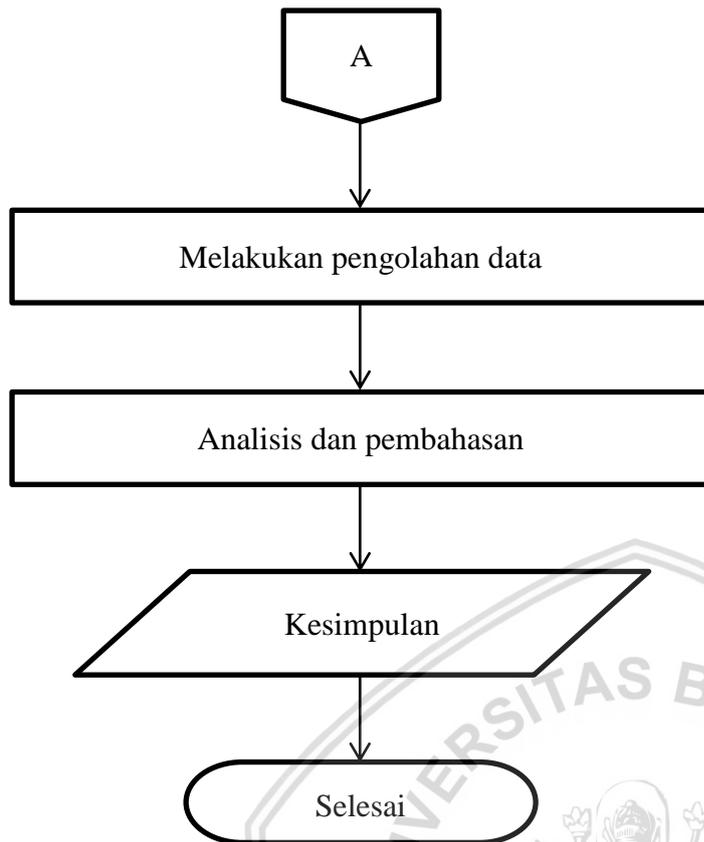
- c. Mengatur banyaknya *droplet* yang dikeluarkan dengan cara memutar bagian masing–masing kepala *syringe* yang telah di modifikasi tersebut sebanyak satu skala pada *syringe* tersebut.
  - d. Tekanan pada pangkal *syringe* hingga terbentuk *droplet* pada ujung jarum suntik.
  - e. Untuk pembentukan *droplet* selanjutnya pastikan bahwa ujung jarum suntiknya tetap kering.
2. Proses pembuatan minyak kelapa sawit dengan minyak kayu putih
- a. Minyak kelapa sawit di campur secara mekanik di dalam gelas ukur dengan minyak kayu putih dengan massa 0ppm, 100ppm, 300ppm, dan 500ppm dari massa total campuran 50 gram.
  - b. Masukkan campuran minyak kelapa sawit dengan minyak kayu putih ke dalam *syringe* yang telah dimodifikasi yang digunakan sebagai pembuat *droplet*.
  - c. Mengatur banyaknya *droplet* yang dikeluarkan dengan cara memutar bagian masing–masing kepala *syringe* yang telah dimodifikasi tersebut sebanyak satu skala pada *syringe* tersebut.
  - d. Tekanan pada pangkal *syringe* hingga terbentuk *droplet* pada ujung jarum suntik.
  - e. Untuk pembentukan *droplet* selanjutnya pastikan bahwa ujung jarum suntiknya tetap kering.
3. Proses pengambilan data
- a. Atur dan pasang semua alat–alat penelitian ada ruang pengujian bakar *droplet* sesuai dengan penelitian yang terdapat pada Gambar 3.9.
  - b. Pasang kamera di depan ruang uji bakar *droplet* untuk untuk melihat *droplet* dengan jarak 20 cm dan fokus hingga gambar ujung *thermocouple* jelas tergambar pada layar kamera.
  - c. Hubungkan *thermocouple* ke *data logger* setelah itu hubungkan *data logger* ke laptop/komputer.
  - d. Nyalakan laptop/komputer, kemudian mulai jalankan *software data logger* untuk membaca data analog dari *therocoupe*l dan *data logger*.
  - e. Bentuk *droplet* dari alat pembentuk *droplet* dan letakkan *droplet* pada ujung *thermocouple*.
  - f. Ambil gambar *droplet* sebelum dibakar.
  - g. Klik tombol *start* pada program DAQnavi 4.0.3.4 yang ada pada laptop/komputer dan *record*.

- h. Tekan tombol pada camera bersamaan dengan menyalakan elemen pemanas dengan menekan tombol nyala pada saklar.
- i. Matikan saklar sesaat setelah api menyala dan hentikan proses merekam pada kamera sesaat setelah api mati.
- j. Klik *stop* pada program DAQnavi 4.0.3.4 yang ada pada laptop/komputer lalu pilih *save*.
- k. Data yang terbaca pada aplikasi DAQnavi 4.0.3.4 yang ada pada laptop/komputer kemudian disimpan dalam bentuk tabel dan grafik untuk kemudian dilakukan proses pengolahan data.
- l. Gambar yang terekam kamera diolah untuk memperoleh visualisasi gambar api setiap proses penyalaan api hingga api mati.
- m. Ulangi prosedur setiap variasi penguian.

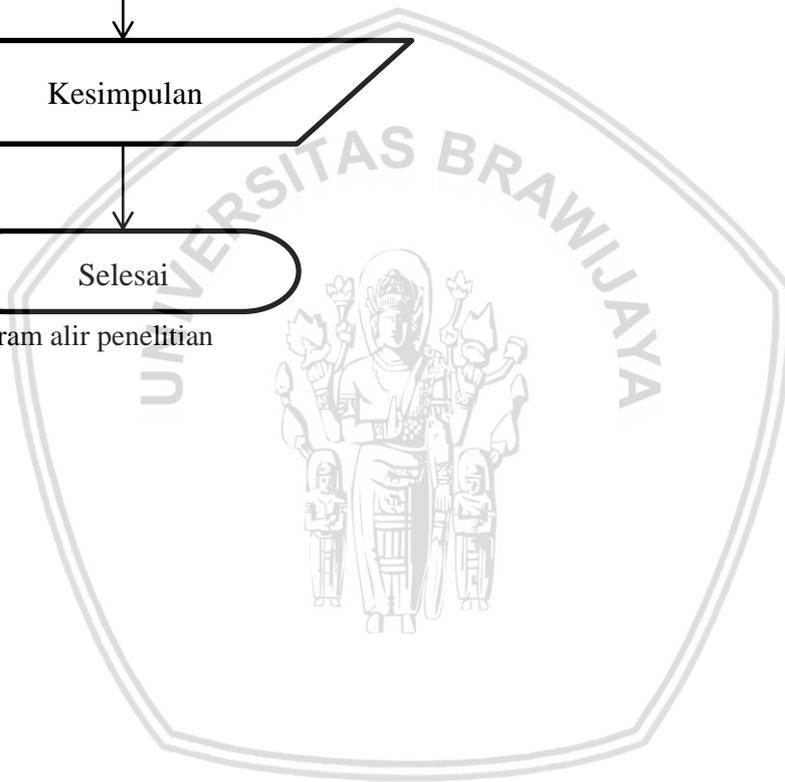


### 3.7 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.10 Diagram alir penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Data yang diperoleh dari penelitian ini merupakan data karakteristik dari campuran minyak kelapa sawit dengan variasi penambahan minyak kayu putih, karbon aktif serta campuran dari keduanya dengan jumlah masing-masing sebesar 0ppm, 10ppm, 300ppm, 500ppm. Data tersebut didapatkan melalui perekaman nyala api berupa dimensi (panjang dan lebar api) dan *ignition delay*, serta *data logger* yang berupa *temperature* maksimal.

#### 4.1.1 Diameter Droplet

Pada penelitian ini, diameter *droplet* yang terbentuk berukuran 1,5 mm. *Droplet* diletakkan pada *thermocouple* yang berjarak 3 mm di atas *heater*.

Tabel 4.1  
Data diameter *droplet*

<i>Sample</i>	Diameter <i>Droplet</i> (mm)
Minyak Kelapa Sawit Murni ( <i>Crude</i> )	1,52
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 100ppm	1,63
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 300ppm	1,56
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 500ppm	1,63
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 100ppm	1,61
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 300ppm	1,59
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 500ppm	1,62
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 100ppm	1,55
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 300ppm	1,55
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 500ppm	1,62

#### 4.1.2 Tabel Data Hasil Penelitian

Tabel 4.2  
Data *ignition delay* hasil pembakaran *droplet*

<i>Sample</i>	<i>Ignition Delay</i> (s)
Minyak Kelapa Sawit Murni ( <i>Crude</i> )	4,57
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 100ppm	4,48
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 300ppm	4,37
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 500ppm	4,33
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 100ppm	4,40
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 300ppm	4,33
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 500ppm	4,32
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 100ppm	4,37
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 300ppm	4,32
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 500ppm	4,28

Tabel 4.3  
Data *temperature* tertinggi hasil pembakaran *droplet*

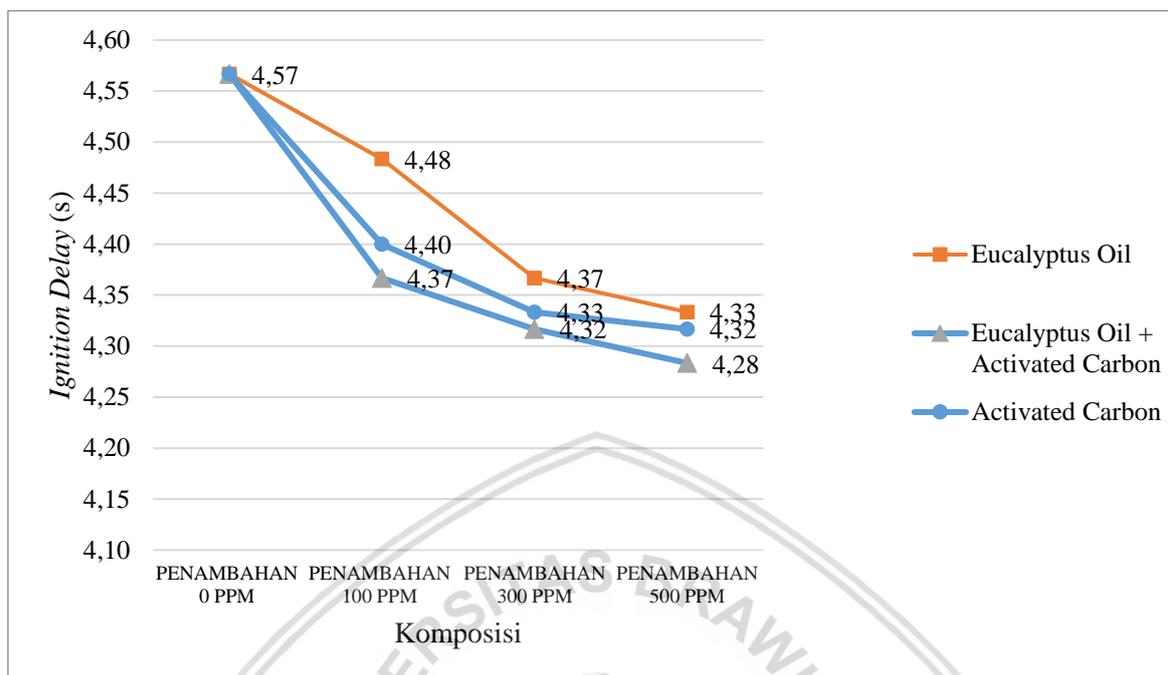
<i>Sample</i>	<i>Temperature</i> Pembakaran Tertinggi (°C)
Minyak Kelapa Sawit Murni ( <i>Crude</i> )	677,15
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 100ppm	670,06
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 300ppm	668,35
Minyak Kelapa Sawit + Minyak Kayu Putih 500ppm	646,41
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 100ppm	651,76
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 300ppm	646,52
Minyak Kelapa Sawit + Karbon Aktif 500ppm	643,38
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 100ppm	642,45
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 300ppm	642,03
Minyak Kelapa Sawit + MKP + KA 500ppm	634,39

## 4.2 Analisis dan Pembahasan

Dari data tabel hasil penelitian, kemudian dianalisa dalam bentuk grafik, dengan keterangan sebagai berikut.

- Crude* = Minyak kelapa sawit murni
- 100 MK = Campuran minyak kelapa sawit dengan 100ppm minyak kayu putih
- 300 MK = Campuran minyak kelapa sawit dengan 300ppm minyak kayu putih
- 500 MK = Campuran minyak kelapa sawit dengan 500ppm minyak kayu putih
- 100 KA = Campuran minyak kelapa sawit dengan 100ppm karbon aktif
- 300 KA = Campuran minyak kelapa sawit dengan 300ppm karbon aktif
- 500 KA = Campuran minyak kelapa sawit dengan 500ppm karbon aktif
- 100 MK+KA = Campuran minyak kelapa sawit dengan 100ppm minyak kayu putih + 100ppm karbon aktif
- 300 MK+KA = Campuran minyak kelapa sawit dengan 300ppm minyak kayu putih + 300ppm karbon aktif
- 500 MK+KA = Campuran minyak kelapa sawit dengan 500ppm minyak kayu putih + 500ppm karbon aktif

#### 4.2.1 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Kayu Putih dan Karbon Aktif Terhadap *Ignition Delay* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit



Gambar 4.1 Grafik pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap *ignition delay* pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit

Pada Gambar 4.1 menunjukkan pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap *ignition delay* pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit. Dari grafik 4.1 dapat di lihat *ignition delay* dari proses pembakaran yaitu *crude* adalah 4,57 s, 100 MK adalah 4,48 s, 300 MK adalah 4,37 s, 500 MK adalah 4,33 s, 100 KA adalah 4,40 s, 300 KA adalah 4,33 s, 500 KA adalah 4,32 s, MK+KA 100 adalah 4,37 s, MK+KA 300 adalah 4,32 s, MK+KA 500 adalah 4,28 s. Dari data yang ada, MK+KA 500 memiliki nilai *ignition delay* yang paling rendah. Nilai *ignition delay* penambahan minyak kayu putih maupun karbon aktif sama-sama cenderung menurun seiring dengan bertambahnya katalis.

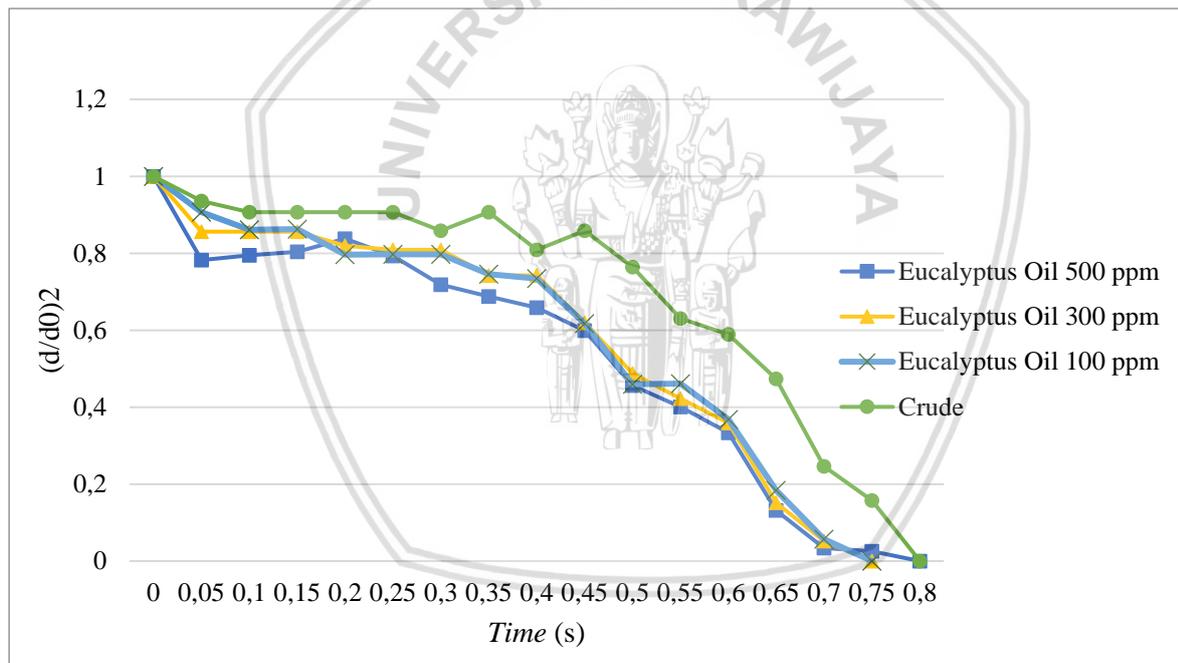
*Ignition delay* yang di hasilkan oleh karbon aktif lebih signifikan dalam memberikan efek terhadap pembakaran minyak kelapa sawit dari pada minyak kayu putih, hal terjadi karena karbon aktif lebih cepat untuk menurunkan energi aktivasi pada pembakaran sehingga menyebabkan reaksi pembakaran menjadi lebih cepat. Karbon aktif memiliki medan magnet yang lebih banyak di dalam satu atomnya sehingga dapat lebih cepat mengganggu struktur atom dari minyak kelapa sawit, dari pada minyak kayu putih yang tidak memiliki medan magnet sebanyak yang dimiliki karbon aktif.

Sesuai dengan landasan teori minyak kayu putih dan karbon aktif akan mempercepat reaksi pembakaran karena menimbulkan gaya elektromagnetik yang mengganggu elektron

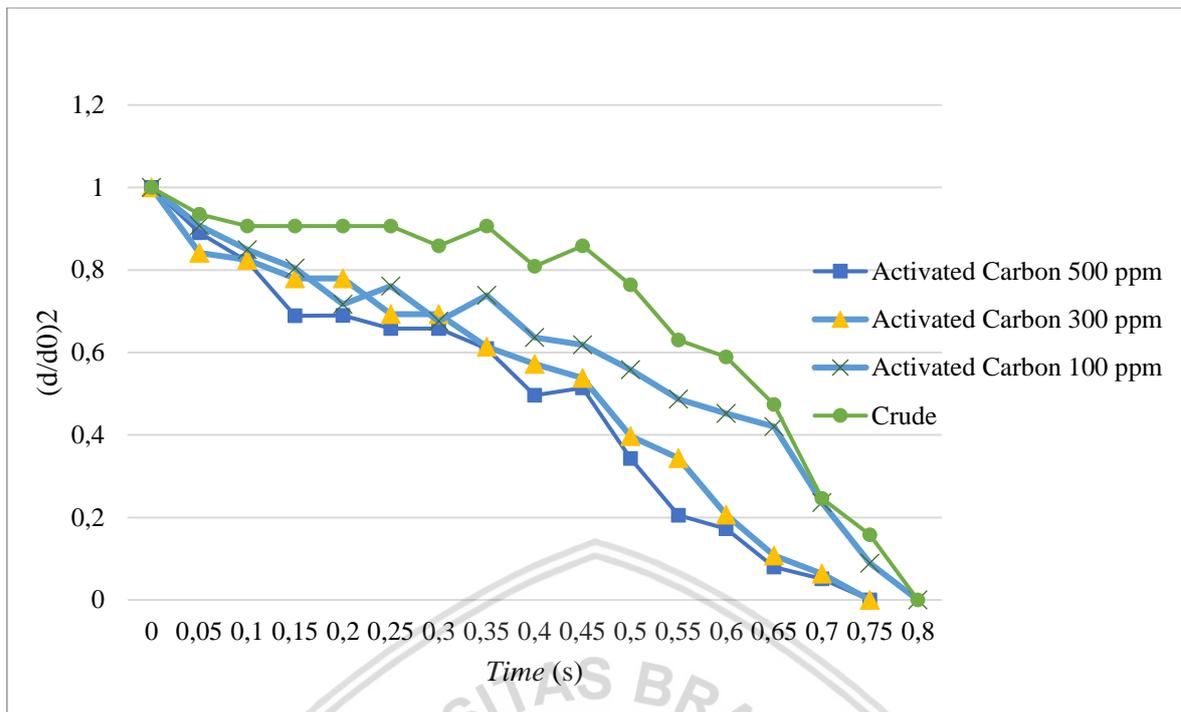
yang terdapat pada minyak kelapa sawit dan oksigen sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mereaksikan bahan bakar dan oksigen akan semakin berkurang.

Nilai *ignition delay* yang dihasilkan oleh penambahan campuran minyak kayu putih + karbon aktif menunjukkan bahwa campuran ini lebih efektif dalam mempengaruhi *ignition delay* diikuti oleh penambahan karbon aktif kemudian penambahan minyak kayu putih. Hal ini terjadi karena campuran minyak kayu putih dan karbon aktif lebih memberikan efek dalam menurunkan energi aktivasi pembakaran yang menyebabkan pembakaran terjadi relatif lebih cepat dikarenakan campuran minyak kayu putih dan karbon aktif mempunyai lebih banyak medan magnet pada atom atomnya yang mengganggu ikatan atom minyak kelapa sawit dibanding dengan minyak kayu putih.

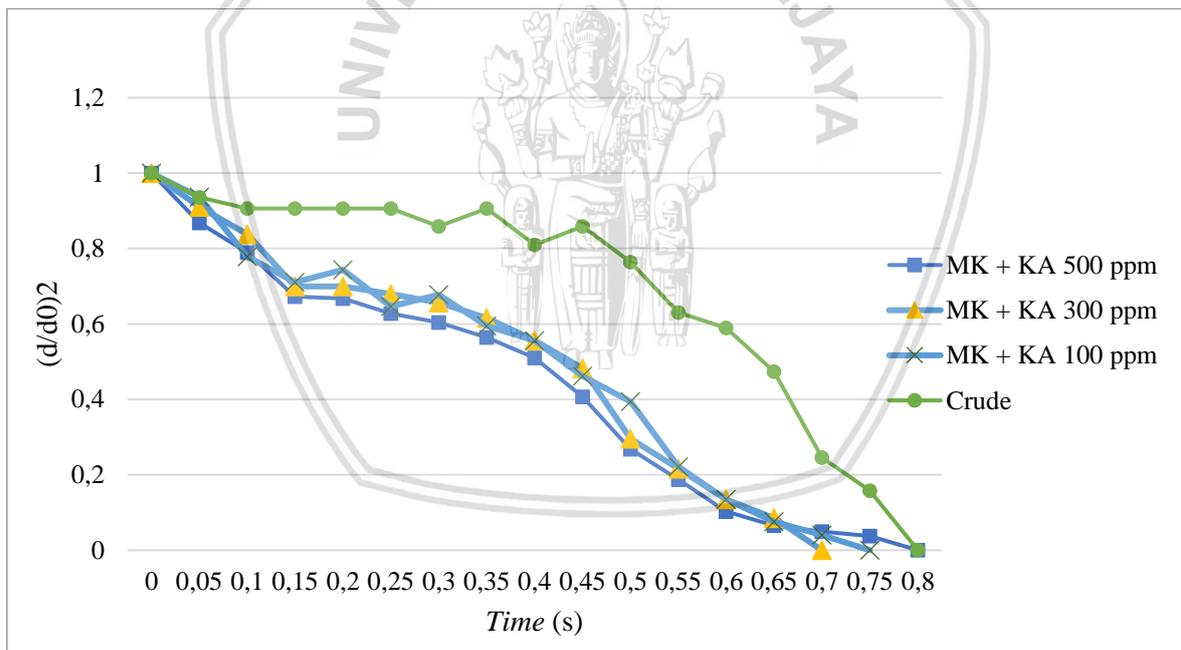
#### 4.2.2 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Kayu Putih dan Karbon Aktif Terhadap *Burning Rate* Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit



Gambar 4.2 Grafik pengaruh penambahan minyak kayu putih terhadap *burning rate* pada pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit



Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan karbon aktif terhadap *burning rate* pada pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit



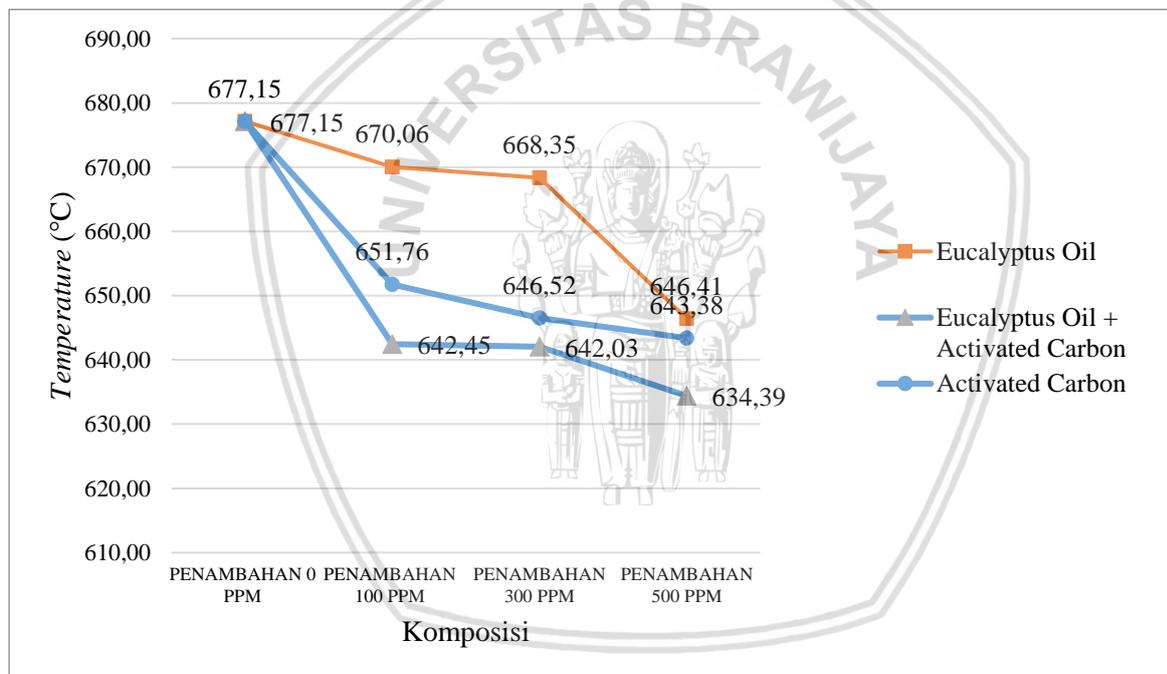
Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap *burning rate* pada pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit

Pada Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 menunjukkan pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap *burning rate* pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit. Dari data *burning rate* yang dihasilkan maka dapat disimpulkan bahwa seiring dengan penambahan minyak kayu putih maupun karbon aktif maka reaksi pembakaran semakin cepat. Sesuai dengan dasar teori bahwa penambahan minyak kayu putih maupun karbon aktif

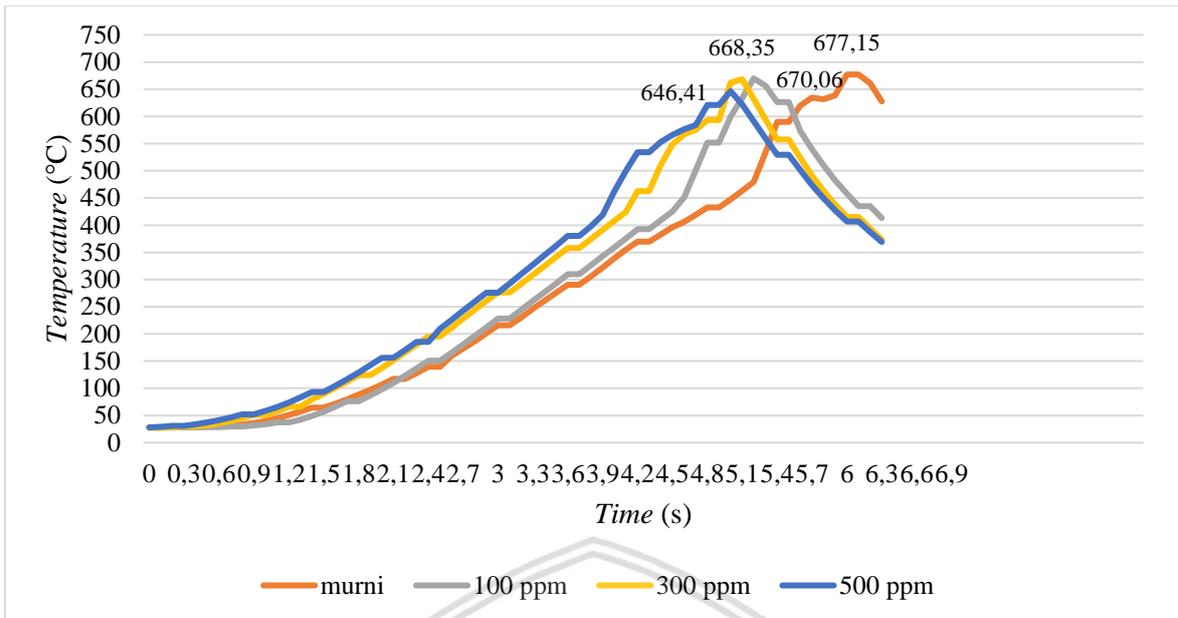
mampu mengurangi energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mereaksikan oksigen dengan minyak kelapa sawit sehingga pembakaran akan semakin cepat terjadi.

*Burning rate* yang dihasilkan oleh karbon aktif pada data penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif lebih efektif dalam mempengaruhi *burning rate* dibandingkan dengan penambahan minyak kayu putih. Karbon aktif memiliki lebih banyak medan magnet yang di timbulkan oleh resonansi elektron pada satu atom yang mengganggu struktur ikatan atom dari minyak kelapa sawit sedangkan minyak kayu putih tidak memiliki medan magnet sebanyak karbon aktif sehingga tidak lebih efektif dalam mengganggu struktur ikatan atom dari minyak kelapa sawit.

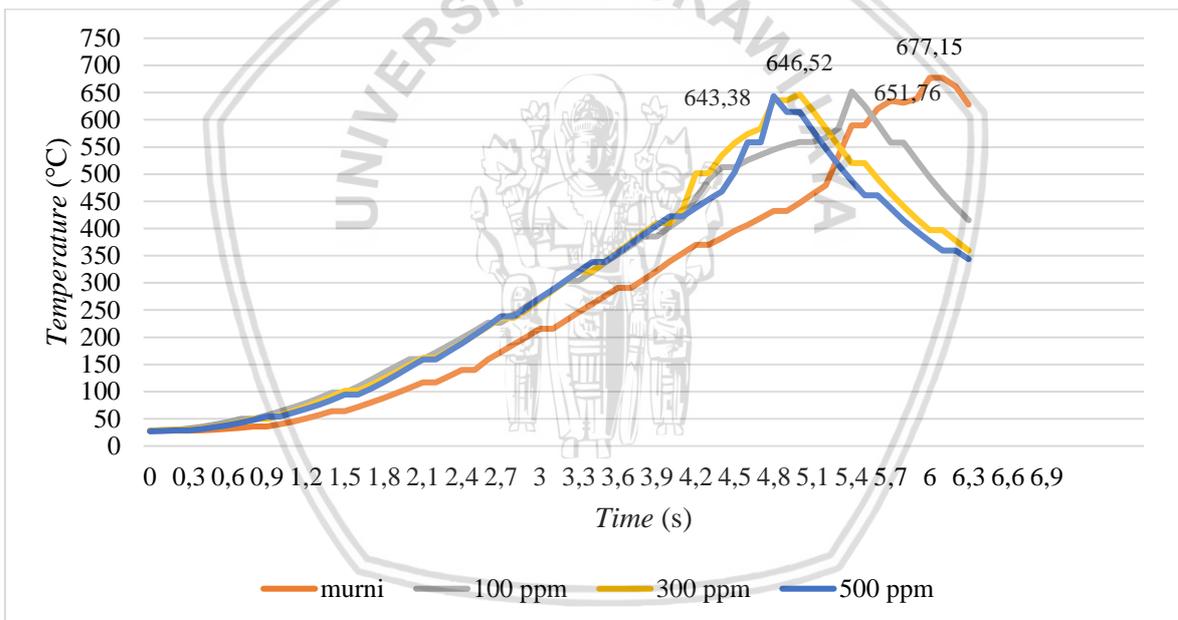
#### 4.2.3 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Kayu Putih dan Karbon Aktif Terhadap Temperatur Reaksi Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit



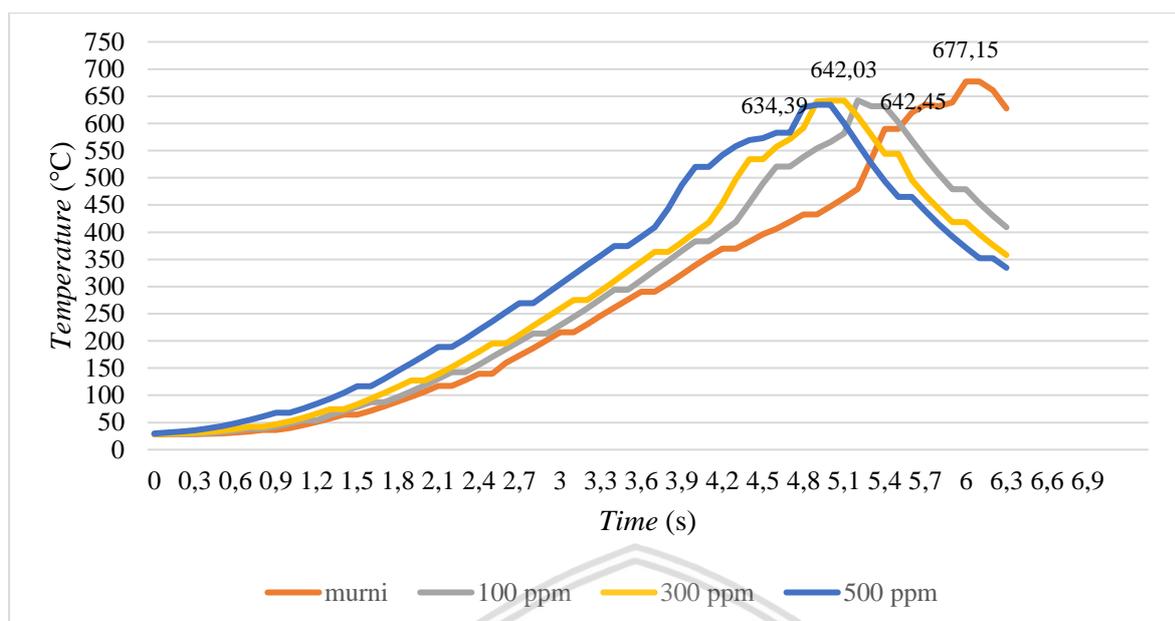
Gambar 4.5 Grafik perbandingan pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap temperatur tertinggi pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit



Gambar 4.6 Grafik perbandingan pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih terhadap temperatur pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit



Gambar 4.7 Grafik perbandingan pengaruh variasi penambahan karbon aktif terhadap temperatur pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit



Gambar 4.8 Grafik perbandingan pengaruh variasi penambahan campuran minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap temperatur pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa data temperatur pembakaran tertinggi yang diperoleh dari proses pembakaran droplet yaitu *crude* adalah 677.15°C, 100 MK adalah 670.06°C, 300 MK adalah 668.35°C, dan 500 C adalah 646.41°C, 100 KA adalah 651,76°C, 300 KA adalah 646.52°C, dan 500 KA adalah 643.38°C, 100 MK+KA adalah 642.45°C, 300 MK+KA adalah 642.03°C, dan 500 MK+KA adalah 634.39°C. Dari data yang diperoleh ini minyak kelapa sawit murni memiliki temperatur pembakaran tertinggi dibandingkan dengan campuran lainnya. Nilai temperatur pembakaran tertinggi semakin menurun seiring penambahan katalis minyak kayu putih maupun karbon aktif.

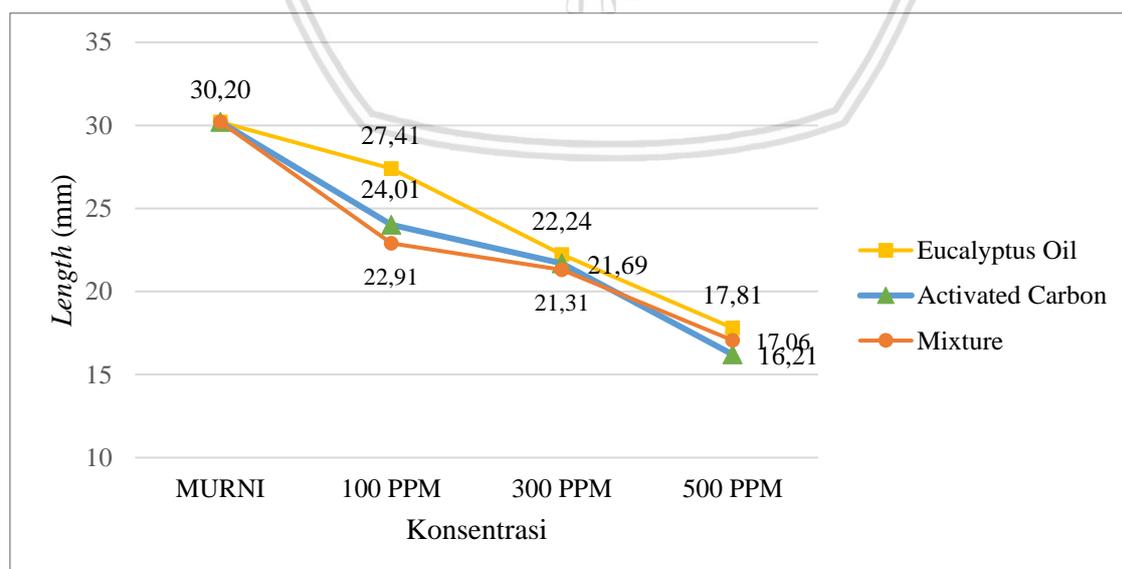
Temperatur pembakaran yang menurun ini disebabkan oleh kemampuan katalis untuk mempercepat terjadinya reaksi pembakaran, sehingga reaksi pembakaran membutuhkan kalor penguapan (energi kalor) lebih sedikit jika ditambahkan dengan katalis untuk mereaksikan udara dengan bahan bakar. Hal ini sesuai dengan dasar teori yang menyatakan katalis minyak kayu putih dan karbon aktif dapat menurunkan energi aktivasi yang dibutuhkan untuk melakukan reaksi pembakaran.

Pada Gambar 4.6, Gambar 4.7, dan Gambar 4.8 juga dapat dilihat bahwa penambahan katalis minyak kayu putih maupun karbon aktif sama sama mempercepat reaksi pembakaran dengan tingkat kecepatan reaksi paling cepat terjadi pada penambahan 500ppm minyak kayu putih, karbon aktif, serta campuran minyak kayu putih dan karbon aktif. Hal ini terjadi karena semakin tinggi konsentrasi penambahan katalis maka energi aktivasi yang dibutuhkan untuk terjadinya proses oksidasi akan semakin kecil.

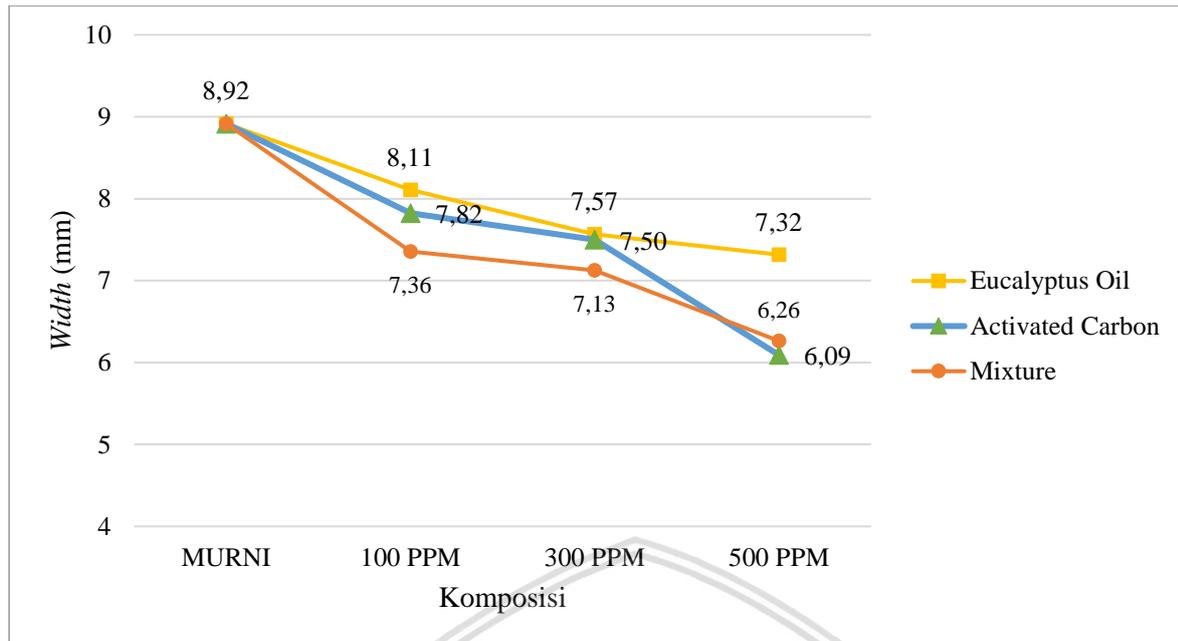
#### 4.2.4 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Kayu Putih dan Karbon Aktif Terhadap Visualisasi Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kelapa Sawit

Pada Lampiran 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33 dan 34 merupakan hasil data gambar visualisasi api dari proses pembakaran droplet minyak kelapa sawit. Perubahan pada dimensi api minyak kelapa sawit yang di tambahkan karbon aktif cenderung lebih stabil di bandingkan dengan penambahan minyak kayu putih. Hal ini terjadi di karenakan karbon aktif merupakan katalis heterogen, yang merupakan katalis dengan fase yang berbeda dengan minyak kelapa sawit. Sedangkan perubahan dimensi api pada penambahan minyak kayu putih yang merupakan katalis homogen ada suatu perbedaan titik didih bahan bakar yang menyebabkan terjadinya *microexplosion* sehingga bentuk visualisasi api penambahan minyak kayu putih pada pembakaran tertentu relatif tidak stabil atau terlihat tidak tenang.

Pada Lampiran 35 yang di ambil dari hasil *microexollosion* droplet minyak kelapa sawit pada setiap konsentrasi penambahan katalis. Dapat di lihat bahwa di dalam gambar tersebut beberapa konsentrasi terjadi *microexplosion* yang membuat terjadinya suatu perubahan dimensi pada api yang membuat api menjadi pembakaranya tidak stabil. *Microexplosion* dapat terjadi di karenakan adanya perbedaan kecepatan pada titik – titik reaksi pada setiap area droplet. *Microexplosion* ini di sebabkan akibat terjadinya *boiling point* antara penyusun dari minyak kelapa sawit. Penyusun dari minyak kelapa sawit telah habis terbakar sehingga yang tersisa hanyalah gliserol. Menurut Wardana (2008) gliserol akan terbakar pada akhir pembakaran dikarenakan memiliki titik nyala api lebih tinggi dibandingkan penyusun lainnya.



Gambar 4.9 Grafik pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap panjang api pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit



Gambar 4.10 Grafik pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap lebar api pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit

Pada Gambar 4.9 menunjukkan pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap panjang api pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit. Dari Gambar 4.9 didapatkan hasil dimensi panjang api yaitu *crude* adalah 30.20 mm, 100 MK adalah 27.41 mm, 300 MK adalah 22.24 mm, 500 MK adalah 17.81 mm, 100 KA adalah 24.01 mm, 300 KA adalah 21.69 mm, 500 KA adalah 16.21 mm, 100 MK+KA adalah 22.91 mm, 300 MK+KA adalah 21.31 mm, 500 MK+KA adalah 17.06 mm. Dari data diatas minyak kelapa sawit murni memiliki panjang api yang terbesar. Sedangkan penambahan minyak kayu putih memiliki panjang api yang lebih panjang dibandingkan dengan penambahan karbon aktif dan campuran minyak kayu putih + karbon aktif.

Pada Gambar 4.10 menunjukkan pengaruh variasi penambahan minyak kayu putih dan karbon aktif terhadap lebar api pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit. Dari Gambar 4.10 didapatkan hasil dimensi lebar api yaitu *crude* adalah 8.92 mm, 100 MK adalah 8.11 mm, 300 MK adalah 7.57 mm, 500 MK adalah 7.32 mm, 100 KA adalah 7.82 mm, 300 KA adalah 7.50 mm, 500 KA adalah 6.09 mm, 100 MK+KA adalah 7.36 mm, 300 MK+KA adalah 7.13 mm, 500 MK+KA adalah 6.26 mm. Dari data diatas minyak kelapa sawit murni memiliki lebar api yang terbesar. Sedangkan karbon aktif memiliki lebar api yang lebih pendek dibandingkan dengan penambahan minyak kayu putih.

Dapat diamati proses pembakaran yang cepat dapat membuat tinggi api yang di hasilkan semakin kecil. Ini di karenakan panjang api berbanding terbalik dengan difusitas molekular (Wardana, 2008:190). Semakin tinggi persentase minyak kayu putih maupun karbon aktif

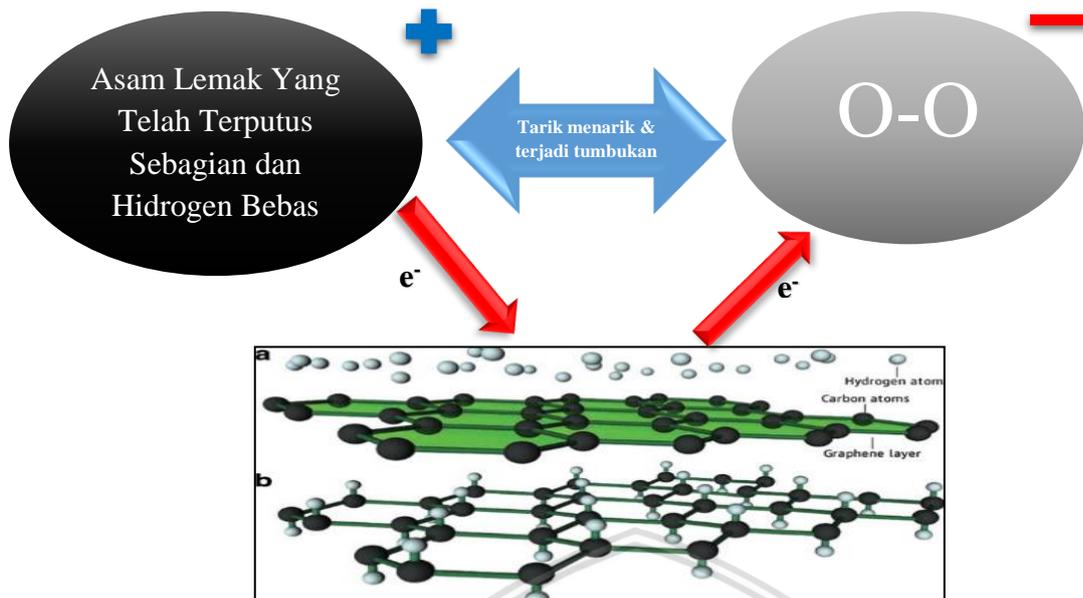
yang ditambahkan pada minyak kelapa sawit maka laju reaksi pembakarannya akan meningkat. Semakin meningkat laju reaksi pembakaran maka waktu nyala api yang dihasilkan relatif singkat sehingga panjang api yang dihasilkan semakin menurun.

Karbon aktif lebih memberikan efek dalam menurunkan dimensi panjang api dikarenakan mempunyai lebih banyak medan magnet dalam satu atom yang mengganggu ikatan atom minyak kelapa sawit dibanding dengan minyak kayu putih.

Seiring dengan penambahan karbon aktif dan minyak kayu putih terlihat bahwa semakin besar kecepatan dari reaksi pembakaran. Kecepatan reaksi pembakaran tersebut terjadi akibat penambahan karbon aktif dan minyak kayu putih yang menimbulkan induksi elektromagnetik yang mengganggu elektron yang ada pada minyak kelapa sawit beserta oksigen.

Karbon aktif mampu memperbaiki struktur sprei *graphene* yang mengalami kerusakan dengan mengikat atom karbon dari senyawa lain dengan memanfaatkan medan magnet lemah dari resonansi elektron struktur karbon aktif, sehingga memicu atom karbon pada trigliserida minyak kelapa sawit untuk terurai. Sehingga karbon aktif akan menarik atom karbon yang ada pada minyak kelapa sawit yang di gunakan untuk memperbaiki strukturnya yang cacat. *Graphene* pada karbon aktif ini akan mendapatkan atom karbon dari trigliserida yang mengakibatkan beberapa atom hidrogen menjadi radikal bebas. Sebagian atom hidrogen bebas ini akan berikatan dengan atom karbon pada *graphene* dan membentuk suatu alotrop yang disebut *graphane*, dan sebagian lainnya tetap menjadi radikal bebas. Atom hidrogen yang berikatan dengan atom karbon pada *graphene* memunculkan sifat magnetik pada molekul *graphane* (Os. Jorge, 2016). *Graphane* yang bersifat magnetik ini akan mengakibatkan penarikan elektron yang tersisa pada asam lemak yang membuat asam lemak tersebut menjadi bermuatan positif. Kemudian elektron pada karbon aktif akan berpindah menuju oksigen karena keelektronegatifan oksigen dan menyebabkan oksigen menjadi bermuatan negatif.

Kemudian terjadilah proses oksidasi antara atom atau molekul yang telah bermuatan dengan oksidator. Perbedaan muatan antara atom hidrogen yang bermuatan positif (yang ada pada molekul minyak kelapa sawit) dan oksigen (oksidator) yang bermuatan negatif akan menyebabkan reaksi tarik menarik antara keduanya dan menyebabkan terjadinya tumbukan antara molekul minyak kelapa sawit dan oksigen yang terjadi secara masif sehingga menyebabkan energi aktifasinya menurun. Energi aktifasi yang menurun ini akan menyebabkan kecepatan pembakarannya menjadi meningkat.



Gambar 4.11 Ilustrasi cara kerja karbon aktif dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak kelapa sawit

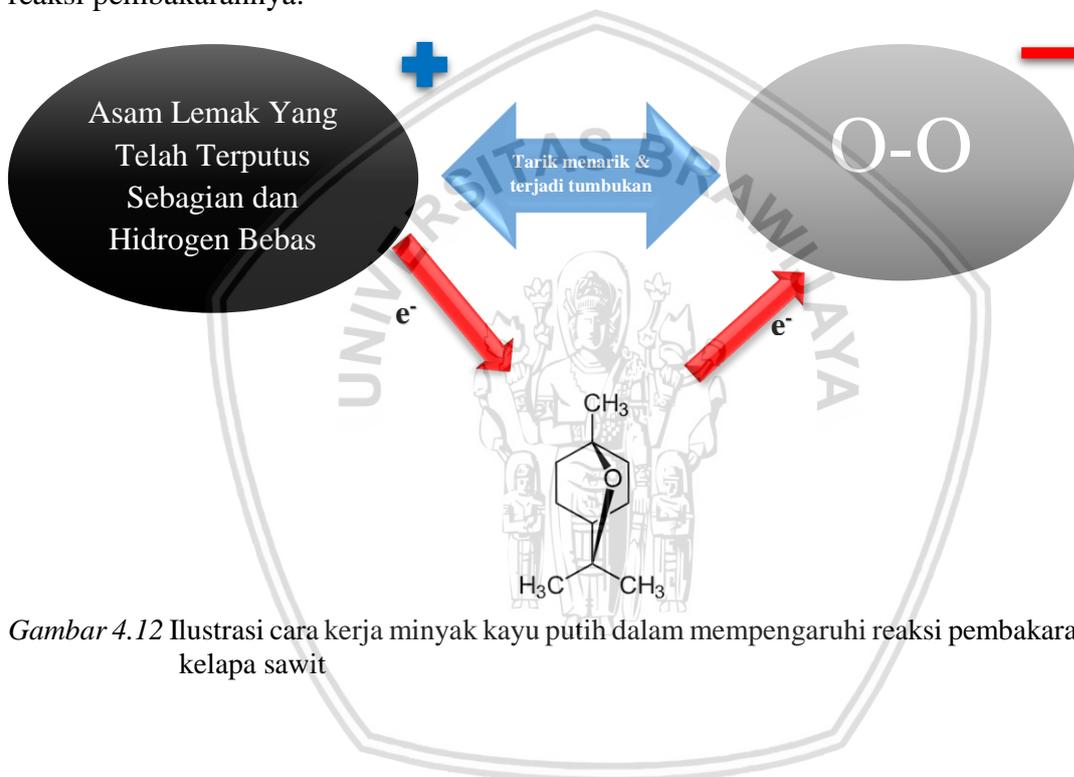
Penambahan minyak kayu putih sebagai bioaditif yang memiliki senyawa hidrokarbon rantai terbuka ini, berfungsi menurunkan energi aktivasi untuk memutuskan ikatan antara molekul minyak kelapa sawit sehingga membuat pembakaran menjadi lebih efektif. Minyak kayu putih juga mengandung banyak oksigen pada senyawa penyusunnya sehingga meningkatkan nilai pembakaran minyak kelapa sawit. Kandungan dalam struktur penyusun minyak kayu putih terdiri dari beberapa kandungan seperti sineol ( $C_{10}H_{18}O$ ), terpineol ( $C_{10}H_{17}OH$ ), dan beberapa jenis kandungan terpen yaitu 1-pinena, valerat dan benzoat aldehyd.

Sineol termasuk senyawa hidrokarbon yang memiliki cincin siklik namun belum stabil. Sineol cenderung akan melepas elektron untuk membuatnya memiliki cincin siklik yang akan membuat strukturnya menjadi stabil yaitu dengan melepas beberapa elektron atom O dan H. Cincin siklik yang terdapat pada struktur sineol diakibatkan loncatan elektron akibat ikatan konjugasi yang terdapat pada struktur heksagonalnya. Cincin siklik ini memiliki perbedaan muatan antara ikatan rangkap ganda dan tunggal, menyebabkan elektronnya mengalami dislokalisasi dan bergerak dari ikatan rangkap ganda menuju ikatan tunggal (resonansi elektron). Resonansi elektron ini akan menimbulkan medan magnet lemah disekitar cincin siklik sienol.

Medan magnet yang dihasilkan oleh resonansi elektron pada bioadiktif minyak kayu putih akan mengganggu orbit dari electron atom C pada susunan minyak kelapa sawit sehingga menyebabkan ikatan asam lemak dari minyak kelapa sawit akan melemah dan

menjadi mudah terlepas. Atom-atom bermuatan yang terlepas akibat pengaruh medan magnet dan saat pembentukan cincin siklik akan menjadi radikal bebas.

Medan magnet ini juga akan mengakibatkan molekul minyak dan oksigen akan menjadi bermuatan. Beberapa atom  $H^+$  yang terlepas dari inti atom minyak kelapa sawit akan berikatan dengan atom  $O^-$  yang terlepas dari oksigen menjadi uap air ( $H_2O$ ). Hal ini menyebabkan molekul minyak kelapa sawit bermuatan positif dan molekul oksigen sekarang bermuatan negatif. Terjadilah tarik menarik antar molekul minyak kelapa sawit dan oksigen dan menyebabkan terjadinya tumbukan antar molekul tersebut. Tumbukan ini terjadi secara masif dan mengakibatkan energi aktivasinya semakin menurun dan meningkatkan kecepatan reaksi pembakarannya.



Gambar 4.12 Ilustrasi cara kerja minyak kayu putih dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak kelapa sawit



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan data penelitian tentang pengaruh penambahan minyak kayu putih maupun karbon aktif terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penambahan bioaditif minyak kayu putih dan katalis karbon aktif dapat meningkatkan karakteristik pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit. Penambahan katalis dapat menurunkan dimensi api, menurunkan temperatur tertinggi pembakaran, mempersingkat waktu *ignition delay*, dan mempercepat reaksi pembakaran dengan karakteristik masing masing pada penambahan katalis tersebut.
2. Katalis karbon aktif lebih efektif dalam meningkatkan karakteristik pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit dibandingkan dengan bioaditif minyak kayu putih. Pada penambahan karbon aktif didapatkan dimensi dan temperatur tertinggi api lebih kecil, waktu *ignition delay* yang lebih singkat, serta reaksi pembakaran yang lebih cepat. Hal ini terjadi karena medan magnet dan gaya elektromagnetik yang ditimbulkan resonansi elektron pada struktur hidrokarbon karbon aktif lebih besar dibandingkan dan gaya elektromagnetik yang dihasilkan minyak kayu putih, sehingga pemutusan ikatan karbon dan hidrogen pada asam lemak minyak kelapa sawit lebih mudah terjadi. Akibatnya energi aktivasi yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan dengan katalis minyak kayu putih.

### 5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat meneliti lebih lanjut potensi minyak kelapa sawit sebagai energi alternatif mengingat ketersediaan tanaman kelapa sawit yang melimpah dan sebagai salah satu sumber defisa terbesar di Indonesia.
2. Untuk penelitian *droplet* selanjutnya dapat menggunakan kamera yang mempunyai fps lebih besar agar perekaman visualisasi nyala api dapat terekam dengan lebih jelas.
3. Untuk penelitian karakteristik pembakaran selanjutnya dengan menggunakan katalis agar ditingkatkan konsentrasinya sehingga bisa ditentukan tingkat maksimal dari suatu katalis dalam mempengaruhi karakteristik pembakaran *premix* maupun difusi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S.S. 2011. *A Theoretical Study of Liquid Droplet Combustion*. India: Aligarh Muslim University.
- Aldy. 2017. *Pengaruh Penambahan Karbon Aktif dengan Bahan Dasar Sekam Padi dan Batok Kelapa pada Pembakaran Droplet Minyak Jarak Pagar*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Budi, Esmar 2012. *Kajian pembentukan karbon aktif berbahan arang tempurung*. Seminar Nasional Fisika. Jakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta.
- Byan. 2017. *Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Karakteristik Pembakaran. Droplet Minyak Kelapa Sawit*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Chang, R. 2006. *Kimia Dasar: Konsep – Konsep Inti, Jilid Satu*. Jakarta: Erlangga.
- D. Wu, W. Wang, H. Sheng, and J. Yao, 2014 *Microexplosion of three-phase diesel methanol-water emulsion spray*, *Asian J. Chem.*
- F. K. Forson, E. K. Oduro, and E. Hammond-Donkoh 2004. *Performance of jatropha oil blends in a diesel engine*. *Jurnal Renewable Energy*.
- Gates, B. C. 1992. *Catalitic Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Imelda Juliana Sibarani 2018. *Analisis Kandungan dan Penentuan Kadar Sineol Pada Minyak Kayu Putih (Eucalyptus Robusta) dari PT. Toba Pulp Lestari dengan Metode GC-MS*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Medan: Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara.
- Jorge O.S. 2016, *Graphane: Two-dimensional Hydrocarbon*. Pennsylvania: The Pennsylvania State University.
- Kadarohman, Asep. 2009. *Eksplorasi Minyak Atsiri Sebagai Bioaditif Bahan Bakar Solar* *Jurnal Pengajaran MIPA*. 14/2.
- Konstantin, S., Zan, R., Ramasse, Q., Bangert, U. 2012. *Mesoscale and Nanoscale Physics*. Manchester: The University of Manchester. Daresbury: STFC Daresbury Campus.
- Mishra, D.P. 2014. *Experimental Combustion: an Introduction*. Boca Raton: CRC Press. <http://vcal-iitk.vlabs.ac.in/theory8.html> (diakses tanggal 18 Mei 2018).
- Mulyadi, T. 2005, *Studi pengelolaan kayu putih Melaleuca leucadendron Linn. Berbasis ekosistem di BDH Karangmojo, Gunung Kidul, Yogyakarta*, tesis, Program Pascasarjana S2 Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada.
- Murti, S. 2008. *Skripsi : pembuatan karbon aktif dari tongkol jagung untuk absorsi molekul amonia dan ion krom*. Depok: Universitas Indonesia.
- Quintere, J.G. 1998. *Principles of Fire Behavior*. New York: Delmar.

- Rajwinder, S., Sumeet, S., Gangacharyulu, D. 2016. *The Effect of Nano-Additive Blended Water-Diesel Emulsion Fuel on CI Engine Performance and Emissions- A review. International Journal of Computer Applications*. Patiala: Thapar University.
- Sudibandriyo 2013. *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu dengan Aktivasi Kalium*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Dinar Wijaya-Brawijaya University Press.
- Wijayanti, F. E. 2008. *Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Sumber Bahan Baku Produksi Metil Ester*. Jakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

