

**PENGARUH PENAMBAHAN MINYAK CENGKEH DAN KARBON
AKTIF TERHADAP KECEPATAN PEMBAKARAN *DROPLET*
MINYAK KAPUK RANDU**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**NELLA YUNITA SARY
NIM. 125060207111036**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN MINYAK CENGKEH DAN KARBON AKTIF TERHADAP KECEPATAN PEMBAKARAN *DROPLET* MINYAK KAPUK RANDU

SKRIPSI TEKNIK MESIN KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



NELLA YUNITA SARY
NIM. 125060207111036

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 16 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Purnami, ST., MT
NIP. 19770707 200812 1 005



Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

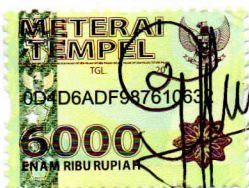
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 19 Juli 2018

Mahasiswa



Nella Yunita Sary

NIM. 125060207111036



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 091/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

NELLA YUNITA SARY

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH PENAMBAHAN MINYAK CENGKEH DAN KARBON AKTIF TERHADAP
KECEPATAN PEMBAKARAN DROPLET MINYAK KAPUK RANDU**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **16 JUL 2018**

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

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

NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu

Nama Mahasiswa : Nella Yunita Sary
 NIM : 125060207111036
 Program Studi : Teknik Mesin
 Minat : Teknik Konversi Energi

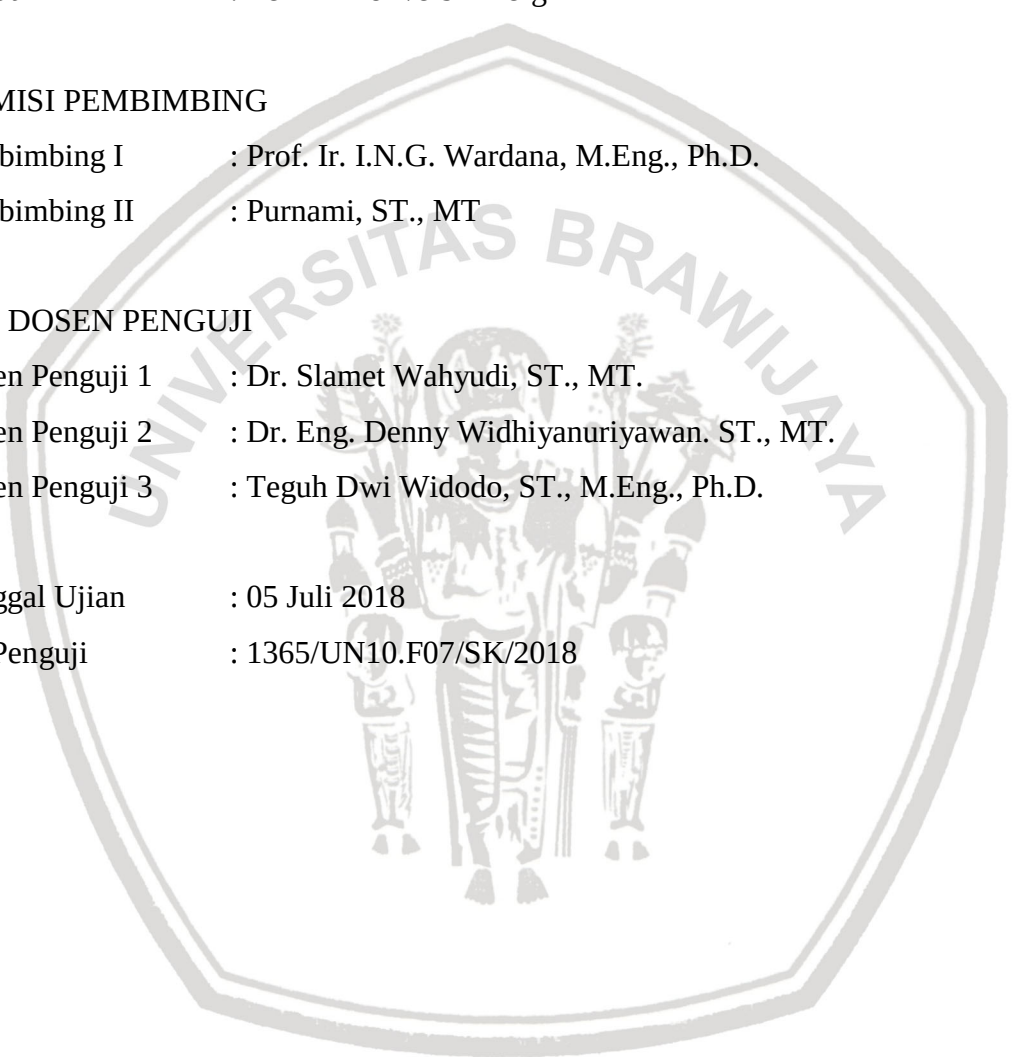
KOMISI PEMBIMBING

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

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
 Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan. ST., MT.
 Dosen Penguji 3 : Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D.

Tanggal Ujian : 05 Juli 2018
 SK Penguji : 1365/UN10.F07/SK/2018





*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:
Ibunda dan Ayahanda Tercinta*

RINGKASAN

Nella Yunita Sary, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu. Dosen Pembimbing: Prof. Ir. I.N.G Wardana, M.Eng., Ph.D. dan Purnami, ST., MT.

Minyak kapuk randu merupakan minyak nabati non pangan yang berpotensi menjadi bahan bakar alternatif *biodiesel*. Penggunaan minyak kapuk randu sebagai bahan bakar alternatif bertujuan untuk menanggulangi kelangkaan bahan bakar minyak yang sering terjadi di Indonesia. Minyak kapuk randu tidak bisa langsung dijadikan bahan bakar alternatif karena proses pembakarannya yang sangat lambat, sehingga diperlukan penambahan suatu zat atau katalis untuk mempercepat reaksi pembakarannya. Pada penelitian ini katalis yang digunakan untuk mempercepat reaksi pembakaran adalah minyak cengkeh dan karbon aktif. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh katalis minyak cengkeh dan karbon aktif terhadap reaksi kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu. Variasi kadar minyak cengkeh dan karbon aktif yang ditambahkan ke minyak kapuk randu masing-masing sebesar 0 ppm, 100 ppm, dan 300 ppm. Kecepatan pembakaran dapat diketahui dengan cara membandingkan perubahan besar diameter awal *droplet* hingga *droplet* habis terbakar. Semakin cepat diameter *droplet* berkurang menandakan semakin cepat juga reaksi pembakaran yang terjadi.

Berdasarkan dari analisis data hasil penelitian, penambahan katalis minyak cengkeh dan karbon aktif mempengaruhi kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu dengan semakin bertambahnya kadar minyak cengkeh dan karbon aktif akan semakin mempercepat proses pembakaran *droplet* minyak kapuk randu. Penambahan katalis karbon aktif lebih efektif dalam mempercepat reaksi pembakaran dibandingkan dengan penambahan katalis minyak cengkeh. Kemudian, pencampuran kedua katalis minyak cengkeh dan karbon aktif akan semakin meningkatkan kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu. Kecepatan pembakaran *droplet* yang paling cepat terjadi pada pencampuran minyak kapuk randu dengan 300 ppm katalis campuran minyak cengkeh dan karbon aktif. Sehingga dapat disimpulkan pencampuran katalis minyak cengkeh dan karbon aktif dengan konsentrasi yang lebih besar akan meningkatkan kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu.

Kata Kunci: Minyak Kapuk Randu, Minyak Cengkeh, Karbon Aktif, *Droplet*, Katalis, Kecepatan Pembakaran.

SUMMARY

Nella Yunita Sary, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2018, *The Effect of Clove Oil and Activated Carbon Addition on Droplet Combustion of Kapok Randu (Ceiba Pertandra) Oil Burning Rate*. Supervisor: Prof. Ir. I.N.G Wardana, M.Eng., Ph.D. and Purnami, ST., MT.

Kapok randu oil is a non-food vegetable oil that has the potential to become an alternative fuel for biodiesel. The use of kapok randu oil as an alternative fuel aims to tackle the scarcity of fuel oil that often occurs in Indonesia. Kapok randu oil can not be directly used as alternative fuel because the burning process is very slow, so it is necessary to add a substance or catalyst to accelerate the combustion reaction. In this study the catalysts used to accelerate the combustion reactions were clove oil and activated carbon. This research was conducted to see the effect of clove oil catalyst and activated carbon catalyst to the burning speed of droplet combustion of kapok randu oil. Variations of clove oil and activated carbon content of kapok randu oil were added at 0 ppm, 100 ppm and 300 ppm respectively. The firing rate of fire can be determined by comparing the major changes in the initial diameter of droplet until the droplet burns out. The faster the droplet diameter decreases, it means the faster the burning reaction occurs.

Based on the analysis of research data, the addition of clove oil and activated carbon catalysts affect the speed of droplet burning of kapok randu oil with increasing levels of clove oil and activated carbon will accelerate the process of droplet combustion of kapok randu oil. The addition of an activated carbon catalyst is more effective in accelerating the combustion reaction than the addition of clove oil catalyst. Then, mixing both clove oil catalyst and activated carbon catalyst will increase the burning speed of droplet of kapok randu oil. The fastest droplet burning speed occurs in mixing kapok randu oil with 300 ppm catalyst mixture of clove oil and activated carbon. So it can be concluded that mixing clove oil catalyst and activated carbon catalyst with greater concentration will increase the burning speed of droplet of kapok oil.

Keywords: Ceiba Pertandra oil, clove oil, activated carbon, droplet, catalyst, burning speed.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah terlibat dalam proses penyelesaian skripsi ini, Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua, Bapak Ratmin dan Ibu Endang Susilowati yang mendoakan agar penyusunan skripsi saya bisa lancar hingga selesai sampai tahap akhir serta terus memberikan dukungan dan semangat saat proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Ir. I.N.G Wardana, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing skripsi atas semua ilmu, saran dan waktu yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Purnami, ST., MT. selaku dosen pembimbing skripsi atas semua ilmu, saran dan waktu yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini
4. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
5. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin.
6. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST.,MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin.
7. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku KKDK Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin.
8. Bapak Ir. Hastono Wijaya, MT. selaku Kepala Laboratorium Metrologi Industri FT-UB yang terus memberikan saya dukungan dan semangat selama saya kuliah.
9. Ibu Dr. Femiana Gapsari, ST., Mt selaku dosen pembimbing di Laboratorium Metrologi Industri FT-UB yang selalu memberikan bimbingan kepada saya.
10. Bapak Hendry selaku mahasiswa progam doktor yang membantu saat penelitian.
11. Seluruh dosen pengajar dan staf administrasi Jurusan Teknik Mesin.
12. Keluarga besar asisten Laboratorium Metrologi Industri FT-UB yang sudah menerima saya dan memberikan banyak pengalaman.
13. Dzikrullah Ramadhan yang selalu memberikan semangat, doa dan kepercayaan diri selama penyusunan skripsi.

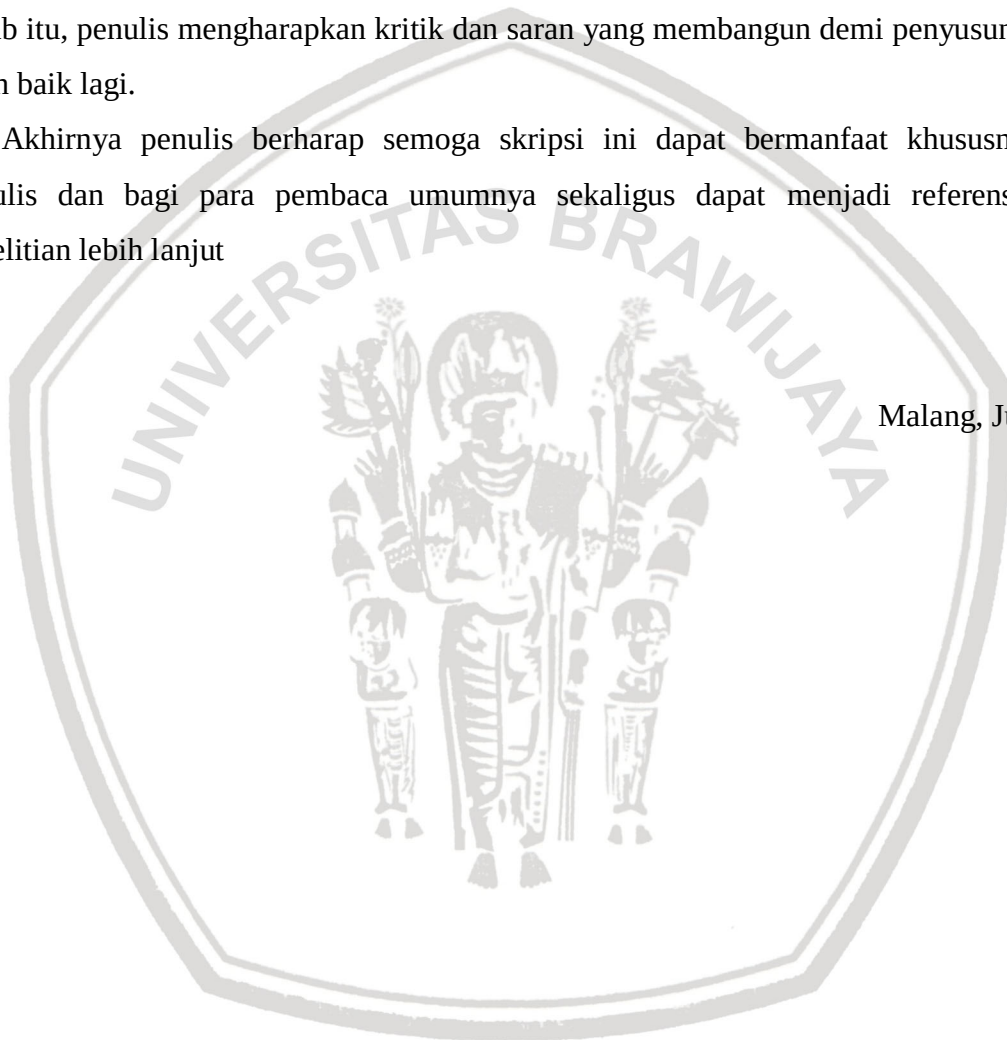
14. Kadek Dwi, Della Rohma dan Enrico Gultom sebagai teman kelompok selama penelitian dan penyusunan skripsi.
15. Keluarga besar Admiral (M12) yang pernah menjadi bagian selama di kampus khususnya.
16. Semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya dan penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut

Malang, Juni 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Minyak Nabati.....	5
2.2.1 Minyak Kapuk Randu	6
2.3 Katalis	8
2.3.1 Minyak Atsiri	9
2.3.1.1 Minyak Cengkeh.....	9
2.3.2 Karbon Aktif	10
2.4 Pembakaran.....	12
2.4.1 Pembakaran Droplet.....	13
2.4.2 Kecepatan Pembakaran Droplet.....	14
2.5 Microexplosion	15
2.6 Konsep Penelitian.....	16
2.6.1 Penambahan Minyak Cengkeh.....	16
2.6.2 Penambahan Karbon Aktif.....	18
2.7 Hipotesis.....	21

BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.4.1 Alat Penelitian	24
3.4.2 Bahan Penelitian	28
3.5 Instalasi Penelitian	30
3.6 Prosedur Pengambilan Data	31
3.7 Diagram Alir Penelitian	33
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 35
4.1 Hasil Penelitian	35
4.1.1 Data Hasil Penelitian	37
4.2 Analisis dan Pembahasan	37
4.2.1 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh Terhadap Kecepatan Api Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kapuk Randu	37
4.2.2 Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kapuk Randu	39
4.2.3 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kapuk Randu	40
4.2.4 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Pada Konsentrasi Yang Sama Terhadap Kecepatan Api Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kapuk Randu	41
4.2.5 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kapuk Randu	43
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	 47
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi asam lemak penyusun minyak biji kapuk randu	7
Tabel 2.2	Komponen minyak bunga cengkeh hasil distilasi uap.....	9



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Susunan ikatan molekul <i>triglyceride</i>	6
Gambar 2.2	Tanaman dan Biji Kapuk Randu	7
Gambar 2.3	Struktur Eugenol.....	10
Gambar 2.4	Lapisan atom karbon heksagonal.....	11
Gambar 2.5	Ilustrasi struktur kimia karbon aktif	11
Gambar 2.6	Bentuk nyala api pembakaran droplet	13
Gambar 2.7	Perubahan diameter droplet saat terbakar.....	14
Gambar 2.8	Skema tahapan <i>microexplosion</i>	16
Gambar 2.9	Cincin siklik pada senyawa <i>eugenol</i>	16
Gambar 2.10	Ilustrasi pembentukan medan magnet karena adanya gaya resonansi	17
Gambar 2.11	Ilustrasi resonansi yang terjadi pada <i>eugenol</i>	17
Gambar 2.12	Ilustrasi pengaruh <i>eugenol</i> terhadap ikatan asam lemak	18
Gambar 2.13	Ilustrasi struktur <i>graphene</i> pada karbon aktif.....	19
Gambar 2.14	Ilustrasi terbentuknya medan magnet pada <i>graphene</i> karbon aktif.....	19
Gambar 2.15	Ilustrasi pengaruh <i>graphene</i> terhadap asam lemak yang membentuk <i>graphane</i>	20
Gambar 3.1	Elemen Pemanas.....	24
Gambar 3.2	<i>Thermocouple</i>	25
Gambar 3.3	<i>Data Logger</i>	25
Gambar 3.4	Transfomator.....	26
Gambar 3.5	Kamera.....	27
Gambar 3.6	Alat pembuat <i>droplet</i>	27
Gambar 3.7	Katalis karbon aktif.....	29
Gambar 3.8	Minyak Cengkeh.....	29
Gambar 3.9	Minyak kapuk randu	29
Gambar 3.10	Instalasi Alat Penelitian	30
Gambar 4.1	Perubahan diameter <i>droplet</i> minyak kapuk randu 0 ppm.....	35
Gambar 4.2	Perubahan diameter <i>droplet</i> minyak kapuk randu dengan 100 ppm minyak cengkeh.....	35
Gambar 4.3	Perubahan diameter <i>droplet</i> minyak kapuk randu dengan 300 ppm minyak cengkeh	36

Gambar 4.4	Perubahan diameter <i>droplet</i> minyak kapuk randu dengan 100 ppm karbon aktif	36
Gambar 4.5	Perubahan diameter <i>droplet</i> minyak kapuk randu dengan 300 ppm karbon aktif	36
Gambar 4.6	Perubahan diameter <i>droplet</i> minyak kapuk randu dengan 100 ppm minyak cengkeh dan 100 ppm karbon aktif	36
Gambar 4.7	Perubahan diameter <i>droplet</i> minyak kapuk randu dengan 300 ppm minyak cengkeh dan 300 ppm karbon aktif	37
Gambar 4.8	Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi minyak cengkeh	37
Gambar 4.9	Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi karbon aktif	39
Gambar 4.10	Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi campuran minyak cengkeh dan karbon aktif	40
Gambar 4.11	Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran terhadap variasi penambahan katalis pada konsentrasi yang sama 100 ppm terhadap minyak kapuk randu	41
Gambar 4.12	Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran terhadap variasi penambahan katalis pada konsentrasi yang sama 300 ppm terhadap minyak kapuk randu	42
Gambar 4.13	Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan karbon aktif pada kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu.....	43
Gambar 4.14	Pengaruh resonansi eugenol yang menimbulkan medan magnet terhadap ikatan asam lemak.....	45
Gambar 4.15	Perpindahan elektron dan proses oksidasi karbon aktif dengan asam lemak.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data Hasil Penelitian



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dikarenakan semakin bertambahnya kebutuhan manusia terhadap penggunaan minyak bumi sebagai bakar, kandungan minyak bumi di dunia semakin menipis sehingga diprediksi cadangan minyak bumi hanya cukup untuk beberapa tahun ke depan. Hasil simulasi dengan model sistem dinamik menunjukkan bahwa sampai tahun 2016 penyediaan BBM dapat memenuhi konsumsi BBM. Tahun 2017 sampai tahun 2025, penyediaan BBM tidak dapat memenuhi konsumsi BBM dalam negeri. Hal ini dikarenakan peningkatan konsumsi BBM melebihi peningkatan penyediaan BBM. Peningkatan konsumsi BBM menyebabkan peningkatan emisi CO₂ dari pembakaran BBM. Pada tahun 2025, diperkirakan penyediaan BBM mencapai 672.55 juta barel, konsumsi BBM mencapai 752.72 juta barel dan emisi CO₂ mencapai 360 miliar ton (Sa'adah, 2016).

Dengan kondisi konsumsi BBM yang lebih besar dari ketersediaan BBM tersebut tersebut diperlukan upaya untuk menaggulangnya, yaitu dengan membuat sumber energi baru atau sumber enenrgi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*). Salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui yang sedang dikembangkan adalah penggunaan bahan bakar minyak nabati. Minyak nabati adalah minyak yang diekstrak dari berbagai bagian tumbuhan yang berpotensi untuk dikembangkan menjadi suatu bentuk energi bahan bakar yang disebut biodiesel.

Bahan bakar minyak nabati terbagi menjadi bahan bakar minyak nabati pangan contohnya yaitu minyak kelapa sawit, minyak jagung, minyak kedelai, dll. Yang kedua yaitu bahan bakar minyak nabati non pangan, penggunaan minyak nabati non pangan sebagai bahan bakar tidak akan mempengaruhi ketersediaan bahan pangan yang dapat dikonsumsi sehari-hari. Salah satu minyak nabati non pangan yang berpotensi menjadi bahan bakar adalah minyak kapuk randu (*Ceiba Pentandra*).

Kelebihan dari minyak kapuk randu adalah bahan baku dari minyak yaitu biji kapuk adalah bahan yang mudah didapatkan dengan harga yang relatif murah, karena pemanfaatan tanaman kapuk sendiri umumnya berasal dari serat kapuk yang digunakan sebagai bahan isian bantal dan kasur, sedangkan biji kapuk masih belum begitu dimanfaatkan.

Tetapi penggunaan minyak kapuk randu sebagai bahan bakar tidak bisa digunakan secara langsung dikarenakan kandungan penyusun minyak kapuk randu sebagian besar berupa asam lemak tidak jenuh dapat menimbulkan reaksi pembakaran yang lambat. Maka dari itu dibutuhkan pencampuran dengan bahan lain sebagai katalis untuk mempercepat reaksi pembakaran yang terjadi di minyak kapuk randu. Pada penelitian ini katalis yang digunakan untuk mempercepat reaksi pembakaran minyak kapuk randu adalah katalis minyak cengkeh dan karbon aktif.

Pencampuran minyak cengkeh dan minyak kapuk randu diharapkan bisa mempercepat reaksi pembakaran karena berdasarkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh dilakukan oleh Mirrah (2016) dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase minyak cengkeh, maka dimensi tinggi api semakin menurun karena cepatnya pembakaran dan penguapan yang terjadi. Kemudian kecepatan api pembakaran dan temperatur semakin meningkat seiring dengan pertambahan kadar minyak cengkeh.

Sedangkan untuk penambahan karbon aktif didasarkan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Tsaqif (2017) yang melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan kadar karbon aktif terhadap kecepatan api pembakaran *premix* dengan bahan bakar minyak jarak. Hasilnya penambahan karbon aktif akan mengakibatkan kecepatan api pembakaran *premix* minyak jarak meningkat dan seiring dengan penambahan kadar karbon aktif juga semakin meningkatkan kecepatan api pembakaran *premix* dengan bahan bakar minyak jarak. Dari hasil penelitian tersebut, kecepatan api tertinggi terjadi pada penambahan karbon aktif sebesar 0,03 g yaitu 68,25 cm/s. Sedangkan pembakaran minyak jarak tanpa campuran karbon aktif hanya menghasilkan kecepatan api *premix* sebesar 28.48 cm/s. Penambahan karbon aktif hanya efektif pada range *equivalence ratio* tertentu yaitu pada range 0,97 sampai 1,65.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini berdasarkan latar belakang yang dijelaskan sebelumnya adalah bagaimana pengaruh penambahan minyak cengkeh dan karbon aktif yang digunakan sebagai katalis terhadap kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih tidak meluas dari permasalahan yang dibahas, maka batasan masalah yang digunakan dalam skripsi ini adalah:

- a. Minyak kapuk randu yang digunakan adalah minyak mentah yang belum diolah.
- b. Karakteristik yang diamati adalah kecepatan api pembakaran yang terjadi pada pembakaran *droplet*.
- c. Tekanan pada pengujian dilakukan pada tekanan konstan yaitu tekanan atmosfer.
- d. Jarak kamera terhadap *droplet* adalah 25 mm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian pada skripsi ini adalah untuk membandingkan kecepatan api pembakaran *droplet* dari campuran minyak cengkeh dan minyak kapuk randu dengan campuran karbon aktif dan minyak kapuk randu.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai referensi tambahan untuk penelitian selanjutnya tentang kecepatan pembakaran *droplet* campuran minyak kapuk randu dengan minyak cengkeh dan karbon aktif.
2. Menambah wawasan mengenai pemanfaatan minyak cengkeh dan karbon aktif sebagai campuran bahan bakar minyak nabati khususnya minyak kapuk randu.
3. Menambah referensi dan wawasan tambahan tentang ilmu yang berhubungan dengan konsentrasi Konversi Energi di Teknik Mesin.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Syihabun (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan kadar karbon aktif terhadap kecepatan api pembakaran *premix* dengan bahan bakar minyak jarak. Hasilnya penambahan karbon aktif akan mengakibatkan kecepatan api pembakaran *premix* minyak jarak meningkat seiring dengan penambahan kadar karbon aktif juga semakin meingkatkan kecepatan api pembakaran *premix* dengan bahan bakar minyak jarak. Dari hasil penelitian tersebut, kecepatan api tertinggi terjadi pada penambahan karbon aktif sebesar 0,03 g yaitu 68,25 cm/s. Sedangkan pembakaran minyak jarak tanpa campuran karbon aktif hanya menghasilkan kecepatan api *premix* sebesar 28.48 cm/s.

Pada penelitian tentang pengaruh persentase penambahan minyak cengkeh terhadap karakteristik pembakaran droplet minyak jarak yang dilakukan oleh Mirrah (2016) dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase minyak cengkeh, maka dimensi tinggi api semakin menurun karena cepatnya pembakaran dan penguapan yang terjadi. Kemudian kecepatan api pembakaran dan temperatur semakin meningkat seiring dengan pertambahan kadar minyak cengkeh.

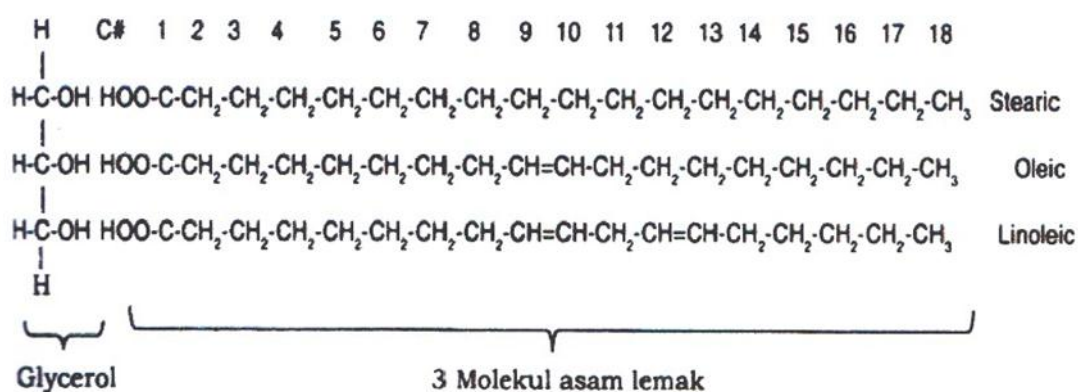
Pada penelitian Yuntyansyah (2016) tentang pengaruh penambahan presentase karbon aktif pada pembakaran *droplet* bahan bakar minyak biji bunga matahari dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya persentase kandungan karbon aktif cenderung membuat tinggi dan lebar api pembakaran serta *ignition delay* menurun tetapi meningkatkan nilai *burning rate*. Dari hasil penelitian penelitian tersebut juga dapat diketahui bahwa karbon aktif dapat mempercepat reaksi pembakaran dengan memotong ikatan ganda menjadi ikatan tunggal pada minyak biji bunga matahari.

2.2 Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan minyak yang diekstrak dari semua bagian tanaman, baik itu tanaman buah-buahan, kacang-kacangan, sayur-sayuran, biji-bijian dan akar tanaman. Pada umumnya minyak nabati berupa cairan dan mengandung sejumlah asam lemak tidak jenuh

yaitu asam oleat ($C_{17}H_{33}COOH$), asam linoleat ($C_{17}H_{31}COOH$), atau asam linolenat ($C_{17}H_{29}COOH$).

Minyak nabati terdiri dari unsur C,H, dan O yang ada pada molekul *triglyceride*. Fungsi utama dari *triglyceride* adalah sebagai bahan bakar. Semakin panjang atom C asam lemak, maka titik cair semakin tinggi dan akan sulit untuk terbakar. Susunan rantai kimia dari *triglyceride* dapat dilihat pada Gambar 2.1, dimana *triglyceride* terdiri dari *glycerol* yaitu alkohol dengan rantai 3 karbon sebagai tulang punggung (rantai utama) dan 3 cabang asam lemak dengan rantai 18 karbon atau 16 karbon. Asam lemak merupakan rantai hidrokarbon lurus, panjang yang berisi 12 sampai 24 atom karbon. Salah satu ujung molekul asam lemak berisi kelompok asam *carboxylic* (COOH). Dari kelompok asam *carbocyclic* dapat dihitung jumlah atom karbon. (Wardana, 2008,p. 37)



Gambar 2.1 Susunan ikatan molekul *triglyceride*

Sumber : Wardana (2008,p.38)

2.2.1 Minyak Kapuk Randu

Minyak kapuk randu adalah minyak yang didapatkan dari biji tanaman kapuk randu. Tanaman kapuk randu (*Ceiba Pertandra*) adalah pohon tropis yang tergolong ordo Malvaceae. Pohon kapuk memiliki buah yang bentuknya memanjang dengan panjang 7,5-15 cm yang menggantung dan memiliki kulit yang keras dan berwarna hijau hingga berwarna coklat. Dalam buahnya terdapat biji yang dikelilingi bulu-bulu halus dan serat kekuning-kuningan yang merupakan campuran dari lignin dan selulosa. Biji kapuk randu memiliki bentuk bulat, kecil-kecil dan berwarna hitam. Tanaman dan biji kapuk randu dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tanaman dan Biji Kapuk Randu
Sumber : Tohari (2015)

Minyak biji kapuk randu berwarna kuning kecoklatan, berbau tengik. Untuk mendapatkan minyak kapuk randu dapat dilakukan dengan cara pengepressan dan ekstrasi pelarut. Pengepresan adalah cara ekstraksi lemak atau minyak terutama untuk bahan yang berasal dari biji-bijian yang dilakukan secara mekanik. Pengepresan dilakukan untuk bahan-bahan yang memiliki kandungan minyak yang tinggi sekitar 30-70%. Sedangkan proses penggunaan ekstraksi pelarut dilakukan dengan cara penghancuran biji kapuk hingga berbentuk bubuk kemudian dilarutkan dengan etanol dan asam atau dilarutkan dalam N-Hexane dan asam. Penambahan asam disini berfungsi untuk mencegah ikatan *gossypol* (pigmen warna biji kapuk) dengan protein.

Minyak kapuk randu terdiri dari campuran triester gliserol dan asam lemak yang secara umum disebut trigliserida (*triglyceride*). Kandungan minyak pada biji kapuk sekitar 25%–40%. Minyak kapuk randu memiliki 15-20% asam lemak jenuh dan 80-85% asal lemak tidak jenuh (Yuniwati, 2012). Jenis asam lemak penyusun minyak kapuk randu dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Komposisi asam lemak penyusun minyak kapuk randu

No	Asam Lemak	Kadar (100%)
1	Asam Kaprat	14,83 %
2	Asam Laurat	5,34 %
3	Asam Miristoleat	2,07 %
4	Asam Palmitat	18,91 %
5	Asam Oleat	48,00 %
6	Asam Linoleat	0,99 %

7	Asam Arasidat	1,09 %
8	Asam Behenat	0,06 %

Sumber: Yuniwati (2012)

Dari tabel dapat diketahui bahwa penyusun asam lemak terbesar dari minyak kapuk randu adalah asam oleat. Asam oleat sendiri adalah asam lemak yang tidak jenuh. Asam oleat tersusun dari 18 atom C dengan satu ikatan rangkap di antara atom C ke-9 dan ke-10. Dengan rumus kimia $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$. Dengan adanya ikatan rangkap pada asam oleat yang terdapat pada minyak kapuk ini dibutuhkan energi aktivasi yang lebih besar untuk memudahkan terjadinya pembakaran. Selain itu dengan banyaknya kandungan asam yang ada pada minyak kapuk randu menandakan semakin banyak juga atom C yang terkandung, semakin panjang atom C pada asam lemak, maka titik cair semakin tinggi dan akan sulit untuk terbakar. (Wardana, 2008)

2.3 Katalis

Katalis berfungsi merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul sehingga ikatan atomnya akan putus atau meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi pecah dan bermuatan. (Wardana, 2008). Menurut Gates (1992) katalis adalah sebuah zat yang mempercepat laju reaksi kimia, tapi tidak dikonsumsi dalam reaksi dan tidak mempengaruhi kesetimbangannya. Katalis dapat mempercepat laju reaksi karena kemampuan mengadakan interaksi paling sedikit satu molekul reaktan untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif. Interaksi ini dapat meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan, meningkatkan konsentrasi akibat lokalisasi reaktan, sehingga meningkatkan jumlah tumbukan dan membuka alur reaksi dengan aktivasi yang lebih rendah.

Menurut Wardana (2008) katalis dibedakan menjadi dua jenis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang berada dalam fase yang sama dengan reaktan, dan katalis heterogen adalah katalis yang berbeda fase dengan reaktannya. Pada katalis homogen katalis berupa molekul yang mengkordinasi reaksi, sedangkan katalis heterogen menyediakan permukaan sebagai tempat reaksi berlangsung. Pada penelitian ini menggunakan katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen dimana minyak kapuk randu sebagai reaktan dan minyak cengkeh sebagai katalis yang sama-sama berada pada fase cair. Sedangkan katalis heterogen yaitu pada minyak kapuk randu sebagai reaktan pada fase cair dengan karbon aktif sebagai katalis yang berfase padat sebagai penyedia permukaan.

2.3.1 Minyak Atsiri

Minyak atsiri dikenal dengan banyak nama, diantaranya yaitu minyak aromatik (*aromatic oil*) atau minyak esensial (*essential oil*), selain itu minyak atsiri juga dikenal sebagai minyak terbang (*volatile oil*) dan juga minyak eterik (*aetheric oil*). Minyak atsiri adalah minyak yang diekstrak dari tanaman yang mempunyai sifat mudah menguap pada suhu kamar tanpa adanya dekomposisi. Minyak atsiri merupakan salah satu hasil proses metabolisme dalam tanaman yang terbentuk karena reaksi berbagai senyawa kimia dan air. Sifat dari minyak atsiri yang lain adalah mempunyai rasa getir (*pungent taste*), berbau wangi sesuai dengan bau tanaman penghasilnya, yang diambil dari bagian-bagian tanaman seperti daun, buah, biji, bunga, rimpang, kulit kayu, bahkan seluruh bagian tanaman. Minyak atsiri mudah larut dalam pelarut organik seperti alkohol, eter, petroleum, benzene, dan tidak larut dalam air (Sandler, 1952).

2.3.1.1 Minyak Cengkeh

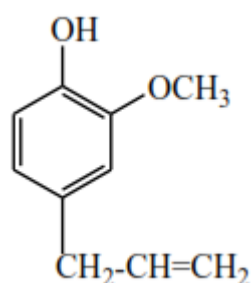
Minyak cengkeh adalah minyak atsiri yang berasal dari tanaman cengkeh (*Syzygium aromaticum*). Minyak cengkeh berwarna kuning pucat, bila terkena cahaya matahari akan segera berubah menjadi coklat gelap. Kelimpahan kandungan dalam minyak cengkeh bergantung dari jenis, asal tanaman, metode isolasi, dan metode analisa yang digunakan. (Alma, 2007). Minyak cengkeh umumnya diisolasi dari bunga cengkeh kering. Isolasi minyak bunga cengkeh umumnya menggunakan metode distilasi uap, metode tersebut aman dan mudah bagi lingkungan karena tidak menggunakan pelarut organik yang berbahaya. Distilasi bunga cengkeh diperlukan waktu 8-24 jam untuk menghasilkan minyak cengkeh yang memenuhi syarat mutu SNI. (Guenther, 2011).

Tabel 2.2 Komponen minyak bunga cengkeh hasil distilasi uap

No	Nama Senyawa	Waktu Retensi (menit)	Kandungan (%)
1	Eugenol	16,791	81,2
2	trans(beta)-Karyofilen	17,797	3,92
3	alfa-Humulene	18,255	0,45
4	Eugenil asetat	19,051	12,43
5	Karyofilen oksida	20,039	0,25
6	Trimetoksiasetofenon	21,254	0,53

Sumber : Prianto (2013)

Berdasarkan dari tabel 2.2 dapat diketahui kandungan dari minyak cengkeh yang terdiri dari 6 komponen. Dari 6 komponen tersebut, 3 diantaranya memiliki cincin aromatis dengan persentase area yang besar yaitu *eugenol*, *eugenil asetat* dan trimetoksiasetofenon, sedangkan 3 komponen lainnya merupakan senyawa golongan sesquiterpen yaitu trans-Karyofilen, alfa-Humulen, dan karyofilen oksida. (Prianto, 2013). Minyak cengkeh dapat larut dalam minyak bensin dan hasil analisis terhadap komponen penyusunnya banyak mengandung atom oksigen (Kadarohman, 2003). Atom oksigen dalam minyak cengkeh sebagian besar terletak pada struktur *eugenol*. Jadi dalam proses pembakaran struktur *eugenol* ini yang menyebabkan kecepatan reaksi pembakaran meningkat. Struktur kimia *eugenol* dapat dilihat pada gambar 2.3.



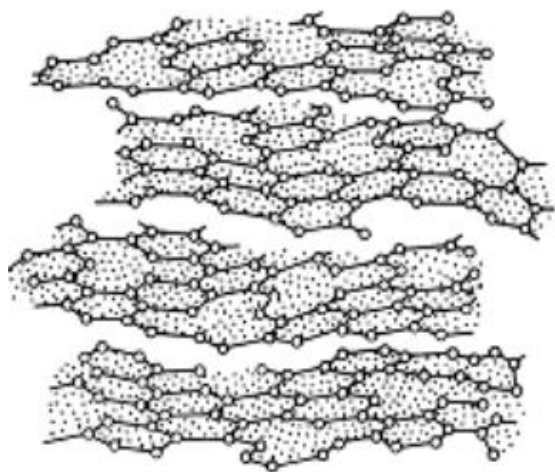
Gambar 2.3 Struktur *Eugenol*
Sumber : Sastrohamidjojo (2004)

2.3.2 Karbon Aktif

Karbon aktif atau disebut juga arang aktif adalah suatu material yang memiliki permukaan yang sangat besar dan memiliki pori-pori yang sangat banyak yang berfungsi untuk menyerap apa saja yang dilalui. Menurut Hendra, dkk (2009), karbon aktif adalah karbon dengan struktur amorphous atau mikrokristalin yang dengan perlakuan khusus dapat memiliki luas permukaan dalam yang sangat besar antara 300-2000 m²/gram. Sifat adsorpsinya yang selektif tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat arang aktif.

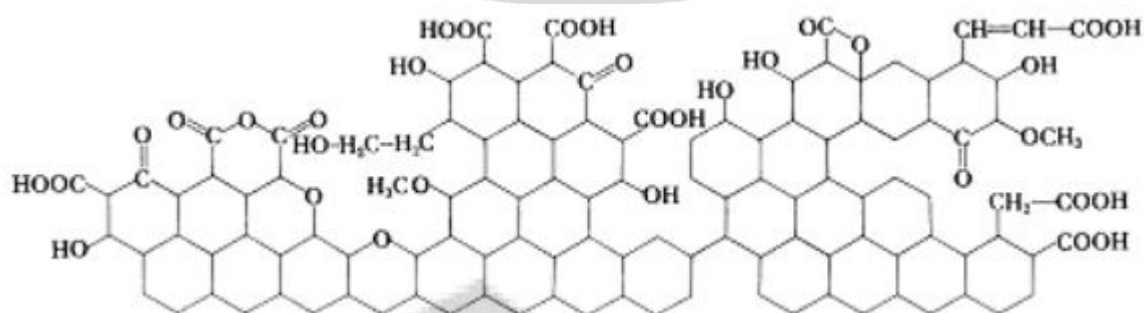
Karbon atau arang aktif adalah material yang berbentuk butiran atau bubuk yang berasal dari material yang mengandung karbon misalnya batubara, kulit kelapa, dan sebagainya. Dengan pengolahan tertentu yaitu proses aktivasi seperti perlakuan dengan tekanan dan suhu tinggi, dapat diperoleh karbon aktif yang memiliki permukaan dalam yang luas. (Fatta, 2008)

Struktur fisik karbon aktif mempunyai susunan seperti plat-plat, bedanya terletak pada tumpukan lapisan-lapisannya dimana tumpukan lapisan grafit lebih beraturan daripada lapisan karbon. Struktur dasar karbon aktif berupa struktur kristalin yang sangat kecil (mikrostalin). Karbon aktif memiliki bentuk amorf yang tersusun atas lapisan bidang datar diaman atom-atom akrbon tersusun dan terikat secara kovalen dalam tatanan atom-atom heksagonal. (Sudibandriyo, 2003). Bentuk lapisan-lapisan karbon aktif dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Lapisan atom karbon heksagonal
Sumber : Sudibandriyo (2003)

Dalam lapisan karbon, tidak hanya terdiri dari atom karbon tapi juga ada sedikit atom hidrogen dan oksigen (terlihat pada Gambar 2.5) yang terikat pada gugus fungsi misalnya karboksil, fenol, dan eter. Gugus fungsi ini dapat berasal dari bahan baku karbon aktif dan bisa juga terbentuk selama proses aktivasi karena adanya interaksi radikal bebas permukaan karbon dengan oksigen atau nitrogen yang berasal dari atmosfer. Dan gugus fungsi ini yang menjadikan permukaan karbon aktif reaktif secara kimia dan dapat mempengaruhi sifat adsopsinya (Murti, 2008).



Gambar 2.5 Ilustrasi struktur kimia karbon aktif
Sumber : Sudibandriyo (2003)

Secara umum proses pembuatan karbon aktif terdiri dari 3 tahap diantaranya dehidrasi yaitu proses penghilangan kandungan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif dengan cara dipanaskan sampai suhu 170° , kemudian dilanjutkan dengan tahap karbonisasi yaitu proses pembakaran material organik pada bahan baku menjadi karbon. Pembentukan karbon terjadi pada suhu $400-600^{\circ}\text{C}$. Karbonisasi menyebabkan sebagian besar unsur non-karbon hilang dari bahan baku dan struktur pori-pori mulai terbentuk. Penambahan suhu saat pembakaran diperlukan untuk mempercepat pembentukan pori, tetapi suhu yang terlalu tinggi saat pembakaran dapat mengakibatkan terbentuknya abu yang berlebihan yang dapat menutupi pori-pori dan membuat luas permukaan berkurang serta daya adsorpsinya menurun. Karbonisasi akan dihentikan jika bahan baku sudah tidak mengeluarkan asap lagi. Tahap yang terakhir yaitu aktivasi yang dilakukan untuk memperluas permukaan dan meningkatkan daya adsorpsi karbon aktif. Pada tahap ini terjadi pelepasan hidrokarbon, tar, dan senyawa organik yang masih melekat pada karbon tersebut.

2.4 Pembakaran

Menurut Wardana (2008), pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen dan udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Syarat terjadinya proses pembakaran yaitu adanya bahan bakar, pengoksidasi berupa oksigen atau udara serta adanya panas atau energi aktivasi untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar. Agar dapat terjadi proses pembakaran, molekul-molekul bahan bakar dibuat bermuatan dengan cara memutus ikatan rantai molekul atau melepaskan beberapa elektron dari kulit terluar atom. Sehingga molekul-molekul bermuatan tersebut akan sangat mudah bereaksi karena ketidakstabilan muatannya karena ia akan mudah tertarik oleh molekul dengan muatan berlawanan.

Ada dua hal yang selalu terjadi ketika terjadi proses pembakaran, yaitu:

1. Komposisi spesies campuran berubah terhadap waktu, perubahan ini disebabkan oleh proses pada tingkat molekuler.
2. Ikatan-ikatan molekul yang mudah lepas kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikat dilepas ke dalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur.

Dari hal-hal tersebut juga diperlukan kesetimbangan energi dan kesetimbangan massa agar proses pembakaran dapat terjadi. (Wardana, 2008, p.55)

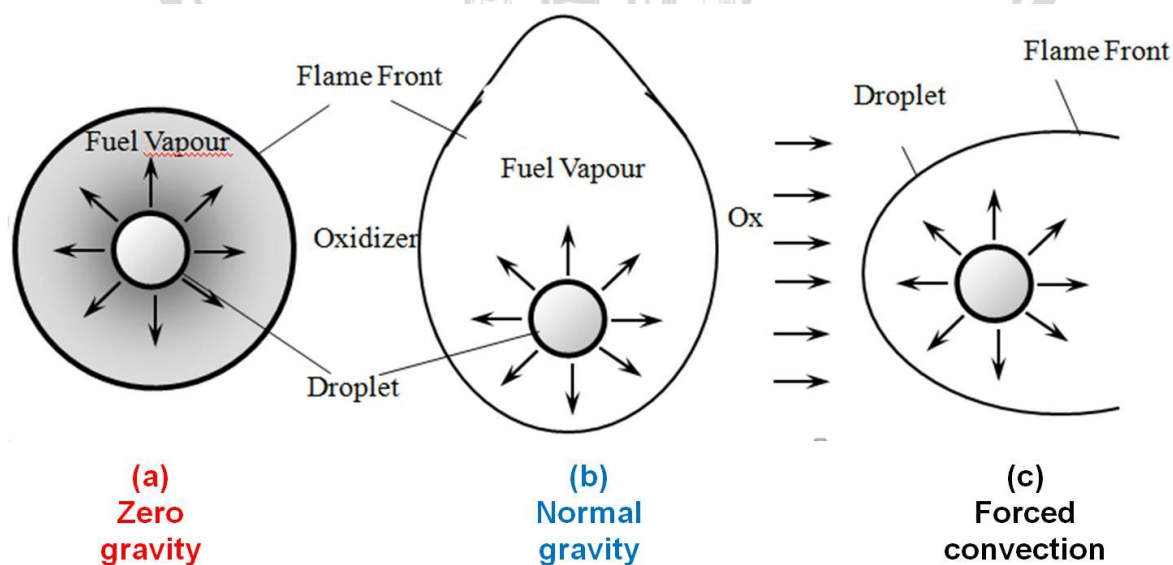
Menurut Soetiari (1990) dalam proses pembakaran, diharapkan untuk selalu terjadi pembakaran yang sempurna. suatu pembakaran dapat dikatakan sempurna apabila memenuhi beberapa syarat, diantaranya :

1. Terjadinya penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Adanya udara yang cukup.
3. Terjadinya campuran homogen antara bahan bakar dan udara
4. Pembakaran terjadi pada temperatur yang sangat tinggi.

2.4.1 Pembakaran Droplet

Untuk melihat karakteristik atau fenomena-fenomena yang muncul pada pembakaran minyak nabati biasanya dilakukan ketika bahan bakar dibuat berbentuk droplet supaya dapat memperoleh karakteristik pembakaran dari susunan terkecil. Pembakaran droplet adalah pembakaran dimana perpindahan massa bahan bakar, udara, dan panas didominasi oleh api difusi berbentuk bola disekeliling sebuah droplet (partikel air kecil seperti rintik hujan) bahan bakar cair. (Wardana, 2008). Ukuran droplet berkisar antara 10^{-2} cm sampai 1 cm.

Saat proses pembakaran *droplet*, panas yang dihasilkan dari pembakaran akan merambat keluar daerah *flame front* yang disebut *heatloss* dan panas ini banyak dimanfaatkan menjadi energi lain. Kemudian juga ada panas yang merambat menuju permukaan *droplet*. Temperatur hasil pembakaran *droplet* akan berpindah menuju permukaan *droplet* secara konveksi. Temperatur inilah yang digunakan untuk merubah fase *droplet* dari cair menjadi gas.



Gambar 2.6 Bentuk nyala api pembakaran droplet

Sumber : *Virtual Combustion and Atomation Laboratory* (ITT Kanpur), (2008)

Bentuk api dari pembakaran *droplet* akan di pengaruhi oleh kondisi gravitasi di sekitar *droplet*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.6. Pembakaran *droplet* pada kondisi dimana gravitasi rendah atau *microgravity*, api dapat berbentuk lingkaran yang disebabkan oleh tidak adanya gaya apung. Tapi jika dalam kondisi gravitasi normal, api akan berbentuk lonjong dan bahkan memanjang ke atas dikarenakan gaya apung yang akan mendorong gas panas ke atas. Bentuk nyala api juga bisa berbentuk tidak bulat yang terjadi dalam keadaan konveksi paksa atau *force convection* dimana nyala api mengikuti arah aliran.

2.4.2 Kecepatan Pembakaran *Droplet*

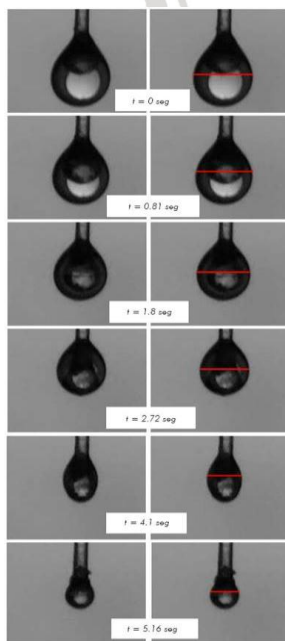
Kecepatan pembakaran adalah kecepatan suatu bahan bakar untuk terbakar hingga bahan bakar tersebut terbakar habis (Quintiere, 1997). Dalam pembakaran *droplet*, kecepeatan api pembakaran dapat dilihat dari seberapa cepat *droplet* habis terbakar. Untuk mengetahui nilai kecepatan pembakaran *droplet* dapat dilakukan dengan cara menghitung perbandingan diameter awal *droplet* terhadap diameter *droplet* tiap waktunya hingga *droplet* tersebut habis.

$$(dt/d_0)^2 \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

dt : diameter *droplet* pada waktu tertentu (mm)

d_0 : diameter awal *droplet* (mm)



Gambar 2.7 Perubahan diameter *droplet* saat terbakar
Sumber : Lohman (2015)

Terlihat pada Gambar 2.7 diameter *droplet* akan terus berkurang hingga senyawa bahan bakar habis dan tidak ada yang dapat bereaksi lagi. Reaksi yang dihasilkan dari bahan bakar yang terbakar habis adalah berupa cahaya dan panas. Semakin cepat reaksi pembakaran yang terjadi maka semakin cepat api akan terbentuk, dengan api yang terbentuk mengakibatkan diameter *droplet* semakin kecil dan cepat habis. Untuk mendapatkan nilai kecepatan pembakaran dapat dihitung dari persamaan :

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

$$K_c = - \left(\frac{D t^2 - D_0^2}{t} \right) \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana :

- D : diameter *droplet* pada waktu tertentu (mm)
- D₀ : diameter *droplet* awal (mm)
- K_c : *burning rate constant* (mm²/s)
- t : *burning life time* (s)

data yang diperoleh dari hasil penelitiann akan disubstitusikan ke persamaan (2-2). Jika *burning life time* semakin kecil, maka akan memperbesar nilai kecepatan pembakaran (*burning rate*).

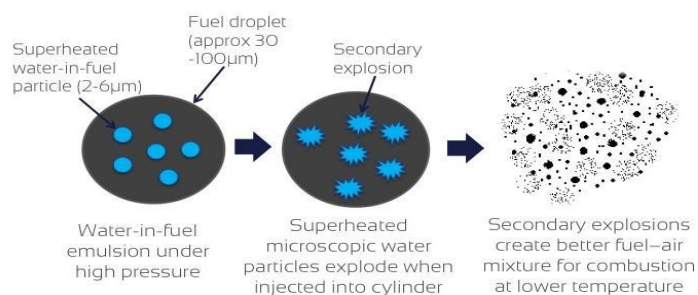
2.5 *Microexplosion*

Menurut Zeng dkk (2007) *Microexplosion* adalah proses pecahnya cairan *droplet* yang dikarenakan adanya proses gasifikasi internal yang cukup keras. Menurut Manfred Aigner dkk (2006) menyatakan bahwa *Microexplosion* terjadi apabila terdapat perbedaan titik didih pada komposisi penyusun bahan bakar, yaitu air dan bahan bakar. *Microexplosion* menyebabkan terbentuknya butiran bahan bakar yang sangat kecil, sehingga menyebabkan makin mudahnya pembakaran pada suhu tinggi.

Pada pembakaran minyak nabati *microexplosion* dapat terjadi akibat adanya perbedaan titik didih antara fatty acid dan glycerolnya. Karena adanya perbedaan titik didih ini mengakibatkan perbedaan pada proses penguapan pada campuran bahan bakar. Perbedaan proses penguapan ini yang mengakibatkan suatu *droplet* pecah karena bahan bakar yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu didalam *droplet* yang bercampur dengan bahan bakar yang memiliki titik didih lebih tinggi yang sudah tidak dapat menahan tekanan dari gas dalam *droplet*.

Ketika *droplet* terus dipanaskan, maka *droplet* akan mengalami penurunan nilai densitas sehingga dapat mengakibatkan tegangan permukaan *droplet* semakin menurun.

Ketika *droplet* tidak dapat menahan tekanan gas dari dalam yang diakibatkan dari penguapan bahan bakar yang memiliki titik didih lebih rendah, maka *droplet* akan mudah pecah. Pecahnya *droplet* ini dapat berakibat meningkatkan kecepatan pembakaran sehingga bahan bakar akan lebih cepat habis terbakar. Pada gambar 2.8 menunjukkan adanya *binary fuel droplet* yaitu minyak dan kandungan air yang terdapat pada minyak pada skema tahapan *microexplosion*.



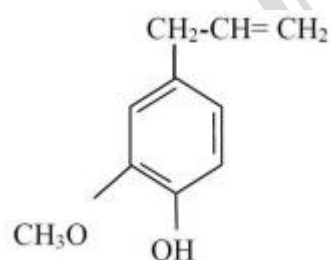
Gambar 2.8 Skema tahapan *microexplosion*

Sumber: Blue Ocean Solutions Pte Ltd (2015)

2.6 Konsep Penelitian

2.6.1 Penambahan Minyak Cengkeh

Pada penelitian ini minyak cengkeh digunakan sebagai katalis homogen dimana memiliki fase *liquid* yang sama dengan minyak kapuk randu untuk mempercepat reaksi pembakarannya. Minyak cengkeh memiliki kandungan *eugenol* dengan rumus kimia $C_{10}H_{12}OH$. *Eugenol* merupakan senyawa aromatik yang memiliki rantai karbon siklik atau cincin siklik yang terkonjugasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.10. Rantai karbon siklik ini yang nantinya dapat mempengaruhi reaksi pembakaran *droplet* dengan cara menurunkan kekuatan ikatan antar molekul penyusun minyak kapuk randu.

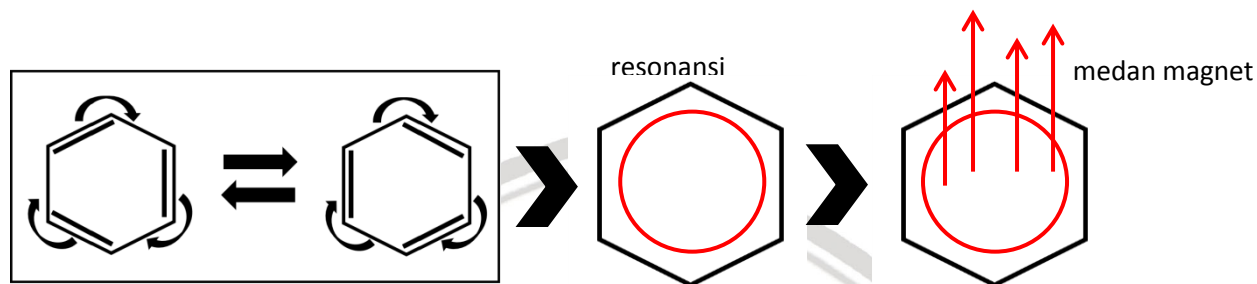


Gambar 2.9 Cincin siklik pada senyawa eugenol

Sumber : Sastrohamidjojo (2004)

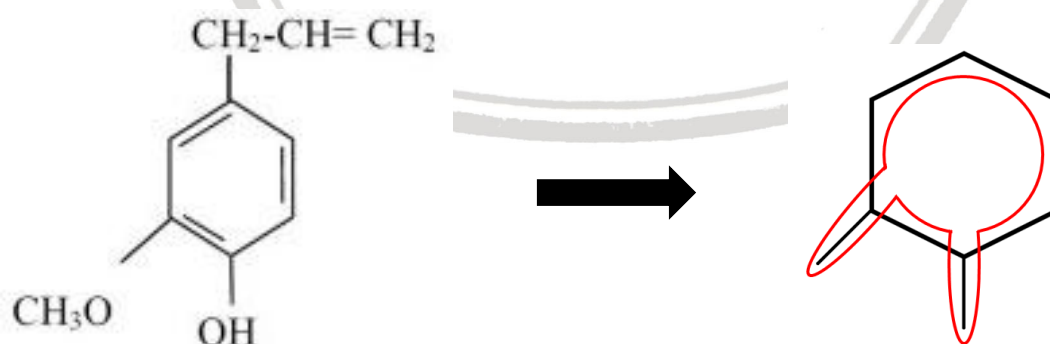
Pada rantai karbon siklik memiliki ikatan rangkap dan ikatan tunggal yang berselang seling. Rantai karbon tersebut memiliki sifat delokalisasi dimana ikatan rangkap bergerak

menuju ikatan tunggal secara terus menerus karena adanya perbedaan muatan. Berpindah-pindahannya ikatan rangkap ini yang menyebabkan adanya energi resonansi pada suatu rantai karbon siklik seperti yang terlihat pada Gambar 2.10. Dengan adanya energi resonansi ini mengakibatkan adanya lompatan elektron pada ikatan rangkap sehingga menimbulkan suatu medan magnet lemah yang akan mempengaruhi ikatan asam lemak pada minyak kapuk.



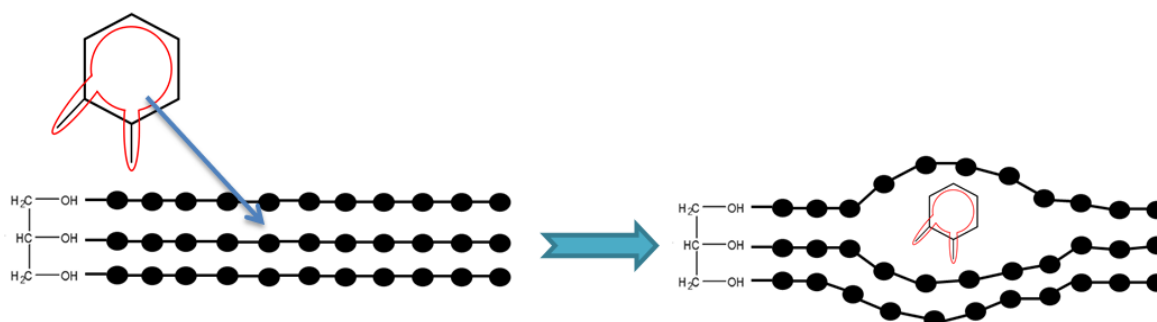
Gambar 2.10 Ilustrasi pembentukan medan magnet karena adanya gaya resonansi
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Pada rantai karbon senyawa eugenol, energi resonansi tidak hanya terjadi pada cincin siklik. Pada eugenol terdapat rantai ikatan samping berupa molekul OH, CH₃O serta CH₂-CH=CH₂. Pada rantai ikatan molekul OH memiliki ikatan rangkap tambahan dari atom O karena atom O tersebut memiliki 4 elektron valensi bebas yang tidak berikatan sehingga menjadi ikatan rangkap yang terkonjugasi. Hal tersebut juga terjadi pada rantai ikatan CH₃-O yang disebelahnya sehingga memungkinkan terjadinya resonansi tambahan. Sedangkan rantai karbon CH₂-CH=CH₂ tidak membentuk ikatan rangkap yang terkonjugasi melainkan akan memperpanjang rantai hidrokarbon minyak kapuk randu karena memiliki struktur yang sama. Sehingga bentuk resonansi pada *eugenol* menjadi seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Ilustrasi resonansi yang terjadi pada eugenol
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Resonansi pada eugenol juga menimbulkan medan magnet. Semakin panjangnya lintasan resonansi yang ada pada eugenol akibat adanya penambahan ikatan luar mempengaruhi kuat lemahnya medan magnet yang dihasilkan. Medan magnet dapat menyebabkan orbit elektron pada molekul menjadi lonjong karena pengaruh gaya tarik medan magnet, semakin lonjong maka jarak antar elektron akan semakin jauh dan akibatnya energi dionisasi akan semakin kecil (Wardana, 2008). Pada Gambar 2.12 mengilustrasikan medan magnet ini mengganggu pergerakan elektron-elektron pada molekul asam lemak yang mengakibatkan elektron tersebut keluar dari orbitnya sehingga ikatan asam lemak melemah dan saling menjauh satu sama lain, hal tersebut mengakibatkan ikatan antar molekul asam lemak semakin mudah putus.



Gambar 2.12 Ilustrasi pengaruh eugenol terhadap ikatan asam lemak.
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

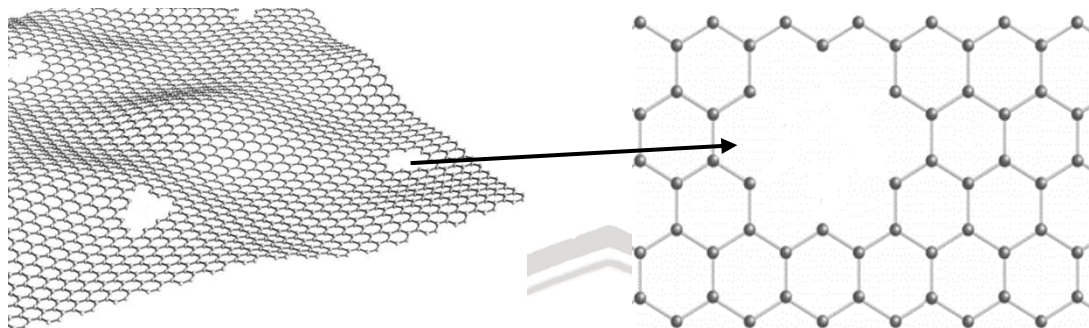
Elektron yang keluar dari orbit asam lemak tadi mengakibatkan asam lemak hanya memiliki proton dan bermuatan positif. Saat proses pembakaran, oksigen yang ada memiliki keelektronegatifan yang tinggi sehingga dapat menarik elektron berpindah ke oksigen sehingga oksigen lebih bermuatan negatif. Ketika oksigen yang bermuatan negatif bereaksi dengan asam lemak yang bermuatan positif mengakibatkan gaya tarik menarik secara masif. Gaya tarik menarik ini mengakibatkan terjadinya tumbukan antar molekul yang bisa mempercepat reaksi pembakaran.

2.6.2 Penambahan Karbon Aktif

Karbon aktif digunakan sebagai katalis pada pembakaran droplet minyak kapuk randu. Mekanisme kerja karbon aktif akan membantu menurunkan energi aktivasi yang mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar dan mempercepat reaksi kimia pembakaran.

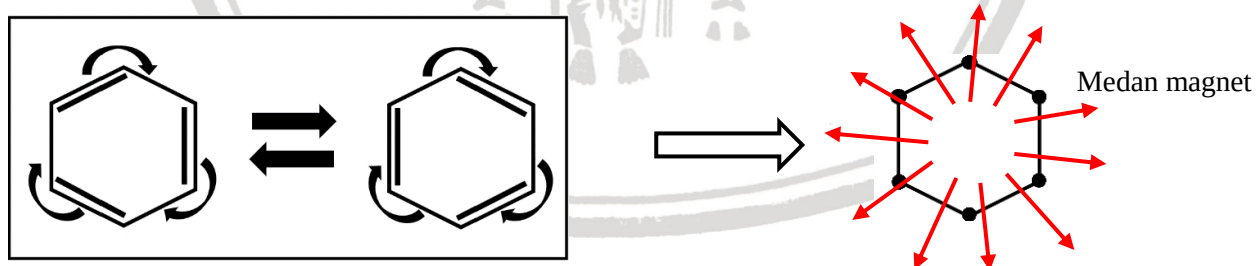
Karbon aktif tersusun dari grafit yang berupa tumpukan lembaran-lembaran *graphene* yang berlubang-lubang seperti pada Gambar 2.13. *Graphene* adalah alotrop karbon yang

berbentuk heksagonal dengan ketebalan hanya satu atom. *Graphene* ini memiliki sifat yang dapat memperbaiki struktur seprainya sendiri apabila terkena molekul yang mengandung karbon seperti hidrokarbon. (Konstantine N, 2012)



Gambar 2.13 Ilustrasi struktur *graphene* pada karbon aktif
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

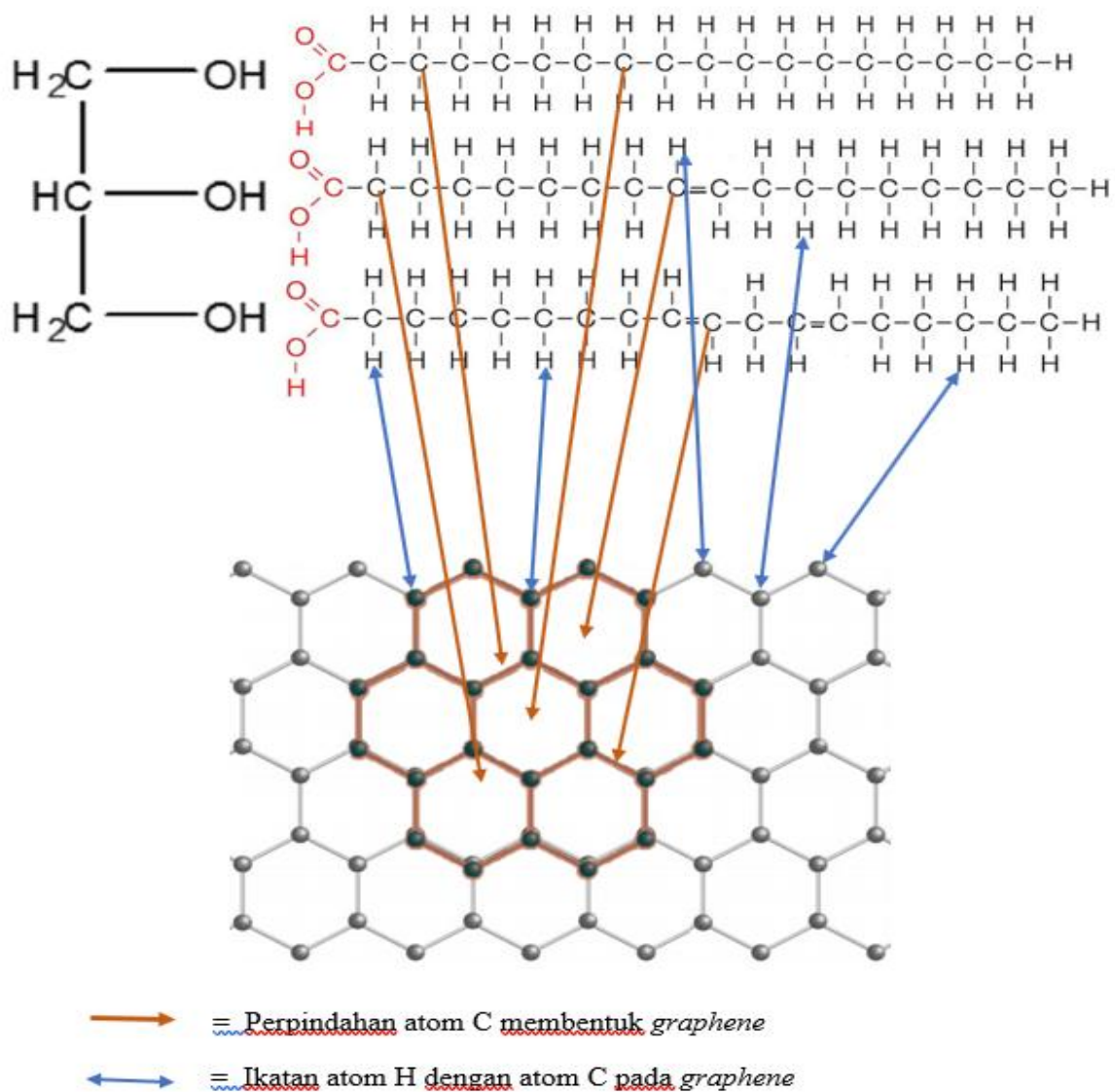
Sifat *graphene* yang dapat memperbaiki strukturnya sendiri terjadi karena susunan *graphene* tersebut terdiri dari 6 ikatan atom karbon berbentuk heksagonal dan tersusun secara kovalen yang memiliki 3 ikatan tunggal dan 3 ikatan rangkap yang tersusun berselang-seling. Ikatan rangkap dari karbon aktif ini memiliki sifat delokalisasi karena adanya perbedaan muatan yang mengakibatkan ikatan rangkap pindah ke arah ikatan tunggal secara terus menerus. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.14, gerakan dari perpindahan yang terus menerus ini meyebabkan adanya lompatan elektron. Lompatan-lompatan elektron ini mengakibatkan timbulnya medan magnet dari karbon aktif sehingga karbon aktif dapat menarik atom karbon dari minyak kapuk randu untuk memperbaiki strukturnya yang cacat.



Gambar 2.14 Ilustrasi terbentuknya medan magnet pada *graphene* karbon aktif
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Minyak kapuk randu memiliki molekul hidrokarbon yang ada pada ikatan asam lemaknya. Dari molekul hidrokarbon tersebut, *graphene* karbon aktif menarik atom karbon untuk memperbaiki lapisan yang cacat. Karena adanya penarikan atom karbon pada asam lemak tersebut meninggalkan atom hidrogen menjadi bergerak secara bebas karena terlepas

dari ikatan karbon pada asam lemak. Atom atom hidrogen yang bergerak bebas tersebut sebagian akan ditarik dan berikatan dengan atom karbon pada *graphene* membentuk senyawa *graphane*. Sedangkan atom hidrogen yang tidak berikatan dengan *graphene* akan menjadi radikal bebas.



Gambar 2.15 Ilustrasi pengaruh *graphene* terhadap asam lemak yang membentuk *graphane*
 Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Pada Gambar 2.15 mengilustrasikan perpindahan atom karbon dari asam lemak menuju *graphene* untuk melengkapi strukturnya yang berlubang dan atom hidrogen dari asam lemak sebagian berikatan pada sisi-sisi *graphene*. Atom hidrogen yang berikatan dengan atom karbon pada *graphene* akan menimbulkan sifat magnetik pada molekul *graphane* (Jorge, 2016). Dengan terbentuknya *graphane* mengakibatkan karbon aktif memiliki sifat magnetik yang dapat menarik elektron yang ada pada asam lemak. Elektron elektron pada

asam lemak berpindah ke karbon aktif sehingga karbon aktif menjadi kelebihan elektron dan bermuatan negatif. Dan dikarenakan elektron asam lemak berpindah ke karbon aktif mengakibatkan asam lemak hanya memiliki proton dan bermuatan positif.

Saat proses pembakaran, campuran minyak kapuk randu dan karbon aktif akan bereaksi dengan oksigen. Karena keelektronegatifan oksigen lebih besar dari karbon aktif maka elektron dari karbon aktif akan berpindah lagi ke oksigen sehingga oksigen akan memiliki kelebihan elektron dan bermuatan negatif. Asam lemak tanpa elektron yang bermuatan positif akan bereaksi dengan oksigen yang bermuatan negatif sehingga terjadi reaksi tarik menarik yang mengakibatkan adanya tumbukan antar molekul. Tumbukan antar molekul ini terjadi secara masif sehingga menurunkan energi aktivasi dan kecepatan pembakarannya meningkat.

2.7 Hipotesis

Berdasarkan konsep diatas, hipotesis yang dapat diambil adalah penambahan kadar minyak cengkeh terhadap minyak kapuk randu akan meningkatkan kecepatan pembakaran droplet, dikarenakan minyak cengkeh banyak memiliki kandungan oksigen dan adanya reaksi tarik menarik yang dapat mempercepat proses pembakaran. Dan penambahan kadar karbon aktif terhadap minyak kapuk randu juga akan mempercepat proses pembakaran droplet karena struktur dari karbon dapat mengikat molekul-molekul pada minyak kapuk randu yang mengakibatkan gaya tarik-menarik yang dapat mempercepat terjadinya pembakaran pada minyak kapuk randu.



BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Dalam metode ini dilakukan pengamatan langsung dan mencari hubungan sebab-akibat dari pengujian suatu perlakuan dengan membandingkan satu atau lebih sampel pengujian dengan perlakuan dan tanpa perlakuan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Mei 2018, bertempat di Laboratorium Otomasi Manufaktur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 macam variabel, yaitu :

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya telah ditentukan dan tidak di pengaruhi variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel bebasnya adalah penambahan konsentarsi minyak cengkeh dan karbon aktif terhadap sebesar 0 ppm, 100 ppm, dan 300 ppm terhadap 50 gram minyak kapuk randu.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya bergantung dari variabel bebas dan hasilnya dapat diketahui setelah penelitian selesai dilakukan. Dalam penelitian kali ini variabel terikatnya adalah kecepatan api pembakaran pada proses pembakaran *droplet* campuran minyak kapuk randu dan karbon aktif serta campuran minyak kapuk randu dengan minyak cengkeh.

c. Variabel terkontrol

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

- | | |
|---------------------------------|---------------|
| 1. Suhu ruang uji bakar sebesar | : 27°C - 40°C |
| 2. Arus listrik <i>heater</i> | : 5 A |

- | | |
|------------------------------------|------------|
| 3. Hambatan kumparan <i>heater</i> | : 1,02 ohm |
| 4. Kecepatan kamera | : 120 fps |

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat-alat Penelitian

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Elemen pemanas (*heater*)

Berfungsi sebagai pembakar *droplet* sehingga menimbulkan nyala api. Ditunjukkan oleh gambar 3.1.



Gambar 3.1 Elemen pemanas

Spesifikasi :

- Material : Ni-Cr
- Hambatan : 1,02 ohm
- Diameter : 0,7 mm
- Panjang kumparan : 4 mm
- Jumlah lilitan : 6

2. *Thermocouple*

Suatu alat berupa sensor untuk melakukan pengukuran suatu perubahan suhu melalui dua jenis logam yang merupakan konduktor yang berbeda digabungkan pada salah satu pangkal logamnya yang berhadapan dan dengan pangkal logam lain dihubungkan pada *data logger*. *Thermocouple* ditunjukkan oleh gambar 3.2.



Gambar 3.2 Thermocouple

Spesifikasi :

- Tipe : R
- Material : Pt/Rh13%
- Diameter : 0,1 mm
- Rentang Suhu yang Dapat Terukur : 0°C - 1450°C

3. Data Logger

Data logger berfungsi sebagai pengubah data yang didapatkan dari *thermocouple* yang berupa data *analog* menjadi data yang bersifat *digital* sehingga dapat terbaca pada sistem komputer yang digunakan. *Data logger* ditunjukkan oleh gambar 3.3.



Gambar 3.3 Data logger

Spesifikasi :

- Merk : Advantech
- Tipe : USB-4718

- Aplikasi : DAQNav 4.0.3.4
- Konsumsi Daya : 5V / 100 mA
- Channels : 8 Thermocouple input
- Ampere : 4 – 20 mA current input
- Unipolar Input : J, K, T, E, R, S, B thermocouple\
- Dimensi : 132 x 80 x 32 mm

4. Transformator

Transformator digunakan untuk mengatur tegangan pada elemen pemanas.



Gambar 3.4 Transformator

Spesifikasi :

- Merk : ERA CT
- Tegangan Masuk : 220 V
- Tegangan Keluar : 18 V
- Arus : 5 A

5. Kamera

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



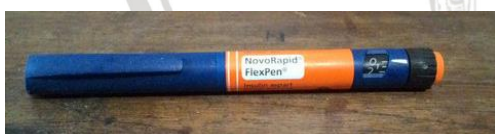
Gambar 3.5 Kamera

Spesifikasi :

- Merk : Casio HS Exilim
- Jumlah Pixels : 16.3 juta pixels
- Resolusi pengambilan gambar : 4896 x 3264 pixels
- Resolusi pengambilan video : 1920 x 1080 pixels, 120 fps
- ISO range : 100 – 51200

6. Alat Pembuat Droplet

Alat pembuat droplet yang digunakan adalah rekayasa *syringe* dikombinasikan dengan suntikan insulin. Sehingga *syringe* dapat membentuk diameter *droplet* yang hamper sama setiap kali digunakan



Gambar 3.6 Alat pembuat droplet

Alat tersebut terdiri dari :

- Alat pengatur volume droplet

Spesifikasi :

- Merk : Novo Mix
- Buatan : Denmark
- Suntikan untuk menampung hasil campuran minyak kapuk randu dengan minyak cengkeh dan karbon aktif yang digunakan untuk membuat droplet yang akan diletakan pada ujung *thermocouple*

Spesifikasi :

- Merk : OneMed
- Diameter jarum : 0,4 mm
- Volume tabung : 1 ml
- Buatan : Indonesia

7. Laptop

Berfungsi sebagai pengolah dan tempat penyimpanan data *digital* yang diperoleh dari *data logger*.

Spesifikasi :

- Merk : Lenovo Ideapad 100
- *Random Access Memory* : 4 GB
- *CPU* : Intel Bay Trail-M N3540
- Resolusi Layar : HD 1366 x 768 pixel, 200 nits

6. Timbangan Analitik

Timbangan analitik digunakan untuk mengukur massa minyak kapuk randu, massa minyak cengkeh dan massa karbon aktif saat proses pencampuran.

Spesifikasi :

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

3.4.2 Bahan-Bahan Penelitian

1. Katalis Karbon Aktif

Katalis yang digunakan pada penelitian ini untuk mempercepat reaksi pembakaran.



Gambar 3.7 Katalis karbon aktif

2. Minyak Cengkeh

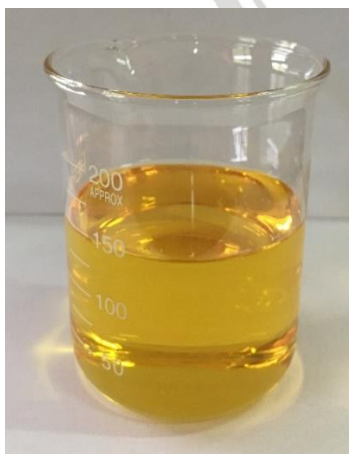
Sebagai katalis yang digunakan untuk mempercepat reaksi pembakaran.



Gambar 3.8 Minyak cengkeh

3. Minyak Kapuk Randu

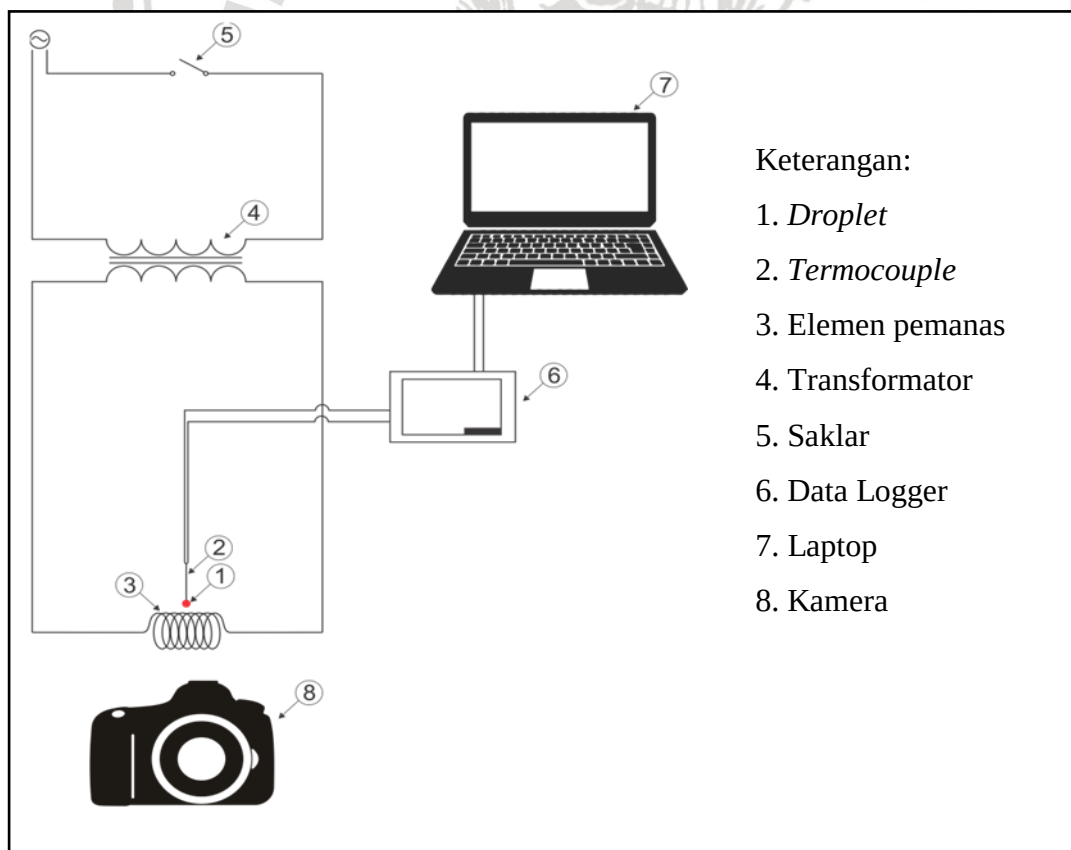
Bahan bakar minyak nabati yang dipakai untuk penelitian pembakaran droplet.



Gambar 3.9 Minyak kapuk randu

3.5 Instalasi Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian disusun sesuai skema instalasi sesuai gambar 3.10. Pada penelitian ini, minyak kapuk randu yang sudah dicampur dengan katalis dibentuk menjadi *droplet* menggunakan alat pembentuk *droplet* kemudian diletakkan pada sambungan *thermocouple* yang terbuat dari Platinum dan Platinum/13%Rhodium berdiameter 0,1 mm. *Thermocouple* diletakkan diatas *heater* dengan jarak 2,5 mm. Kemudian *droplet* dibakar dengan menyalakan *heater* listrik berdiameter 0,7 mm dengan hambatan kawat sebesar 1,02 Ω . *Heater* dialiri listrik melalui transformator dengan arus listrik DC 6 volt dengan arus sebesar 5 A. Penyalaan *heater* dilakukan bersamaan dengan menekan tombol *start* pada program WaveScan 2.0 yang tersambung pada *data logger* dengan frekuensi 1 kHz untuk membaca temperature dari *thermocouple*. Kamera diletakkan didepan *heater* yang terfokus pada *droplet* untuk mendapatkan gambar visualisasi api saat pembakaran dengan kecepatan perekaman 120 fps. Data yang didapat dari penelitian ini berupa visualisasi api dari kamera dan temperatur dari *thermocouple* yang terhubung dengan *data logger*. Pengambilan data dilakukan sebanyak lima kali.



Gambar 3.10 Instalasi Alat Penelitian

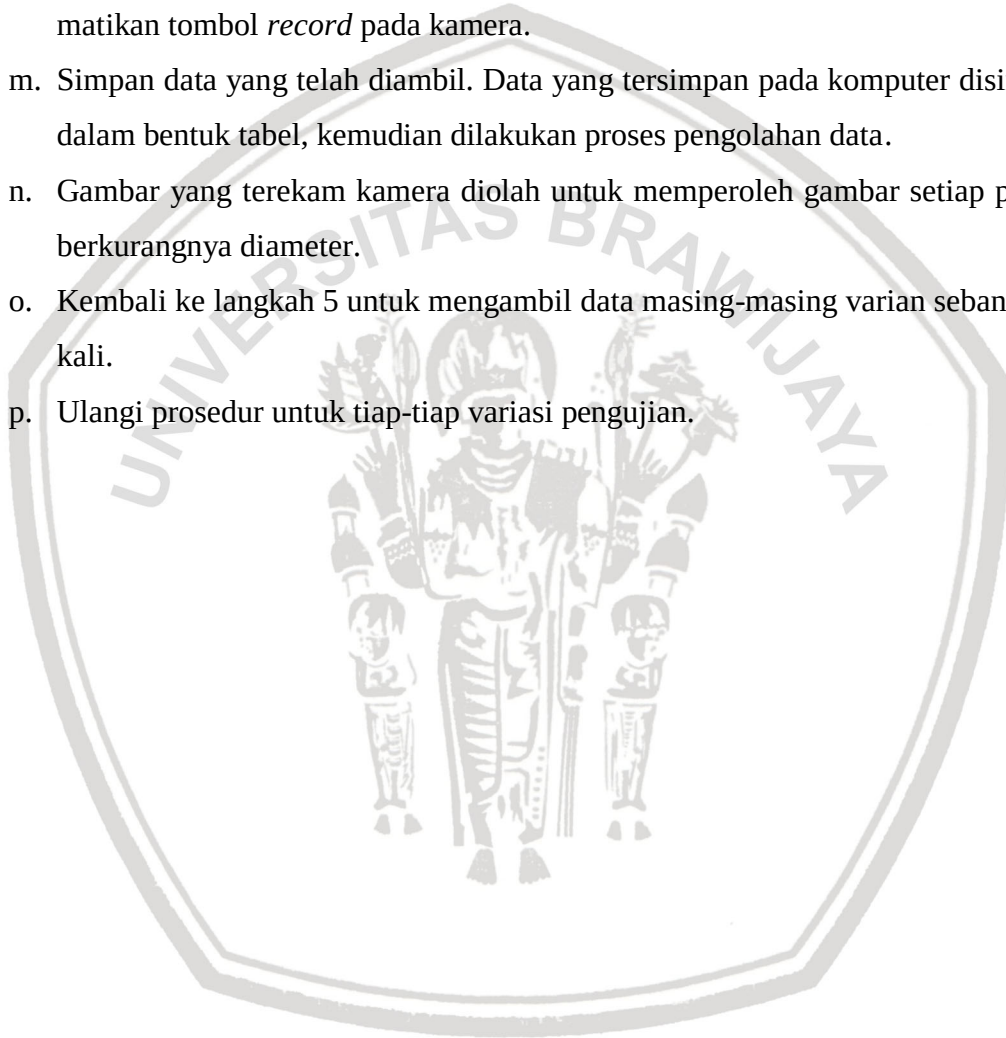
Sumber : Dokumentasi Pribadi

3.6 Prosedur Pengambilan Data

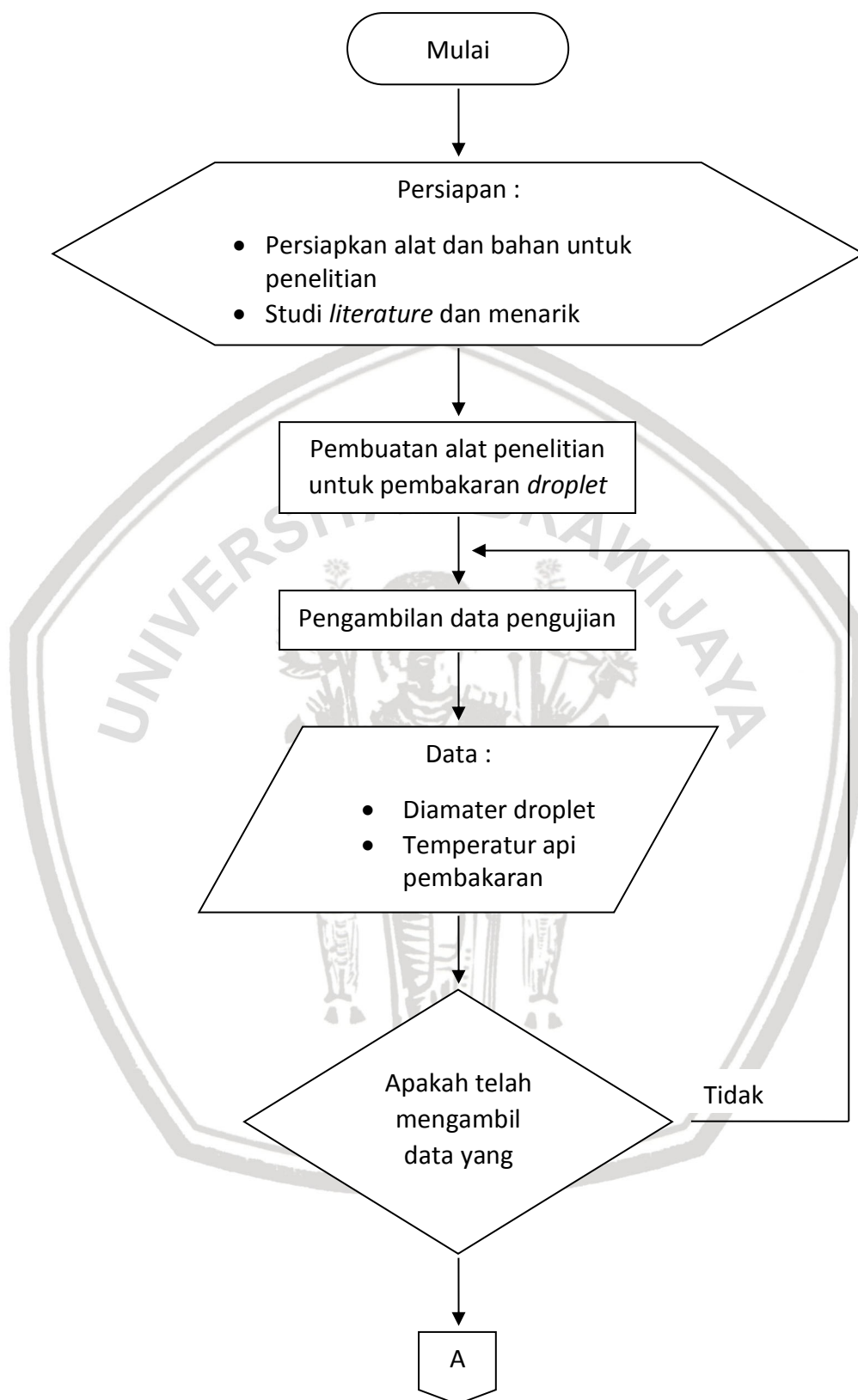
Prosedur Pengambilan data meliputi hal-hal berikut :

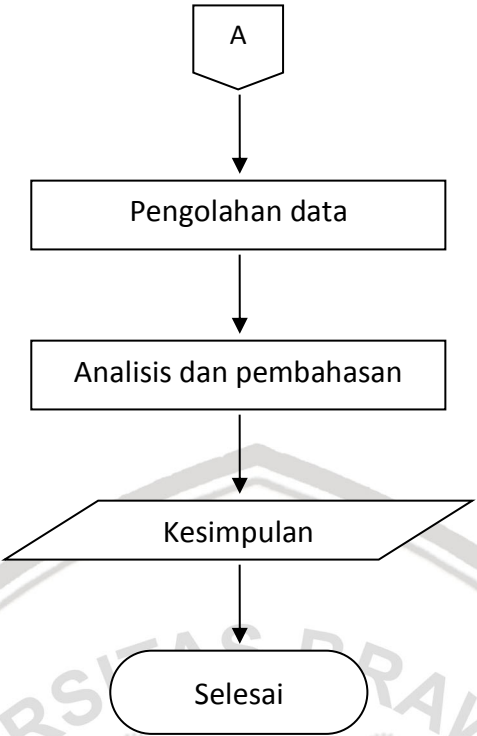
- Proses pembuatan *droplet* campuran minyak kapuk randu dengan minyak cengkeh.
 - a. Minyak kapuk randu dicampur secara mekanik dengan minyak cengkeh yang memiliki persentase 0 ppm, 100 ppm, 300 ppm.
 - b. Masukkan campuran minyak kapuk randu dengan minyak cengkeh ke dalam tabung suntik alat pembentuk *droplet*.
 - c. Tekan kepala alat pembentuk *droplet* hingga terbentuk *droplet* pada ujung jarum suntik
 - d. Untuk membuat *droplet* selanjutnya, pastikan bahwa ujung jarum suntik kering.
- Proses pembuatan *droplet* campuran minyak kapuk randu dengan karbon aktif.
 - a. Minyak kapuk randu dicampur secara mekanik dengan karbon aktif yang memiliki persentase 0 ppm, 100 ppm, 300 ppm.
 - b. Masukkan campuran minyak kapuk randu dengan karbon aktif ke dalam tabung suntik alat pembentuk *droplet*.
 - c. Tekan kepala alat pembentuk *droplet* hingga terbentuk *droplet* pada ujung jarum suntik
 - d. Untuk membuat *droplet* selanjutnya, pastikan bahwa ujung jarum suntik kering.
- Prosedur pengambilan data.
 - a. Atur dan pasang semua peralatan penelitian ruang uji bakar *droplet* sesuai dengan skema penelitian pada gambar 3.9.
 - b. Pasang kamera di bagian depan untuk melihat *droplet* campuran bahan bakar. Atur jarak, posisi, dan fokus hingga gambar ujung *thermocouple* jelas tergambar pada layar kamera.
 - c. Pasang *data logger* pada *thermocouple* dan laptop.
 - d. Nyalakan laptop, kemudian mulai jalankan aplikasi WaveScan 2.0 untuk membaca temperatur dari *thermocouple*.
 - e. Ambil pembentuk *droplet* berisi campuran bahan bakar, dan tekan kepala pembentuk *droplet* tersebut.
 - f. Tempatkan *droplet* campuran bahan bakar di atas *thermocouple*.

- g. Ambil gambar dari *droplet* campuran bahan bakar untuk diketahui ukuran diameternya.
- h. Tekan tombol record pada kamera untuk mengambil video proses pembakaran.
- i. Klik *start* pada program *WaveScan* 2.0 bersamaan saat *heater* dinyalakan.
- j. Rekam seluruh proses mulai dari *heater* mulai memerah hingga *droplet* habis terbakar dan nyala api habis menghilang.
- k. Matikan *heater* sesaat setelah api menyala.
- l. Klik *stop* pada program *WaveScan* 2.0 saat nyala api sudah menghilang dan matikan tombol *record* pada kamera.
- m. Simpan data yang telah diambil. Data yang tersimpan pada komputer disimpan dalam bentuk tabel, kemudian dilakukan proses pengolahan data.
- n. Gambar yang terekam kamera diolah untuk memperoleh gambar setiap proses berkurangnya diameter.
- o. Kembali ke langkah 5 untuk mengambil data masing-masing varian sebanyak 5 kali.
- p. Ulangi prosedur untuk tiap-tiap variasi pengujian.



3.7 Diagram Alir Penelitian

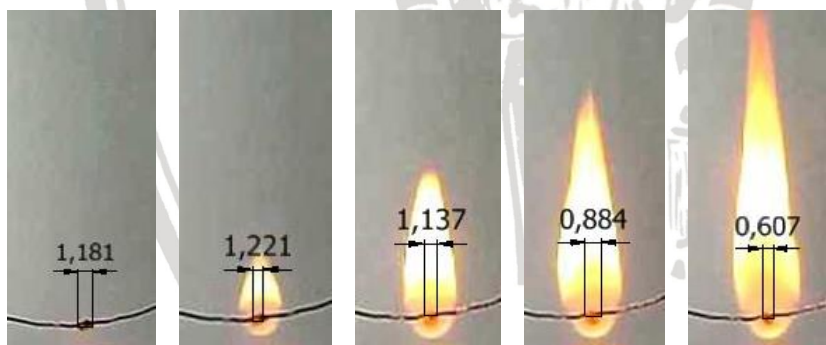




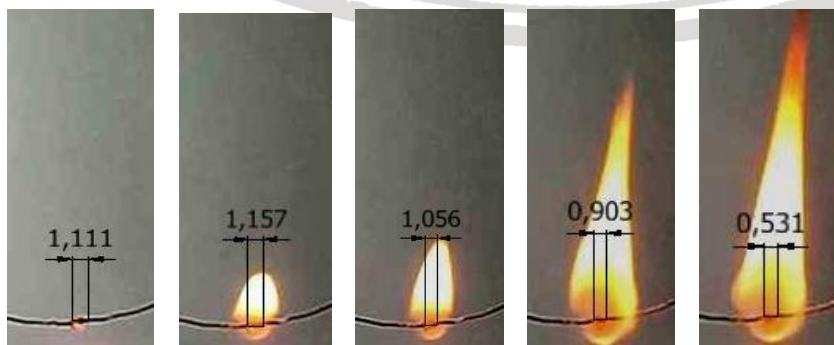
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pembakaran Droplet

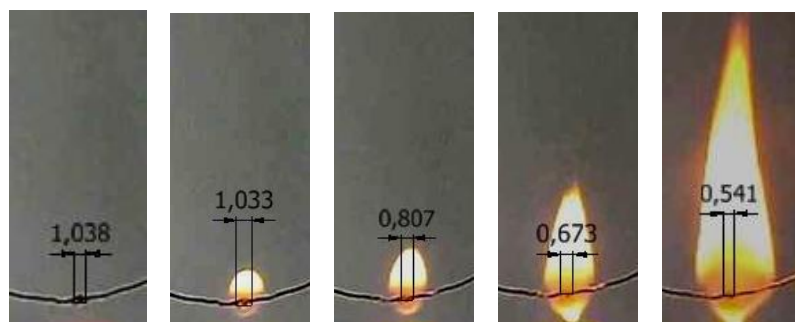
Pada penelitian ini langkah pertama yang dilakukan adalah pembentukan *droplet* dengan campuran katalis minyak cengkeh dan karbon aktif masing-masing sebesar 0 ppm, 100 ppm, dan 300 ppm terhadap 50 gr minyak kapuk randu. Kemudian *droplet* diletakkan diatas *thermocouple* yang berjarak 2,5 cm di atas *heater*. Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah data kecepatan pembakaran *droplet* yang diukur berdasarkan perubahan besar diameter dari diameter awal *droplet* sampai *droplet* mengecil dan terbakar habis pada masing-masing sampel. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software imageJ* untuk mendapatkan ukuran diameter pada setiap sample pengujian. Contoh data pengukuran perubahan diameter *droplet* yang diperoleh pada masing-masing sampel dengan satuan milimeter (mm) dapat terlihat pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.7.



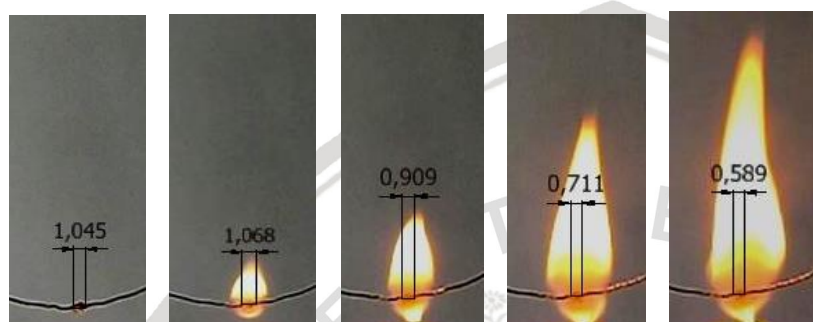
Gambar 4.1 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu 0 ppm



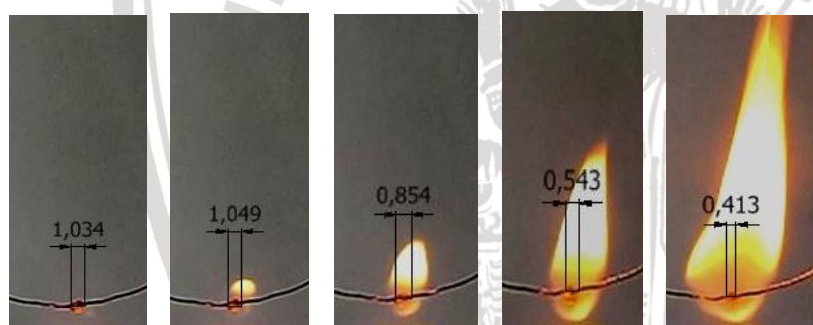
Gambar 4.2 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 100 ppm minyak cengkeh



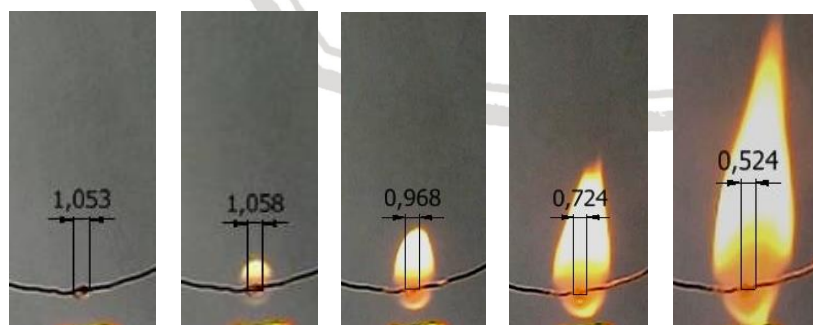
Gambar 4.3 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 300 ppm minyak cengkeh



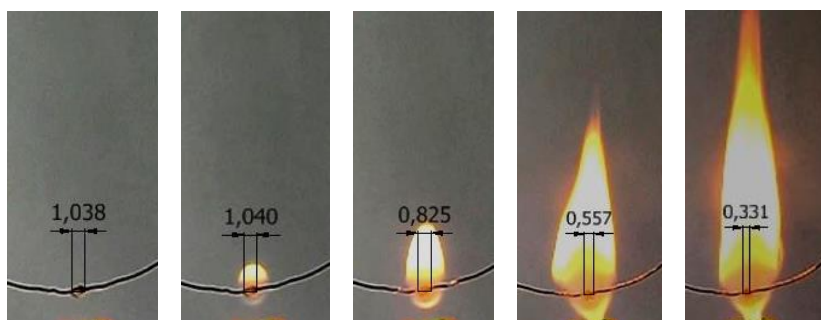
Gambar 4.4 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 100 ppm karbon aktif



Gambar 4.5 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 300 ppm karbon aktif



Gambar 4.6 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 100 ppm minyak cengkeh dan 100 ppm karbon aktif



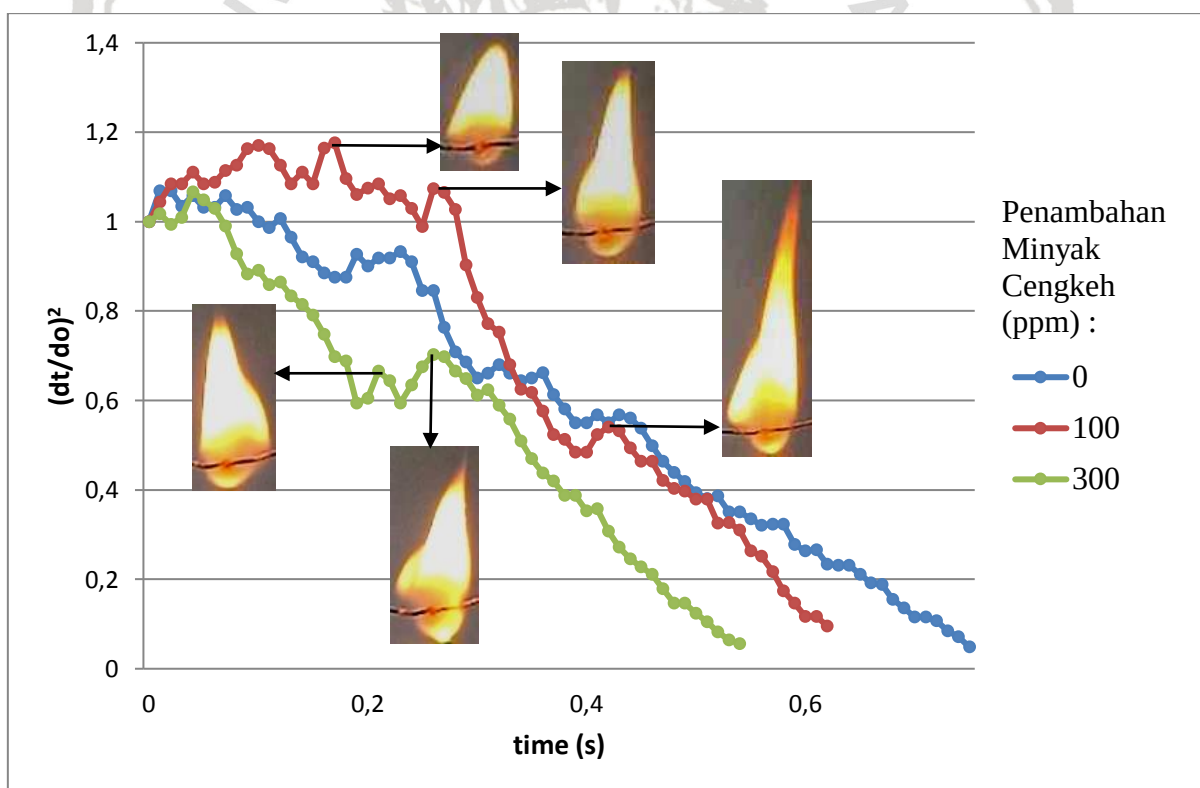
Gambar 4.7 Perubahan diameter *droplet* minyak kapuk randu dengan 300 ppm minyak cengkeh dan 300 ppm karbon aktif

4.1.1 Data Hasil Penelitian

(Data Terlampir)

4.2 Analisis dan Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu



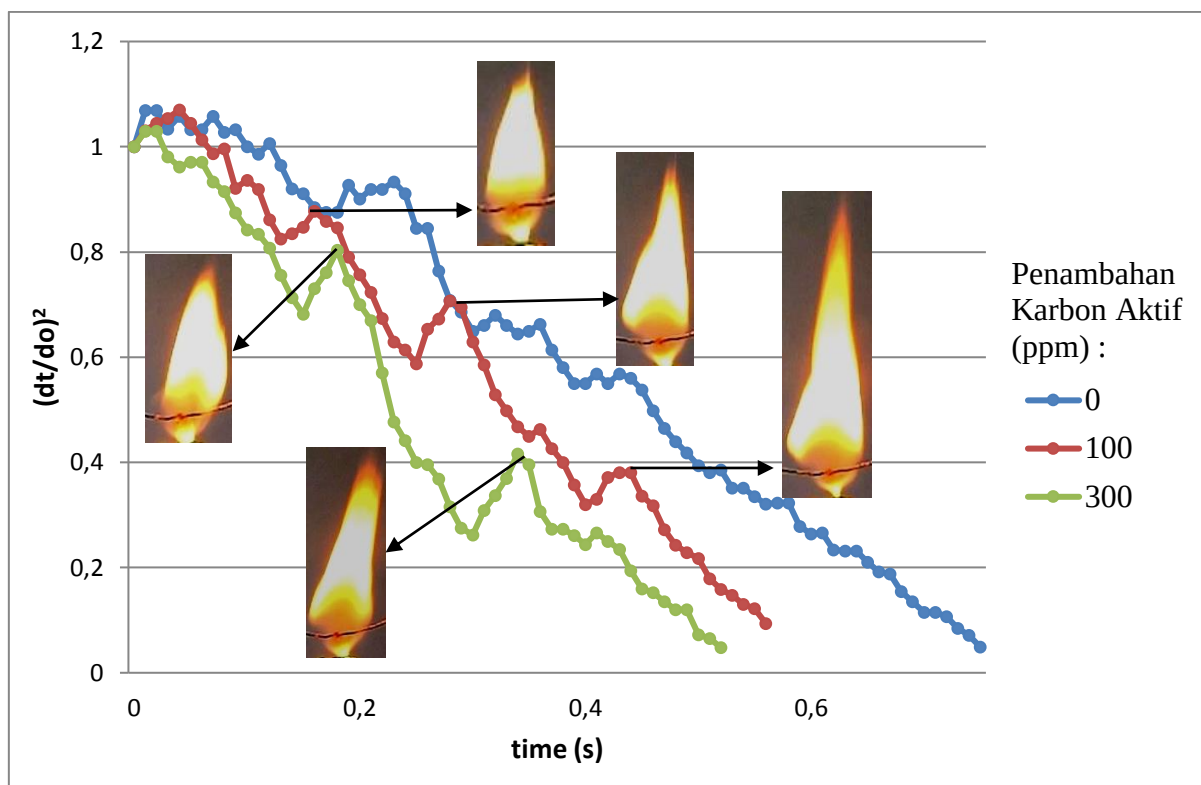
Gambar 4.8 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi minyak cengkeh

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa kecepatan api pembakaran pada penambahan 300 ppm minyak cengkeh lebih cepat dibandingkan minyak kapuk randu tanpa campuran

minyak cengkeh sedangkan pada penambahan 100 ppm minyak cengkeh mengalami pemuaian di awal yang ditandai dengan diameter droplet yang meningkat. Hal tersebut dikarenakan minyak cengkeh memiliki medan magnet yang akan mempengaruhi pergerakan elektron dari minyak kapuk randu sehingga ikatan asam lemak minyak kapuk randu akan merenggang atau memutus ikatan yang dapat mempengaruhi kecepatan reaksi pembakaran. Medan magnet pada 100 ppm minyak cengkeh lebih lemah karena jumlah yang lebih sedikit daripada medan magnet 300 ppm minyak cengkeh. Hal tersebut mengakibatkan pada penambahan 100 ppm minyak cengkeh medan magnet hanya melemahkan ikatan molekul asam lemak sehingga saat proses pembakaran akan terjadi daya tarik menarik secara periodik dan mengakibatkan diameter *droplet* meningkat. Sedangkan pada penambahan 300 ppm minyak cengkeh, medan magnet yang ada lebih kuat sehingga mampu memutus ikatan molekul asam lemak, ikatan asam lemak yang sudah terputus membutuhkan energi aktivasi yang lebih kecil untuk bereaksi. Sehingga hal tersebut membuktikan bahwa dengan seiring bertambahnya konsentrasi minyak cengkeh sebagai katalis dapat mempercepat reaksi pembakaran minyak kapuk randu karena energi aktivasi yang dibutuhkan semakin sedikit.

Selain itu pada gambar 4.8 juga terlihat adanya kenaikan diameter pada titik tertentu setelah adanya penurunan diameter, hal tersebut diakibatkan oleh terjadinya *microexplosion* yang dikarenakan terdapat perbedaan *boiling point* dari macam-macam asam lemak penyusun minyak kapuk randu. Saat energi panas yang diberikan semakin meningkat, asam lemak dengan *boiling point* rendah akan lebih mudah menguap dan membentuk gelembung di dalam *droplet*, kemudian gelembung tersebut pecah sehingga membentuk percikan api samping. Percikan api di samping tersebut yang dikenal sebagai *microexplosion* (Rosyadi, 2014).

4.2.2 Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu



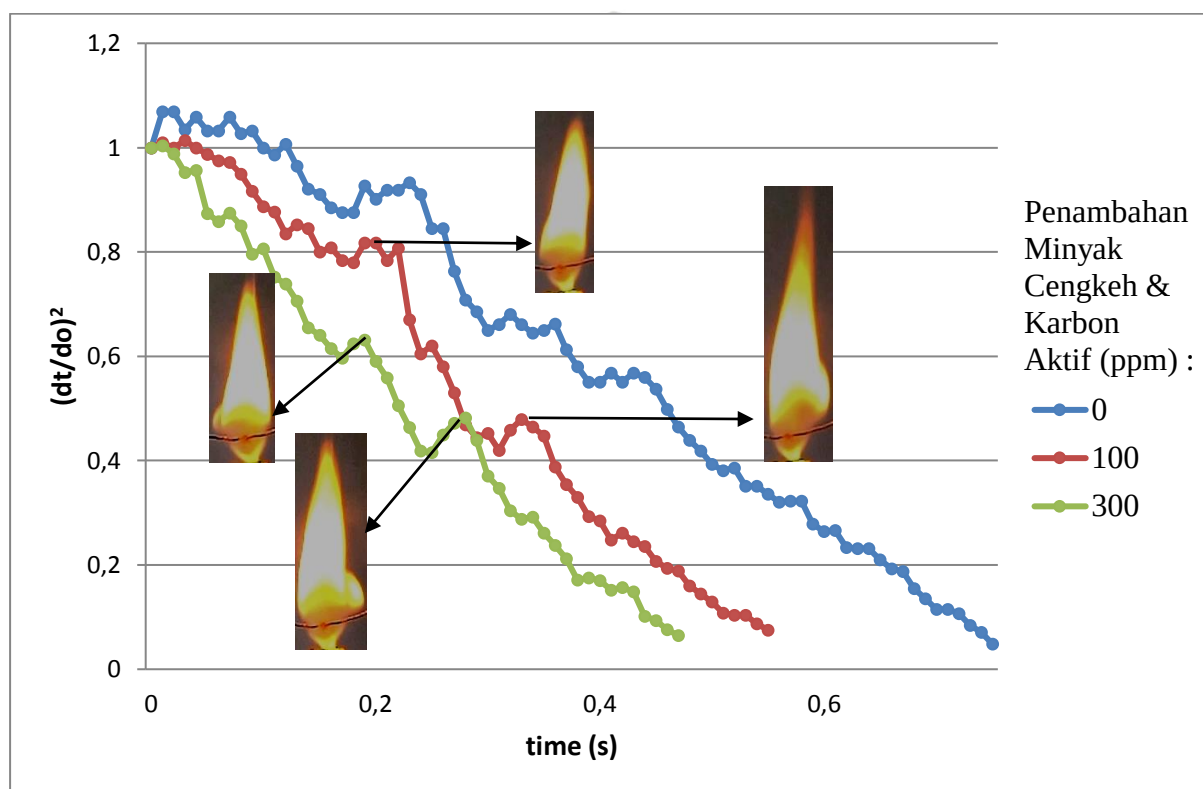
Gambar 4.9 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi karbon aktif.

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa reaksi pembakaran yang paling cepat terjadi adalah pada campuran minyak kapuk randu dengan 300 ppm karbon aktif. Sama halnya dengan penambahan minyak cengkeh, semakin bertambahnya konsentrasi karbon aktif pada minyak kapuk randu akan semakin mempercepat reaksi pembakaran *droplet* karena energi aktivasi yang dibutuhkan minyak kapuk randu untuk bereaksi dengan oksigen saat pembakaran semakin kecil.

Pada gambar 4.9 juga dapat terlihat bahwa perubahan diameternya cenderung tidak konstan. Hal tersebut dikarenakan partikel karbon aktif memiliki medan magnet yang kuat yang dapat memutus ikatan hidrokarbon asam lemak dan menarik sebagian besar atom karbon dan sebagian atom hidrogen yang terlepas kemudian membentuk gumpalan yang disebut alotrop *graphane*, gumpalan partikel ini jika diberi energi panas akan menguap dan mengakibatkan terjadinya *microexplosion*. *Microexplosion* yang terjadi ini ditandai dengan semakin meningkatnya diameter *droplet* pada titik tertentu. Setelah terjadinya

microexplosion, perubahan diameter cenderung menurun secara signifikan hal tersebut dikarenakan asam lemak yang sudah terputus ikatannya akan menurunkan energi aktivasi dan lebih mudah bereaksi saat proses pemanasan sehingga waktu proses pembakaran juga semakin cepat.

4.2.3 Pengaruh Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu

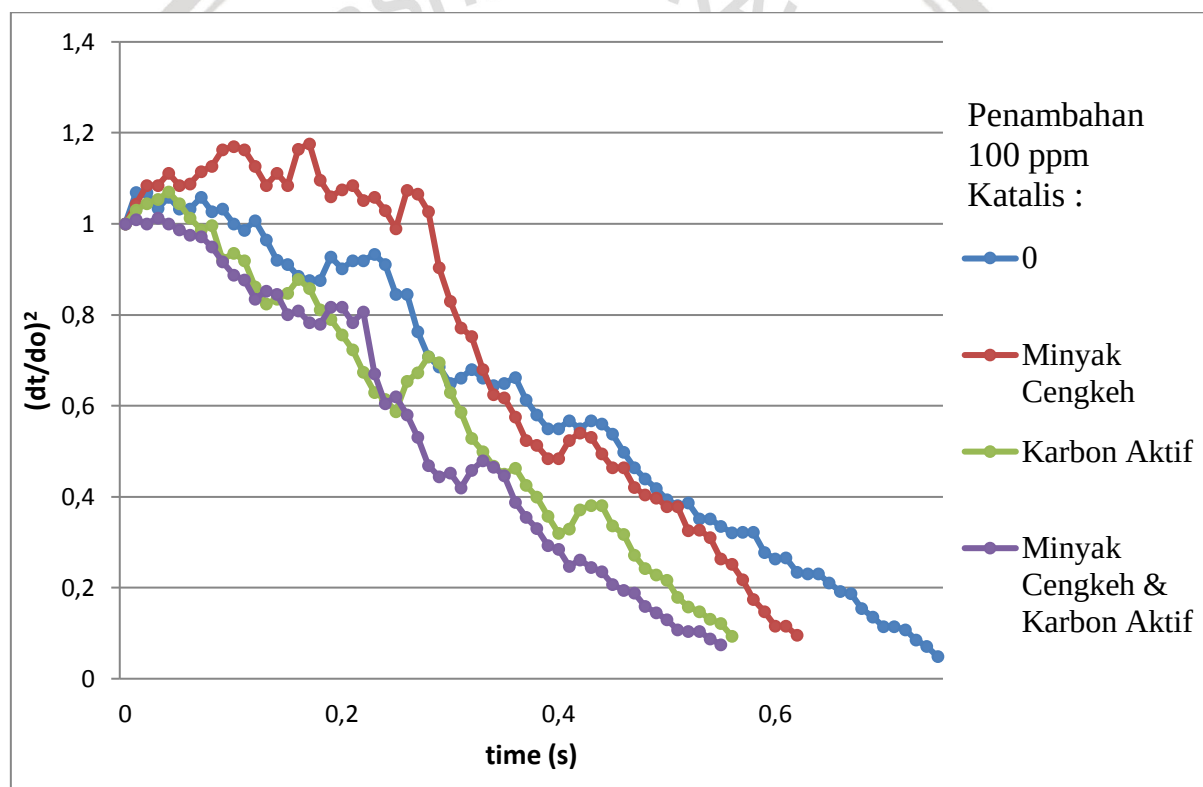


Gambar 4.10 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu terhadap variasi penambahan konsentrasi campuran minyak cengkeh dan karbon aktif.

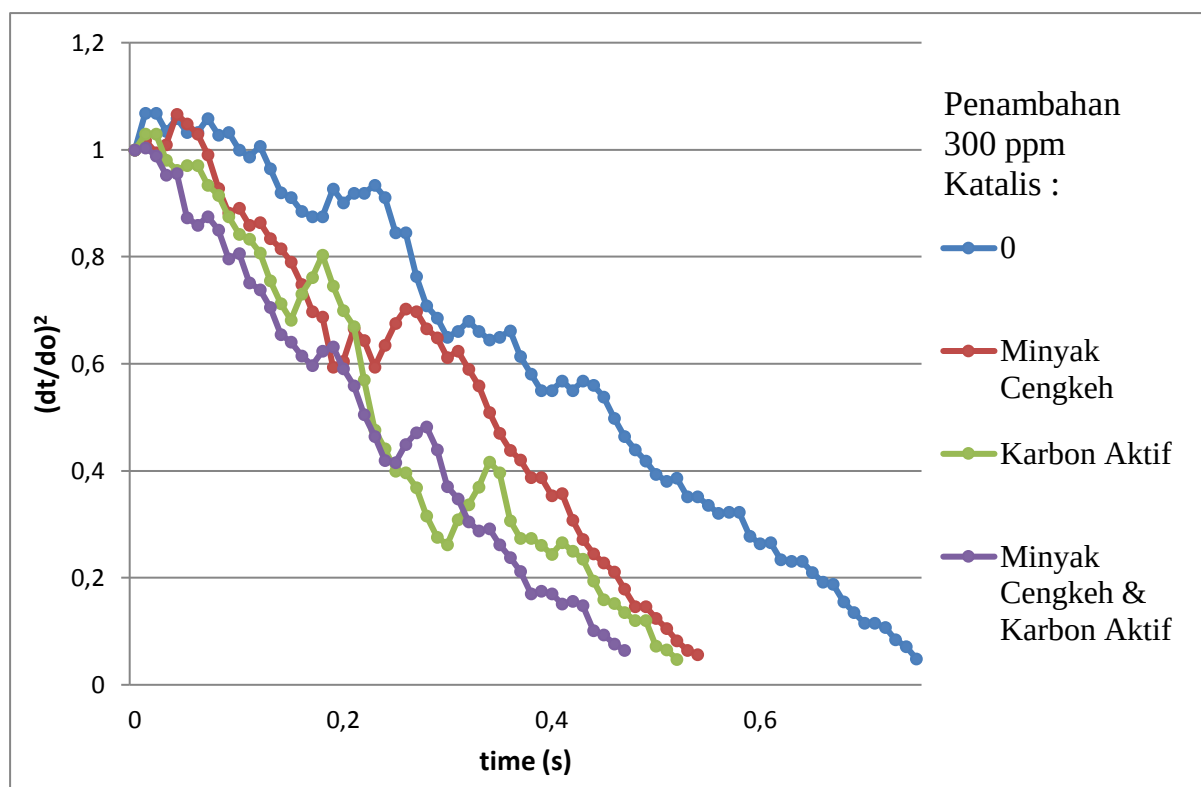
Pada gambar 4.10 yang menunjukkan perbandingan kecepatan pembakaran minyak kapuk randu tanpa katalis dengan kecepatan pembakaran dengan penambahan kedua katalis. Reaksi kecepatan api pembakaran yang paling cepat dapat dilihat dari penurunan grafik yang lebih terjal dan penurunan diameter yang lebih cepat dari grafik ditunjukkan oleh pencampuran minyak kapuk randu dengan 300 ppm minyak cengkeh dan karbon aktif. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan variasi katalis akan lebih mempercepat reaksi pembakaran dikarenakan energi aktivasi yang dibutuhkan lebih kecil dikarenakan pencampuran minyak cengkeh dan karbon aktif dengan konsentrasi yang lebih banyak mempengaruhi struktur dari minyak kapuk randu lebih merata dimana medan

magnet yang ada lebih besar, sehingga ikatan pada minyak kapuk randu lebih mudah terputus dan mengakibatkan energi aktivasi yang dibutuhkan lebih kecil untuk mempercepat reaksi pembakarannya. Pada gambar diatas, baik pada penambahan 100 ppm maupun 300 ppm kedua katalis terlihat pada awal pembakaran tidak terjadi pemuain, hal tersebut dikarenakan ikatan yang ada pada asam lemak sudah terputus secara merata akibat medan magnet yang ada pada minyak cengkeh dan karbon aktif, sehingga saat proses oksidasi langsung terjadi penguapan yang ditandai dengan diameter droplet yang langsung menurun.

4.2.4 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Pada Konsentrasi Yang Sama Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Kapuk Randu



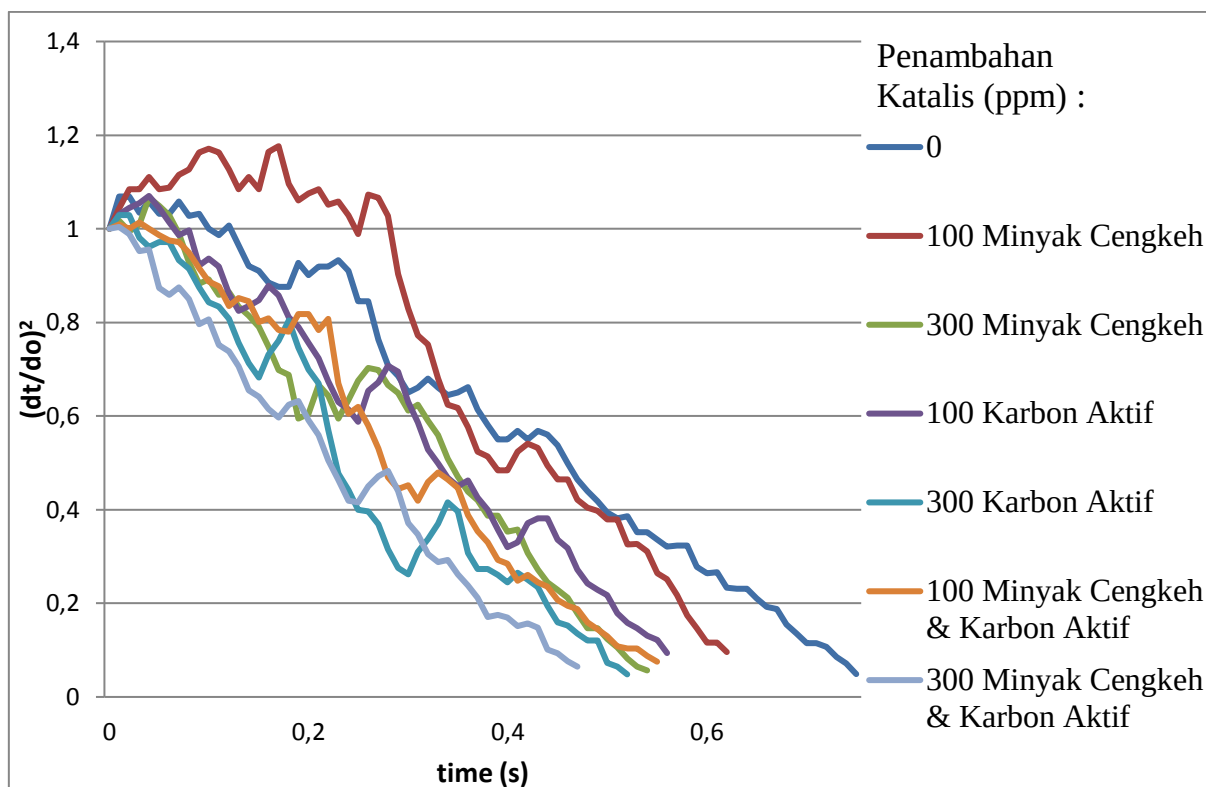
Gambar 4.11 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran terhadap variasi penambahan katalis pada konsentrasi yang sama 100 ppm terhadap minyak kapuk randu.



Gambar 4.12 Perbandingan kecepatan reaksi pembakaran terhadap variasi penambahan katalis pada konsentrasi yang sama 300 ppm terhadap minyak kapuk randu.

Pada gambar terlihat perbandingan kecepatan api pembakaran tanpa katalis dengan penambahan katalis dapat diketahui urutan kecepatan api pembakaran yang paling cepat terjadi pada penambahan katalis campuran minyak cengkeh dan karbon aktif dengan bentuk grafik yang lebih curam kemudian penambahan katalis minyak cengkeh dan yang terakhir adalah penambahan katalis karbon aktif. Hal tersebut terjadi karena penambahan katalis minyak cengkeh dan karbon aktif memiliki medan magnet yang lebih banyak. Selain itu perubahan diameter pada campuran minyak cengkeh dan karbon aktif cenderung menurun secara konstan dibandingkan dengan penambahan satu katalis, hal tersebut dikarenakan saat proses awal pemanasan, ikatan yang ada minyak kapuk randu sudah mulai terputus yang dipengaruhi oleh medan magnet dari minyak cengkeh dan karbon aktif dan saat energi panas meningkat, pemuatan yang terjadi sudah tidak terlalu signifikan sehingga kecepatan api pembakaran terlihat lebih cepat dibandingkan dengan yang lain. *Microexplosion* pada pencampuran minyak cengkeh dan karbon aktif lebih sedikit terjadi, dikarenakan medan magnet yang kuat yang dimiliki kedua komponen tersebut hampir mempengaruhi seluruh kandungan asam lemak minyak kapuk randu, sehingga ikatan asam lemak pada kapuk randu langsung terputus dan tidak mengakibatkan terjadinya penguapan di dalam *droplet*.

4.2.5 Pengaruh Variasi Penambahan Minyak Cengkeh dan Karbon Aktif Pada Kecepatan Reaksi Pembakaran Minyak Kapuk Randu



Gambar 4.13 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan karbon aktif pada kecepatan reaksi pembakaran minyak kapuk randu.

Pada gambar 4.13 melihat perbandingan antara penambahan katalis minyak cengkeh dan karbon aktif dengan penambahan konsentrasi 100 ppm dan 300 ppm dengan tidak adanya penambahan katalis pada minyak kapuk randu. Semakin cepat api pembakaran ditandai dengan kecenderungan bentuk atau kemiringan grafik dari perubahan diameter droplet yang lebih curam. Untuk mengetahui lebih pasti nilai kecepatan pembakaran diperlukan perhitungan yaitu dengan mensubstitusikan burning lifetime dan diameter *droplet* ke persamaan (2-2). Contoh perhitungan kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu dengan penambahan 0 ppm katalis:

$$Kc = - \left(\frac{Dt^2 - Do^2}{t} \right)$$

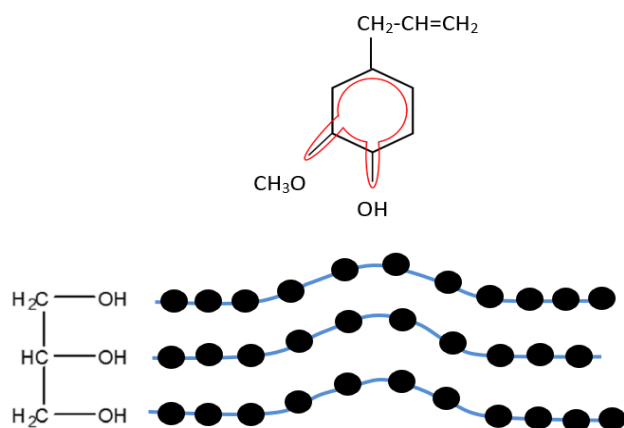
$$Kc = - \left(\frac{0,261^2 - 1,181^2}{0,75} \right)$$

$$Kc = 1,76 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan kecepatan pembakaran untuk penambahan 100 ppm minyak cengkeh adalah $1,79 \text{ mm}^2/\text{s}$; 300 ppm minyak cengkeh adalah $1,88 \text{ mm}^2/\text{s}$; 100 ppm karbon aktif adalah $1,76 \text{ mm}^2/\text{s}$; 300 ppm karbon aktif adalah $1,95 \text{ mm}^2/\text{s}$; 100 ppm katalis campuran adalah $1,86 \text{ mm}^2/\text{s}$, dan 300 ppm katalis campuran adalah $2,14 \text{ mm}^2/\text{s}$. Pada gambar terlihat campuran minyak kapuk randu dengan 300 ppm katalis campuran minyak cengkeh dan karbon aktif terjadi penurunan lebih signifikan dan dari hasil perhitungan juga memiliki nilai kecepatan pembakaran yang paling tinggi yang menunjukkan kecepatan pembakaran paling cepat dibandingkan dengan campuran yang lain. Hal tersebut terjadi karena campuran minyak cengkeh dan karbon aktif menghasilkan medan magnet kuat dan lemah yang akan mengakibatkan pergerakan elektron asam lemak minyak kapuk randu menjadi kacau. Saat reaksi pembakaran, kekacauan pergerakan elektron akan menurunkan energi aktivasi minyak kapuk randu, sehingga kecepatan api pembakaran menjadi lebih cepat (Wardana, 2008).

Sedangkan antara penambahan minyak cengkeh dengan penambahan karbon aktif, proses pembakaran lebih cepat terjadi pada penambahan karbon aktif, hal tersebut karena karbon aktif menghasilkan medan magnet yang lebih kuat yang dapat memutus ikatan hidrokarbon minyak kapuk randu. Sedangkan minyak cengkeh menghasilkan medan magnet lemah yang hanya akan mengganggu pergerakan elektron pada minyak kapuk randu dan melemahkan ikatan molekul minyak kapuk randu.

Eugenol pada minyak cengkeh memiliki resonansi pada ikatan karbon siklik yang dapat menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini mengganggu pergerakan elektron-elektron pada molekul asam lemak yang mengakibatkan elektron tersebut keluar dari orbitnya sehingga ikatan asam lemak melemah dan saling menjauh satu sama lain seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.14, hal tersebut mengakibatkan ikatan antar molekul asam lemak semakin mudah terputus ketika diberi energi panas.

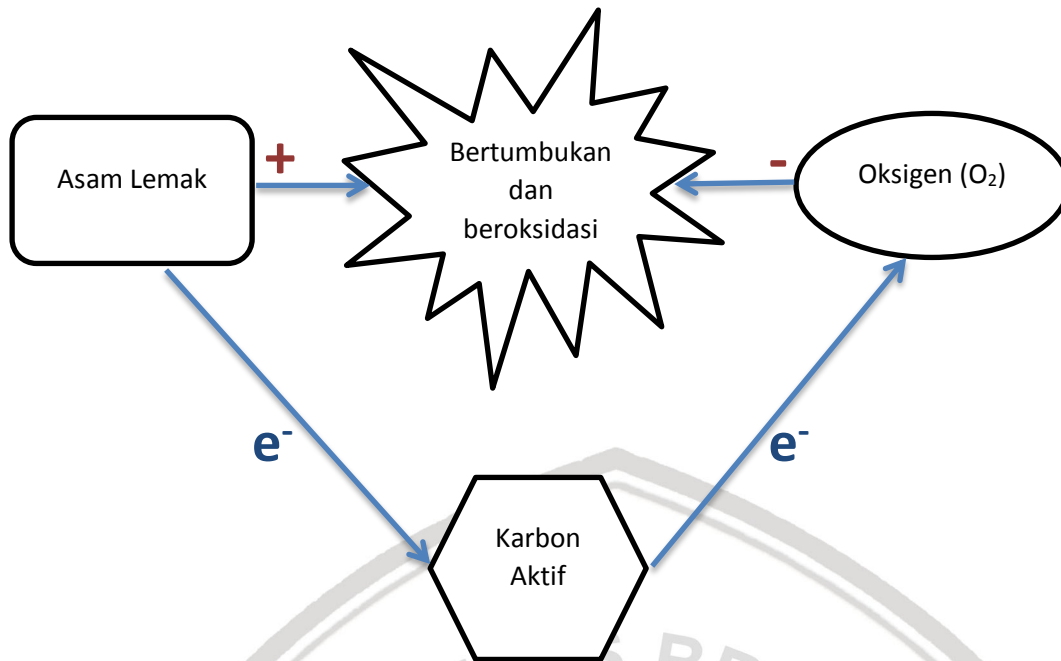


Gambar 4.14 Pengaruh resonansi eugenol yang menimbulkan medan magnet terhadap ikatan asam lemak

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Elektron yang keluar dari orbit asam lemak tadi mengakibatkan asam lemak hanya memiliki proton dan bermuatan positif. Saat proses pembakaran, oksigen yang ada memiliki keelektronegatifan yang tinggi sehingga dapat menarik elektron berpindah ke oksigen dan oksigen akan lebih bermuatan negatif. Ketika oksigen yang bermuatan negatif bereaksi dengan asam lemak yang bermuatan positif mengakibatkan gaya tarik menarik secara masif. Gaya tarik menarik ini mengakibatkan terjadinya tumbukan antar molekul yang bisa mempercepat reaksi pembakaran.

Pada karbon aktif, medan magnet ada pada alotrop *graphane* serta dari bentuk heksagonal yang dimiliki struktur *graphene* yang dapat memutus ikatan hidrokarbon minyak kapuk randu dengan cara menarik atom karbon yang dimiliki oleh asam lemak. Karena adanya penarikan atom karbon pada asam lemak tersebut meninggalkan atom hidrogen menjadi bergerak secara bebas karena terlepas dari ikatan karbon pada asam lemak. Atom hidrogen yang bergerak bebas tersebut sebagian akan ditarik dan berikatan dengan atom karbon pada *graphane* membentuk alotrop *graphane*. Sedangkan atom hidrogen yang tidak berikatan dengan *graphene* akan menjadi radikal bebas. Atom hidrogen yang berikatan dengan atom karbon pada *graphene* akan menimbulkan sifat magnetik pada molekul *graphane* (Jorge, 2016). Dengan terbentuknya *graphane* mengakibatkan karbon aktif memiliki sifat magnetik yang dapat menarik elektron yang ada pada asam lemak.



Gambar 4.15 Perpindahan elektron dan proses oksidasi karbon aktif dengan asam lemak
Sumber : Dokumentasi Pribadi (2018)

Gambar 4.15 menunjukkan ilustrasi dari elektron-elektron pada asam lemak berpindah ke karbon aktif sehingga karbon aktif menjadi kelebihan elektron dan bermuatan negatif. Dan dikarenakan elektron asam lemak berpindah ke karbon aktif mengakibatkan asam lemak hanya memiliki proton dan bermuatan positif. Saat proses pembakaran asam lemak yang bermuatan positif akan bereaksi dengan oksigen yang memiliki beda potensial negatif yang lebih besar, hal tersebut mengakibatkan elektron yang dimiliki karbon aktif bergerak menuju oksigen dan mengakibatkan oksigen memiliki kelebihan muatan negatif. Atom oksigen dengan kelebihan muatan negatif akan mengalami reaksi tarik menarik dengan asam lemak yang hanya memiliki muatan positif. Reaksi tarik menarik tersebut mengakibatkan energi aktivasi yang dibutuhkan semakin kecil sehingga reaksi pembakaran yang terjadi semakin meningkat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan data penelitian tentang pengaruh penambahan minyak cengkeh dan karbon aktif sebagai katalis terhadap kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penambahan katalis minyak cengkeh dan karbon aktif mempengaruhi kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu dengan semakin bertambahnya kadar minyak cengkeh dan karbon aktif akan semakin mempercepat proses pembakaran *droplet* minyak kapuk randu.
2. Penambahan katalis karbon aktif lebih efektif dalam mempercepat reaksi pembakaran dibandingkan dengan penambahan katalis minyak cengkeh. Kemudian, pencampuran kedua katalis minyak cengkeh dan karbon aktif akan semakin meningkatkan kecepatan pembakaran *droplet* minyak kapuk randu.
3. Kecepatan pembakaran *droplet* paling cepat terjadi dapat dilihat dari besar kemiringan grafik (*slope*) yang semakin kecil. Pembakaran yang paling cepat terjadi pada pencampuran minyak kapuk randu dengan katalis campuran minyak cengkeh dan karbon aktif pada konsentrasi 300 ppm dengan kecepatan pembakaran sebesar 2,14 mm²/s.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih banyak mengenai kecepatan pembakaran *droplet* yang ditinjau dari perubahan diameter *droplet*.
2. Menambah penelitian reaksi pembakaran *droplet*, *premix* ataupun difusi dengan membandingkan minyak cengkeh dengan minyak atsiri lain atau katalis lain dengan harga yang lebih murah.
3. Perlu dilakukan uji karakteristik untuk mengetahui sifat kimia dan sifat fisika dari setiap campuran minyak bahan bakar dengan katalis

DAFTAR PUSTAKA

- Alma, M.H., M. Ertas, S. Nitz, H. Kollmannsberger. (2007). Chemical Composition and Content of Essential Oil from The Bud of Cultivated Turkish Clove (*Syzygium aromaticum* L.), *J. Bio Resources*, 2(2), pp.265-269.
- Blue Ocean Solutions (2015). *Introduction to Emulsified Fuel*. <http://www.blueoceansoln.com/solutions-2/introduction-to-emulsified-fuel>. (diakses 12 Februari 2018)
- Gates, B. C. (1992). *Catalitic Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Guenther, E., (1952). *The Essential Oils*. D. Van Nostrand Co. Inc. New York. 2nd Ed II, p. 552-574
- Hendra, Dj., Pari, G., (2009), *Pembuatan Arang Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit*, Buletin Penelitian Hasil Hutan, Jakarta.
- Hoxie, A., Schoo, R., Braden, J. (2013). *Microexplosive Combustion Behavior of Blended Soybean Oil and Butanol Droplets*. *Fuel* 120. Duluth: Elsevier. hlm. 22-29.
- 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.
- Konstantine, S., Zan, R., Ramasse, Q., Bangert, U. (2012). *Mesoscale and Nanoscale Physics*. Manchester: The University of Manchester. Daresbury: STFC Daresbury Campus. hlm. 3936–3940.
- Mirrah, S., (2016). Skripsi: Pengaruh Persentase Penambahan Minyak Cengkeh terhadap Karakteristik Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak. Malang: Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Murti, S., (2008). *Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Adsorpsi Mollekul Amonia dan ion Krom*. Depok: Universitas Indonesia.
- Prianto, Henny, dkk. (2013). Isolasi dan Karakterisasi dari Minyak Bunga Cengkeh (*Syzygium aromaticum*) Kering Hasil Distilasi Uap. *Kimia Student Journal*, vol.1, no. 2, hal 269-275. Malang: Universitas Brawijaya.
- Quintere, J.G. (1998). *Principles of Fire Behavior*. New York: Delmar.
- Rosyadi, B. (2014). *Burning Rate Constants and Microexplosion Phenomena Measurements of Droplet Combustion*. *Jurnal Rekayasa Mesin*. Taiwan: National Central University.

- Sa'adah, A. (2016). Analisis Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia. MT-Economic and Management. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sastrohamidjojo, Hardjono. (2004). Kimia Minyak Atsiri. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Soetiari, Tj. (1990). Bahan Bakar dan Proses-Proses Kimia Pembakaran. Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya : Malang.
- Sudibandriyo (2013). *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu dengan Aktivasi Kalium*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Tsaqif, S. (2017). Skripsi: Penambahan Kadar Karbon Aktif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Premixed* dengan Bahan Bakar Minyak Jarak. Malang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Virtual Combustion and Atomation Laboratory (ITT Kanpur). (2008). Expt 8: Characteristic of Droplet Combustion. <http://vcal-iitk.vlabs.ac.in/theory8.html>. (Diakses tanggal 27 Februari 2018).
- Wardana , I.N.G. (2008). Bahan Bakar Dan Teknologi Pembakaran. Malang: PT. Danar Wijaya-Brawijaya University Press.
- Yuniwati, M. (2012). Produksi Minyak Biji Kapuk dalam Usaha Pemanfaatan Biji Kapuk sebagai Sumber Minyak Nabati. Jurnal Teknologi Technoscientia. Yogyakarta: Institut Sains dan Teknologi AKPRIND.
- Yuntyansyah, R. (2016). Skripsi: Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Biji Bunga Matahari. Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Zeng, Y. & Lee, C.F. (2007). *Modelling of Micro-explosion for Multicomponent Droplets*. Champaign: University of Illinois.

