

**PENGARUH PENAMBAHAN BIOADITIF MINYAK CENGKEH DAN
MINYAK KAYU PUTIH TERHADAP KECEPATAN PEMBAKARAN
DROPLET MINYAK JARAK**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**KADEK DWI SASMITA
NIM. 145060201111003**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi pembakaran	6
Gambar 2.2 Permodelan api difusi	8
Gambar 2.3 Permodelan nyala api droplet	8
Gambar 2.4 Perubahan diameter droplet saat terbakar	9
Gambar 2.5 Struktur kimia gliserida	10
Gambar 2.6 Struktur kimia minyak jarak	11
Gambar 2.7 Struktur senyawa aromatik	13
Gambar 2.8 Ilustrasi penambahan minyak atsiri pada bahan bakar diesel	13
Gambar 2.9 Minyak cengkeh.....	14
Gambar 2.10 Struktur eugenol.....	14
Gambar 2.11 Ilustrasi terjadinya <i>Microexplosion</i>	17
Gambar 2.12 Intensitas tumbukan	18
Gambar 2.13 Pengaruh suhu terhadap tumbukan	18
Gambar 2.14 Tabel periodik keelektronegatifan atom – atom	18
Gambar 2.15 Struktur sineol.....	19
Gambar 2.16 Ilustrasi terjadinya resonansi elektron	19
Gambar 2.17 Reaksi ikatan samping sineol.....	20
Gambar 2.18 Struktur <i>sineol</i> memengaruhi ikatan minyak jarak	20
Gambar 2.19 Pengaruh radikal bebas terhadap molekul	21
Gambar 2.20 Medan magnet memutus ikatan	2
1	1
Gambar 2.21 Resonansi stuktur eugenol	22
Gambar 2.22 Resonansi dengan ikatan samping	22
Gambar 2.23 Pelepasan atom H	23
Gambar 2.24 Reaksi minyak jarak dengan oksigen	23
Gambar 3.1 <i>Syringe</i>	26
Gambar 3.2 Transformator.....	27
Gambar 3.3 <i>Thermocouple</i>	27
Gambar 3.4 Elemen pemanas	28
Gambar 3.5 <i>Data logger</i>	29
Gambar 3.6 Kamera.....	29

Gambar 3.7 Minyak jarak.....	30
Gambar 3.8 Minyak cengkeh.....	30
Gambar 3.9 Minyak kayu putih.....	31
Gambar 3.10 Timbangan analitik.....	31
Gambar 3.11 Skema alat pengujian droplet	32
Gambar 3.12 Diagram alir penelitian	35
Gambar 3.13 Contoh grafik penelitian	36
Gambar 4.1 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	38
Gambar 4.2 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak kayu putih 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	38
Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan kayu putih 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	39
Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan kayu putih 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	40
Gambar 4.5 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan kayu putih 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	40
Gambar 4.6 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih pada pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	42
Gambar 4.7 Lintasan delokalisasi (a) sineol (b) eugenol	43
Gambar 4.8 Ilustrasi eugenol mempengaruhi ikatan minyak jarak	43
Gambar 4.9 Ilustrasi sineol mempengaruhi ikatan minyak jarak	43
Gambar 4.10 Ilustrasi pengaruh bioaditif terhadap ikatan minyak jarak	44



DAFTAR ISI

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	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Pembakaran	6
2.2.1 Pembakaran Droplet	7
2.3 Kecepatan Pembakaran Droplet	8
2.4 Minyak Nabati	9
2.5 Minyak Jarak	10
2.6 Bioaditif	12
2.7 Minyak Atsiri	12
2.7.1 Minyak Cengkeh	14
2.7.2 Minyak Kayu Putih	15
2.8 <i>Microexplosion</i>	16
2.9 Teori Tumbukan	17
2.10 Keelektronegatifan	18
2.11 Konsep Dasar	19
2.11.1 Minyak Kayu Putih	19
2.11.2 Minyak Cengkeh	22
2.12 Hipotesis	24
BAB III METODE PENELITIAN	25

3.1 Metode Penelitian	25
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.3 Variabel Penelitian	25
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	26
3.5 Skema Alat	32
3.6 Prosedur Penelitian	33
3.7 Diagram Alir Penelitian.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Hasil Penelitian.....	37
4.1.1 Diameter Awal Droplet	37
4.1.2 Kecepatan Pembakaran.....	37
4.2 Grafik dan Pembahasan	37
4.2.1 Pengaruh Variasi Penambahan Bioaditif Terhadap Kecepatan Pembakaran Droplet Minyak Jarak.....	38
4.2.2 Perbandingan Pengaruh Jenis Bioaditif Terhadap Kecepatan Pembakaran Droplet Minyak Jarak.....	40
4.2.3 Pengaruh Bioaditif Minyak Cengkeh dan Minyak Kayu Putih Terhadap Kecepatan Pembakaran Droplet Minyak Jarak	42
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengukuran *Droplet*



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Durasi Konsumsi Bahan Bakar Campuran Minyak Kayu Putih	5
Tabel 2.2 Komposisi Asam Trigliserida Minyak Jarak	11
Tabel 2.3 Sifat fisika minyak jarak dibanding minyak lainnya	12
Tabel 2.4 Komposisi Bunga Cengkeh	14
Tabel 2.5 Properties Minyak Cengkeh	14
Tabel 2.6 Kandungan Kimia Tumbuhan <i>Melaleuca leucadendra</i>	15
Tabel 4.1 Ukuran Diameter Awal Droplet	37



KATA PENGANTAR

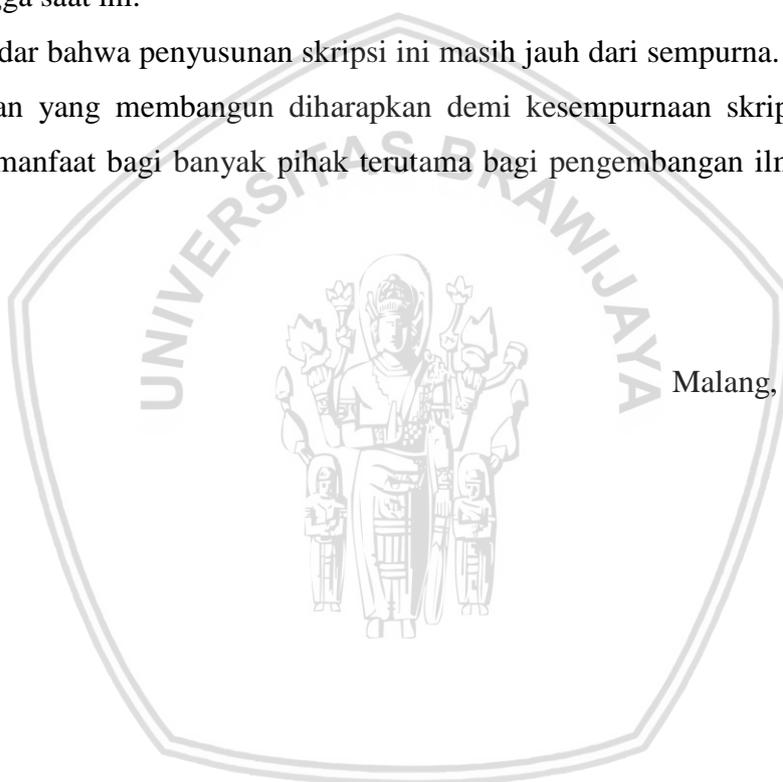
Segala puji syukur kepada Ida Sang Hyang Widi Wasa, karena berkat rahmat, tuntunan, dan segala nikmat-Nya penulis bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Pengaruh Penambahan Bioaditif Minyak Cengkeh dan Minyak Kayu Putih Terhadap Kecepatan Api Pembakaran Droplet Minyak Jarak**” dengan lancar. Skripsi ini ditulis guna melengkapi proses perkuliahan dan sebagai persyaratan akademis untuk mencapai Gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Dalam menyelesaikan tulisan ini, penulis menyadari tidak bisa melakukannya tanpa bantuan dan dukungan dari semua pihak yang terkait maupun tidak terkait. Oleh karena itu dalam kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Djarot B. Darmadi, Ir.,MT.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST.,M.Eng. Ph.D selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Mega Nur Sasongko, ST.,MT.,Dr.Eng selaku ketua program studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT. selaku ketua kelompok konsentrasi teknik konversi energi.
5. Bapak Prof. Ir. I.N.G Wardana, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi bimbingan, mengarahkan dan memberikan motivasi kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Purnami, ST.,MT. selaku dosen pembimbing II yang memberi masukan, saran dan dorongan motivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah mengajarkan banyak ilmu pengetahuan.
8. Orang tua dan kakak yang telah mendukung dari segi finansial dan moral untuk kelancaran penulis menyelesaikan kuliah.
9. Teman – teman M14 “MAF14” yang telah menjadi keluarga dan pengisi hari – hari penulis selama kuliah.
10. Keluarga besar Laboratorium Otomasi Manufaktur yang telah menjadi tempat mengembangkan diri penulis selama berada di Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

11. Seluruh penghuni mesin 2 yang menjadi tempat penulis menghabiskan waktu selama 4 tahun terakhir.
12. Seluruh keluarga besar Unikahidha, Unikahidha 2014, serta teman – teman pengurus Inti Unikahidha 2017 yang selalu memotivasi penulis dalam hal kerohanian maupun kekeluargaan.
13. Seluruh penghuni kontrakan 6A6 Borobudur yang kasat mata (Agung, Surya, Bayu), tambahan (Gandi, Sandra), maupun yang tak kasat mata.
14. NYAME yang selalu menjadi saudara susah senang dirantau.
15. Sekte Pengabdi dan IPA 1 P68 yang selalu menjadi sahabat dan teman terbaik sejak SMA hingga saat ini.

Penulis sadar bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi banyak pihak terutama bagi pengembangan ilmu pengetahuan teknik mesin.



Malang, Juni 2018

Penulis



*Teriring ucapan terima kasih kepada:
Bapak, Ibu dan Kakak Krisna tercinta
telah menjadi sumber semangat dalam kuliah
dirantauan*

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.

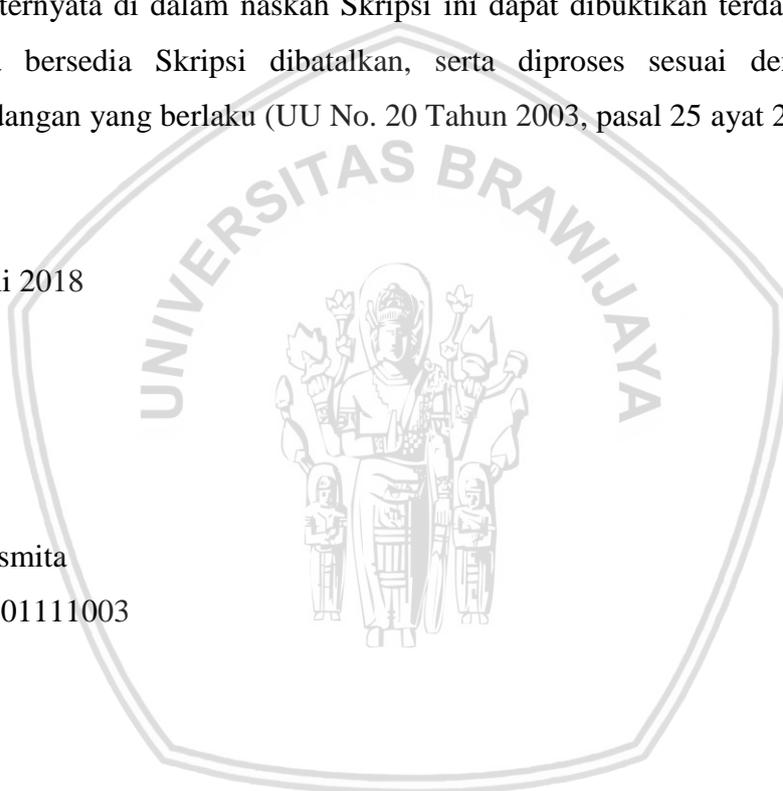
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 Juli 2018

Mahasiswa,

Kadek Dwi Sasmita

NIM. 145060201111003



RINGKASAN

Kadek Dwi Sasmita, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2018, Pengaruh Penambahan Bioaditif Minyak Cengkeh dan Minyak Kayu Putih Terhadap Kecepatan Pembakaran Minyak Jarak. Dosen Pembimbing: I.N.G. Wardana and Purnami.

Energi dalam kehidupan sangat dibutuhkan terus menerus, sehingga sumber energi menjadi kunci untuk kehidupan agar berjalan lancar. Sumber energi yang terus di manfaatkan didominasi oleh bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Dengan permintaan akan bahan bakar fosil yang terus meningkat sementara ketersediaannya yang terbatas maka diperlukan sumber energi alternatif untuk menggantikan sumber energi berupa bahan bakar fosil.

Minyak nabati merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat di manfaatkan sebagai pengganti bahan bakar fosil, karena minyak nabati memiliki kandungan yang hamper mirip dengan bahan bakar fosil. Namun perlu penambahan bioaditif untuk meningkatkan kemampuan dari minyak nabati agar mampu dijadikan bahan bakar sumber energi. Dalam penelitian ini digunakanlah bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih sebagai bioaditif minyak nabati minyak jarak. Penambahan jumlah bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih masing-masing sebesar 100 ppm dan 300 ppm. Penelitian menggunakan pembakaran dengan metode merubah minyak nabati menjadi ukuran droplet, tujuannya untuk memperluas permukaan dari minyak nabati agar lebih mudah bereaksi. Hasil penelitian menunjukan Campuran antara minyak cengkeh dan minyak kayu putih memiliki peran yang paling besar untuk mempengaruhi minyak nabati dan semakin banyak penambahan bioaditif maka akan meningkatkan kecepatan pembakarannya.

Kata Kunci: Bioaditif, Droplet, Kecepatan pembakaran, Pembakaran

JUDUL SKRIPSI:

**PENGARUH PENAMBAHAN BIOADITIF MINYAK CENGKEH DAN
MINYAK KAYU PUTIH TERHADAP KECEPATAN PEMBAKARAN
DROPLET MINYAK JARAK**

Nama Mahasiswa : Kadek Dwi Sasmita
NIM : 145060201111003
Program Studi : Teknik Mesin
Konsentrasi : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

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

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT. Met.
Dosen Penguji II : Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.
Dosen Penguji III : Rudianto Raharjo, ST., MT.

Tanggal Ujian : 10 Juli 2018
SK Penguji : 1393/UN10.F07/SK/2018

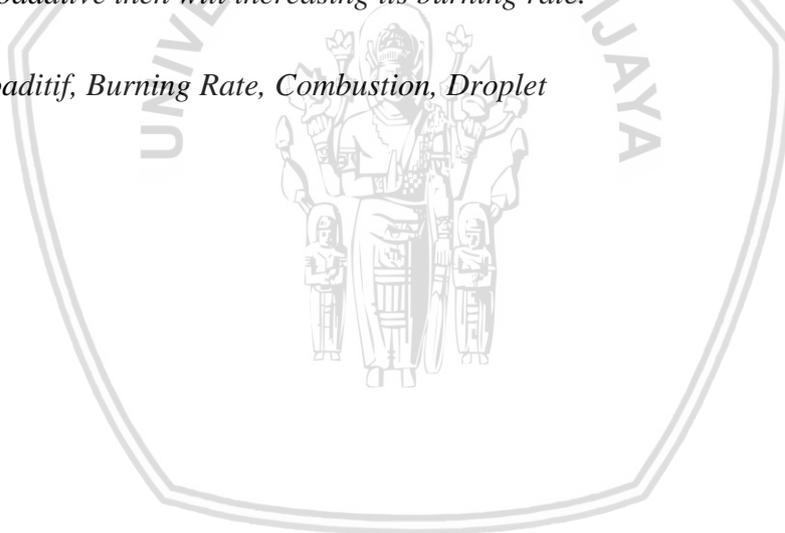
SUMMARY

Kadek Dwi Sasmita, *Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2018, The Effect of Bioadditive Clove Oil and Cajuput Oil in Castor Oil on Burning Rate of Droplet Combustion. Academic Supervisor: I.N.G. Wardana and Purnami.*

Energy is a substantial things in our lives, therefore energy sources is a main key for having a proper and good life. Energy sources that continue to be utilized is fossil fuels, which is classified a non-renewable energy sources. With the high demand of fossil fuels increasing nowadays meanwhile the avability of fossil fuels is limited, so alternative energy it needed to replace this fossil fuels energy.

Vegetable oil can be use as an alternative energy to substitute the use of fossil fuels itself, because vegetable oil consist of content that similar with fossil fuels. However it still need bioaditive additions to increasing the ability of vegetable oil to be use as fuel energy sources. In this research used clove oil and cajuput oil as vegetable oil castor oil bioaditive. Each addition of clove oil and cajuput oil is 100 ppm and 300 ppm. This research using combustion by method that turning vegetable oil into droplet size, that purpose to expand the surface of vegetable oil in order to make it easier to react. The result of this research showed the mix of clove oil and cajuput oil has a big role to affect the vegetable oil, more additions to bioaditive then will increasing its burning rate.

Keywords: *Bioaditif, Burning Rate, Combustion, Droplet*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara berkembang saat ini mengalami perkembangan pertumbuhan jumlah penduduk yang cepat. Saat ini penduduk Indonesia telah mencapai angka 255 juta jiwa dengan persentase pertumbuhan jumlah penduduk sekitar 1,4% pertahun. Ini menjadikan Indonesia menjadi negara dengan jumlah penduduk terbesar ke- 4 di dunia. Diprediksi pada tahun 2030 jumlah penduduk Indonesia berjumlah 300 juta jiwa. Dengan jumlah penduduk yang besar tersebut tentu saja akan menimbulkan berbagai dampak pada sektor kehidupan.

Bertambahnya penduduk Indonesia secara pesat berbanding lurus dengan kebutuhan masyarakatnya terhadap energi. Konsumsi energi final di Indonesia pada periode 2000-2012 meningkat rata-rata sebesar 2,9% per tahun, dengan energi yang paling banyak digunakan adalah bahan bakar fosil (Outlook Energi Indonesia, 2014). Padahal seperti yang kita ketahui bahan bakar fosil sendiri merupakan bahan bakar yang tidak bisa diperbaharui dan jumlahnya yang terbatas. Apabila konsumsi bahan bakar fosil terus mengalami peningkatan yang cukup pesat, maka dalam beberapa tahun kedepan Indonesia akan mengalami krisis kebutuhan energi. Hal tersebut dapat menjadikan Indonesia sebagai negara dengan krisis bahan bakar dan akan sangat ketergantungan terhadap impor bahan bakar.

Disisi lain, Indonesia menjadi salah satu negara berkembang tak lepas dari kekayaan dan hasil alam yang melimpah. Indonesia sebagai negara tropis memiliki kekayaan alam berupa tumbuhan. Tumbuhan sendiri bisa dikembangkan dan diolah menjadi sesuatu yang memiliki nilai lebih tinggi, salah satunya dengan mengolahnya menjadi ekstrak tumbuhan. Ekstrak dari tumbuhan ini yang berupa minyak bisa di manfaatkan sebagai sumber energi utama di masa mendatang. Minyak ekstrak dari tumbuhan disebut minyak nabati. Minyak ini memiliki karakteristik yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti minyak bumi. Dalam memenuhi kebutuhan yang akan datang, minyak nabati sangat potensial karena sifatnya yang mampu diperbaharui lebih cepat daripada minyak bumi yang perlu waktu lama untuk proses pembaharuannya. Minyak nabati sudah banyak dikembangkan, dan masih perlu waktu untuk menjadikannya pengganti minyak bumi yang

saat ini ketersediaannya mulai menipis. Di Indonesia sendiri ketersediaan bahan baku minyak nabati sangat melimpah dan beberapa diantaranya sudah dikembangkan menjadi minyak nabati, contohnya: minyak kepala sawit, minyak biji jarak, minyak biji bunga matahari, minyak kelapa, minyak kemiri sunan.

Minyak jarak merupakan salah satu tanaman alternatif yang dianggap mampu sebagai pengganti minyak bumi. Potensi minyak jarak sangat besar karena mudah didapatkan di Indonesia, karena Indonesia sebagai negara subtropis sangat kaya akan tanaman jarak. Apalagi tanaman jarak mudah beradaptasi dan tumbuh dengan baik. Kandungan minyak pada jarak yang sangat tinggi sekitar 30% - 50% memungkinkan tanaman jarak pagat memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan menjadi pengganti bahan bakar minyak bumi dimasa mendatang. Pada tanaman jarak, kandungan minyak terbesar terdapat pada bijinya (biji tanpa cangkang) yang dapat mencapai 45% - 60%. Selain itu pada minyak jarak juga mengandung racun yang mengakibatkan minyak ini tidak termasuk minyak untuk konsumsi (Ketaren, 1989).

Minyak jarak tidak langsung begitu saja dimanfaatkan sebagai bahan bakar sumber utama energi. Harus ada penambahan bahan kimia untuk menghasilkan biodiesel yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Selain itu permasalahan lainnya yaitu minyak jarak ini sulit dalam proses pembakarannya, karena nilai kalornya yang rendah, viskositasnya yang tinggi dan titik nyala api yang tinggi. Oleh karena itu minyak jarak masih memerlukan pengembangan lagi agar dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif, salah satunya dengan penambahan zat aditif untuk meningkatkan kualitas reaksi pembakaran minyak jarak. Zat aditif yang digunakan bisa didapatkan melalui berbagai proses, salah satunya melalui proses ekstraksi tumbuh tumbuhan. Zat aditif yang didapatkan dari hasil ekstrak tumbuh tumbuhan dinamakan bio-aditif. Indonesia memiliki banyak tumbuhan penghasil bioaditif, contohnya minyak atsiri (*essential oil*), minyak tersebut memiliki karakteristik, menyerupai/mendektai bahan bakar minyak, seperti mudah menguap, berat jenisnya rendah, dan tersusun dari senyawa-senyawa organik hidrokarbon spesifik, sehingga diharapkan dapat dijadikan bioditif untuk bahan bakar minyak jarak. Minyak atsiri umumnya larut dalam pelarut organik. Disamping itu, komponen oksigen yang terkandung dalam struktur kimia minyak atsiri dan kemampuannya untuk menurunkan ikatan antar molekul penyusun bahan bakar diharapkan dapat meningkatkan reaksi pembakaran minyak jarak. Contoh dari minyak atsiri adalah minyak kayu putih dan minyak cengkeh.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka diadakan penelitian tentang peningkatan kecepatan api pembakaran *droplet* dengan penambahan bioaditif minyak kayu putih dan minyak cengkeh pada bahan bakar minyak jarak.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah membandingkan pengaruh variasi penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih pada pembakaran *droplet* dengan bahan bakar minyak jarak untuk mengetahui kecepatan pembakarannya.

1.3 Batasan Masalah

Akibat banyaknya kemungkinan yang dapat terjadi dalam penelitian ini dan juga supaya permasalahan dalam penelitian ini tidak meluas. Maka penulis menentukan batasan – batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Tidak membahas cara, pembuatan dan pengolahan minyak yang digunakan lebih spesifik

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih terhadap kecepatan pembakaran *droplet* dengan bahan bakar minyak jarak.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis dan pembaca akan mendapat tambahan wawasan tentang pengaruh bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih terhadap pembakaran *droplet* pada minyak nabati khususnya minyak jarak
2. Sebagai referensi untuk pengembangan minyak jarak sebagai bahan bakar alternatif
3. Sebagai salah satu media penerapan ilmu–ilmu yang didapat selama menempuh pendidikan sarjana teknik mesin
4. Sebagai referensi penelitian selanjutnya



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Menurut Wardana (2008), pada penelitian beliau tentang “*combustion characteristic of jathropa oil droplet at various oil temperatures*” yang membahas tentang karakteristik pembakaran *droplet* pada bahan bakar minyak jarak mengatakan bahwa pada proses pembakaran minyak jarak ada 2 tahap. Tahap pertama pembakaran asam lemak, yang kedua adalah pembakaran gliserol. Pada minyak jarak terjadi 2 tahap pembakaran dikarenakan titik nyala api pada gliserol lebih tinggi dibandingkan asam lemak. Beliau menjelaskan juga, sebelum terjadinya pembakaran tahap kedua, terjadi *microexplosion* pada reaksi pembakaran dan frekuensinya akan semakin intens seiring pertambahan temperatur pemanasan.

Dari penelitian saudara Nugroho (2015), yang meneliti tentang pengaruh penambahan bioaditif minyak kayu putih terhadap bahan bakar premium terhadap performa mesin. Dikatakan penambahan minyak kayu putih pada bahan bakar premium berpengaruh pada performa mesin. Penambahan bioaditif minyak kayu putih dapat meningkatkan kualitas pembakaran dari mesin. Meningkatnya kualitas pembakaran dari mesin mempengaruhi daya dan torsi pada mesin yang semakin meningkat. Selain itu penambahan bioaditif minyak kayu putih dapat menurunkan *Spesific Fuel Consumption* seperti yang berarti mesin akan semakin hemat bahan bakar seperti pada Tabel 2.1 yang menunjukkan lamanya waktu konsumsi bahan bakar.

Tabel 2.1

Durasi Konsumsi Bahan Bakar Campuran Minyak Kayu Putih

Putaran (RPM)	Waktu per 5 mL (detik)					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
1500	122	126	124	150	152	134
2000	93	108	104	102	101	102
2500	91	88	93	94	93	96

Sumber: Nugroho (2015)

Menurut Mira (2016), minyak cengkeh dapat meningkatkan *burning rate* dan temperatur seiring penambahan kadar minyak cengkeh dalam campuran bahan bakar minyak jarak. Hasil optimum didapatkan ketika penambahan kadar 3% minyak cengkeh. Peningkatan *burning rate* berbanding terbalik dengan dimensi tinggi api karena cepatnya pembakaran yang terjadi. Selain itu *microexplosion* terjadi pada pembakaran bahan bakar

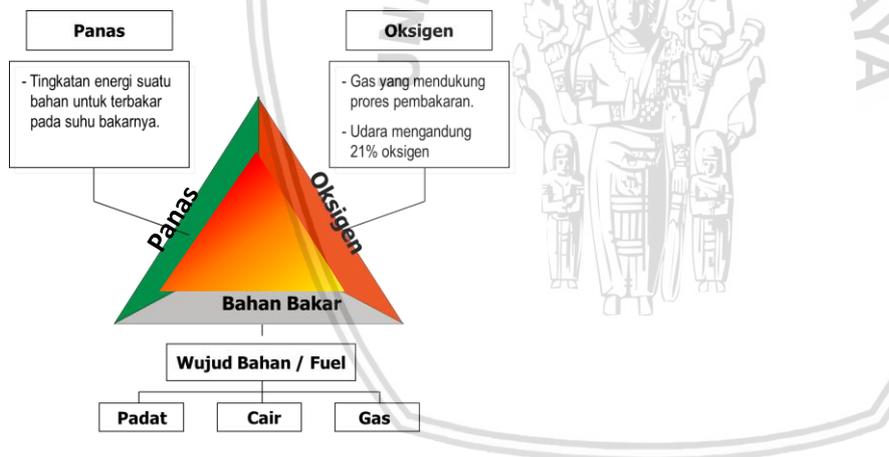
minyak jarak dengan campuran minyak cengkeh. Kandungan *eugenol* pada minyak cengkeh mempengaruhi karakteristik pada minyak jarak, sehingga penambahan minyak cengkeh pada kadar tertentu dalam bahan bakar minyak jarak akan memperbaiki nilai karakteristik minyak jarak. Sehingga bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif.

2.2 Pembakaran

Pembakaran didefinisikan sebagai reaksi eksotermik, yaitu suatu proses atau reaksi yang melepas energi dari sistem yang biasanya dalam bentuk panas dan cahaya. Secara umum persamaan reaksi pembakaran dapat tuliskan sebagai berikut.



Energi berupa panas dan cahaya pembakaran dihasilkan dari reaksi antara bahan bakar dengan pengoksidasi (oksigen atau udara). Dalam reaksi antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) diperlukan panas atau energi untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar seperti Gambar 2.1, sehingga dapat bereaksi dengan pengoksidasi. Panas atau energi tersebut biasa disebut energi aktivasi.



Gambar 2.1 Ilustrasi pembakaran
Sumber: Wahyudi (2012)

Proses pembakaran dapat terjadi apabila memiliki kandungan panas, bahan bakar dan oksigen yang tepat. Apabila dalam kondisi tertentu kandungan dari ketiga unsur ini tidak memenuhi syarat, maka proses pembakaran tidak akan bisa terjadi. Unsur utama yang terdapat dalam bahan bakar adalah adalah karbon (C) dan hidrogen (H), sehingga biasa disebut *hydrocarbon fuel*. Unsur lainnya yang terkandung dalam bahan bakar adalah nitrogen (N), sulfur (S), abu (A), air (H₂O).

Dalam reaksi pembakaran, energi yang dilepaskan ke lingkungan biasanya panas dan cahaya yang berupa nyala api. Untuk menghasilkan nyala api, proses pembakaran harus memiliki bahan bakar, oksigen dan energi aktivasi. Bahan bakar bereaksi dengan oksigen

setelah mendapatkan energi aktivasi berupa panas, energi aktivasi memecah molekul bahan bakar dan oksigen. Molekul bahan bakar dan oksigen menjadi bermuatan karena akan kehilangan satu atau lebih elektron dari kulit terluarnya, sehingga molekul-molekul bahan bakar tidak memiliki kestabilan muatan, sehingga mudah bereaksi.

Klasifikasi pembakaran berdasarkan bagaimana reaktan terbakar pada area reaksi dapat dibagi menjadi 2 yaitu pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi.

1. Pembakaran *premixed*, adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) dicampur terlebih dahulu secara mekanik kemudian dibakar.
2. Pembakaran difusi, yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami dengan proses difusi kemudian dibakar.

Dalam dunia industri, bahan bakar cair masih menjadi bahan bakar yang paling sering digunakan karena lebih bersih dari segi hasil pembakarannya, lebih mudah digunakan dan performa yang tidak jauh berbeda dibandingkan bahan bakar jenis lainnya. Bahan bakar cair memiliki struktur yang tidak rapat. Bensin/gasoline/premium, minyak solar, minyak tanah adalah contoh bahan bakar cair.

Bahan bakar cair mengalami pembakaran ketika berubah menjadi fase uap. Untuk mempermudah pembakaran bahan bakar cair dapat dibuat menjadi uap. Penguapan bahan bakar cair dapat dilakukan dengan cara mengubah bentuk bahan bakar cair menjadi butir – butiran kecil yang biasa disebut *droplet*. Proses atomisasi bahan bakar cair mempermudah penguapan bahan bakar, yang mempercepat proses pembakaran.

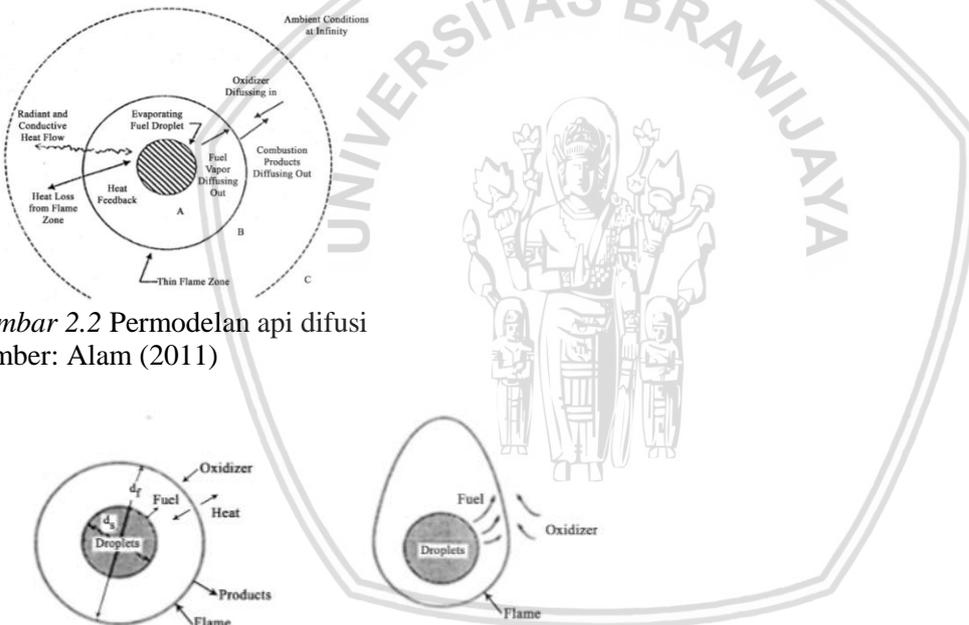
2.2.1 Pembakaran Droplet

Proses pembuatan bentuk butiran kecil yang bertujuan mempercepat perubahan fasa cair menuju fasa gas disebut atomisasi. Tujuan atomisasi adalah mempercepat perubahan fasa cair menjadi gas karena semakin meningkatnya luas permukaan fasa cair dengan cara memecah butiran cairan menjadi butiran yang lebih kecil, sehingga luas permukaan cairan semakin besar dan penguapan lebih mudah terjadi. Butiran – butiran kecil hasil atomisasi itulah yang disebut *droplet*.

Pembakaran *droplet* merupakan pembakaran secara difusi, yaitu pencampuran bahan bakar dengan oksidator terjadi setelah *droplet* terbakar. Difusi terjadi ketika *droplet* dipanaskan sehingga uap bahan bakar berdifusi ke oksidator yaitu udara. Sehingga dapat terbentuk nyala api pada jarak tertentu pada permukaan *droplet*. Proses difusi antara bahan bakar dan oksidator merupakan hal yang sangat mempengaruhi terjadinya nyala api dalam

proses pembakaran *droplet*. Semakin cepat difusi terjadi maka semakin cepat nyala api akan terbentuk.

Bentuk api dari pembakaran *droplet* akan dipengaruhi oleh kondisi gravitasi disekitar droplet. Pada kondisi dimana gravitasi rendah (*microgravity*) api yang terbentuk akan berbentuk membulat mengelilingi *droplet*. Sedangkan dalam kondisi adanya gravitasi api yang terbentuk akan berbentuk lonjong keatas, dikarenakan saat api menghasilkan panas maka gas dalam api ikut memanas. Ketika gas dalam keadaan panas, molekul gas tersebut bergerak semakin cepat sehingga terpisah satu dengan yang lainnya. Hal ini menyebabkan pemuaian. Karena terjadi penambahan volume gas sedangkan massa jenisnya mengecil, sementara itu gas udara disekitar api memiliki massa jenis yang lebih besar. Alhasil gas api naik ke atas (efek apung) dan menyebabkan nyala api selalu naik ke atas saat adanya gravitasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Permodelan api difusi
Sumber: Alam (2011)

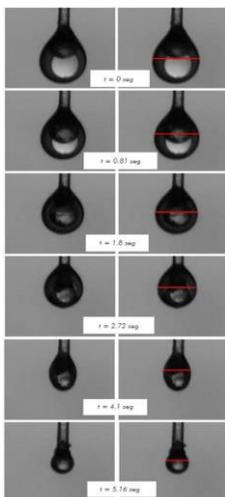
Gambar 2.3 Permodelan nyala api *droplet*
Sumber: Alam (2011)

2.3 Kecepatan Pembakaran Droplet

Waktu yang diperlukan oleh api dari mulai menyala sampai membakar habis *droplet* disebut kecepatan pembakaran *droplet*. Dalam pembakaran *droplet*, kecepatan pembakaran dapat dilihat dari seberapa cepat *droplet* habis terbakar terlihat pada Gambar 2.4. Semakin cepat reaksi *droplet* untuk terbakar semakin tinggi kecepatan pembakarannya.

Kecepatan pembakaran *droplet* dapat dihitung berdasarkan selisih diameter awal *droplet* mulai terbakar hingga habis terbakar perwaktunya. Sehingga selisih diameter

perwaktunya menentukan seberapa cepat kecepatan pembakarannya. Kecepatan pembakaran berbanding lurus dengan reaksi yang terjadi pada senyawa yang akan dibakar. Semakin cepat reaksi maka semakin cepat pula kecepatan api pembakarannya.



Gambar 2.4 Perubahan diameter *droplet* saat terbakar
Sumber: Lohman (2015)

Diameter droplet akan berkurang seiring dengan reaksi yang terjadi, hal tersebut menandakan senyawa pada bahan bakar akan mulai bereaksi dan menghasilkan produk berupa cahaya dan panas. Diameter *droplet* terus berkurang hingga senyawa bahan bakar telah habis dan tidak ada senyawa yang dapat bereaksi lagi. Semakin cepat reaksi terjadi pada senyawa bahan bakar maka api semakin cepat terbentuk dan *droplet* akan semakin cepat habis.

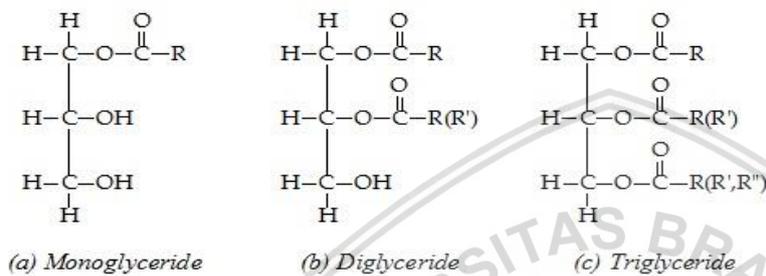
Droplet pada umumnya berbentuk bulat, namun pada saat terjadi reaksi bentuk *droplet* bisa menjadi lonjong dan tak beraturan. Hal tersebut diakibatkan reaksi yang terjadi didalam senyawa droplet bahan bakar, reaksi akibat energi panas membuat bentuk droplet menjadi tidak bulat sempurna. Untuk mengukur diameter dari bentuk droplet yang tak beraturan memerlukan perhitungan:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2-2)$$

2.4 Minyak Nabati

Minyak nabati adalah cairan kental yang diambil atau diekstrak dari tumbuh-tumbuhan. Komponen utama penyusun minyak nabati adalah trigliserida asam lemak, yang mencapai 95%. Komponen lainnya adalah asam lemak bebas (*Free Fatty Acid* atau FFA), monogliserida, digliserida, fosfolipid, vitamin dan mineral (Sigit & Bendari, 2008).

Minyak nabati termasuk golongan lipid, yaitu senyawa organik yang terdapat dalam alam dan tak larut dalam air namun dapat larut dalam pelarut organik non polar seperti senyawa hidrokarbon. Minyak nabati memiliki komposisi utama berupa senyawa gliserida dan asam lemak dengan rantai C yang panjang. Asam lemak dari tumbuhan merupakan ikatan tak jenuh dengan satu atau lebih ikatan rangkap diantara atom karbonnya dan berwujud cair pada suhu ruang (Wardana, 2008). Gliserida merupakan ester dari gliserol. Gliserida terdiri dari monogliserida, digliserida, dan trigliserida tergantung dari jumlah asam lemak yang terikat pada gliserol seperti Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur kimia Gliserida
Sumber: Warra (2016)

Minyak nabati dalam aplikasinya dalam dunia industri dapat dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk meningkatkan kualitas pembakaran dikarenakan kandungannya yang dapat larut didalam unsur hidrokarbon yang merupakan penyusun utama bahan bakar.

2.5 Minyak Jarak

Minyak jarak adalah salah satu jenis minyak nabati yang didapatkan melalui ekstraksi biji tanaman jarak (*Ricinus communis*) dan biji jarak pagar (*Jatropha curcas*). Minyak jarak diekstraksi dengan cara mengepress biji jarak yang telah dikeringkan dengan teknologi yang cukup sederhana. Secara tradisional minyak jarak hasil ekstrasi ini sudah bisa digunakan, biasanya sebagai bahan bakar lampu minyak.

Pada penelitian sebelumnya mengatakan didalam tanaman jarak terdapat 45% - 60% kandungan minyak, sehingga sangat potensial sebagai sumber penghasil minyak nabati yang besar. Karena kandungan minyak yang besar, untuk mengekstraksi tanaman jarak bisa menggunakan alat ekstraksi yang sederhana untuk mendapatkan minyak jarak mentah. Minyak jarak berbeda dengan jenis minyak nabati lainnya, dikarenakan minyak jarak mengandung bobot jenis, viskositas, dan bilangan asetil dan kelarutan dalam alkohol yang tinggi.

Komposisi penyusun asam trigliserida dari minyak jarak dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Dari perhitungan AFR massa dapat ditentukan konsumsi oksigen sebesar 2,68 kg untuk membakar 1 kg bahan bakar minyak jarak. Sementara sifat minyak jarak dibandingkan minyak nabati lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3
Sifat fisika minyak jarak dibanding minyak lainnya

Karakteristik	Minyak Randu	Minyak Jarak	Minyak Sawit
Massa Jenis (kg/m^3)	960-970	900-910	910-920
Viskositas Kinematik (cSt)	46-50	30-36	30-36
Nilai Kalor (kkal/kg)	8000-8100	8300-8400	8300-8500
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	220-229	229-235	225-232

Sumber: Balittas Litbang (2013)

2.6 Bioaditif

Aditif merupakan sebuah zat dengan konsentrasi kecil yang ditambahkan kedalam suatu bahan, untuk meningkatkan kinerja bahan, tanpa merubah spesifikasi bahan tersebut. Aditif sendiri hampir memiliki kesamaan dengan katalis, namun aditif pada umumnya ikut bereaksi dengan bahan utamanya sedangkan katalis tidak akan ikut bereaksi. Aditif biasanya berasal dari bahan kimia yang dapat digunakan sebagai bahan untuk mempercepat reaksi, namun karena memiliki masalah pada hasil pembakaran yang akan memiliki kandungan berbahaya, dikembangkanlah aditif yang didapatkan dari bahan – bahan yang didapatkan dari alam, termasuk melalui ekstrasi tumbuh – tumbuhan. Aditif yang berasal dari tumbuh – tumbuhan lah yang disebut bioaditif. Bioaditif memiliki beberapa keunggulan dibanding aditif dari bahan kimia:

1. Bioaditif akan larut dalam bahan bakar dalam segala kondisi
2. Tidak akan mengganggu dan merugikan kestabilan dari bahan bakar
3. Tidak akan menghasilkan endapan berbahaya

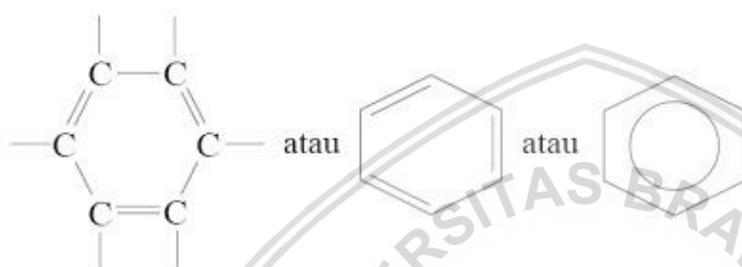
Salah satu bioaditif yang dapat dimanfaatkan adalah jenis minyak atsiri. Minyak atsiri biasa disebut senyawa aromatik karena memiliki aroma yang khas. Minyak atsiri juga memiliki karakteristik yang sama seperti bahan bakar seperti berat jenis, titik didih, dan sifat mudah menguap selain itu struktur hidrokarbon juga merupakan kesamaan minyak atsiri dengan bahan bakar.

2.7 Minyak Atsiri

Minyak atsiri merupakan minyak dari tanaman yang komponennya secara umum mudah menguap. Minyak atsiri juga biasa disebut *essential oil* karena bersifat khas pemberi aroma/bau (esen). Menurut Lansida (2014) ada beberapa ciri khas yang membedakan minyak atsiri dengan minyak nabati lainnya:

1. Dapat didestilasi
2. Tidak meninggalkan noda
3. Tidak tersabunkan
4. Tidak mengandung lemak

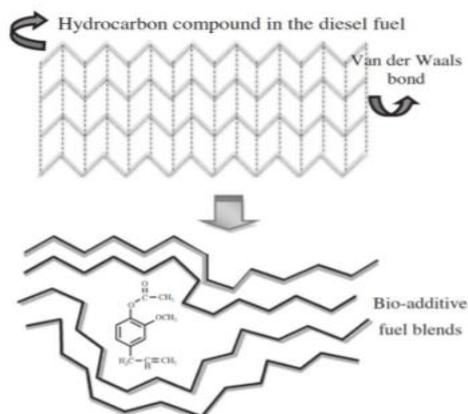
Hampir semua minyak atsiri memiliki aroma yang khas, hal tersebut karena minyak atsiri memiliki struktur benzena yang memberikan sensasi aroma yang khas, oleh karena itu senyawa benzena dalam minyak atsiri biasa disebut senyawa aromatik. Senyawa aromatik memiliki rantai hidrokarbon berbentuk *hexagonal* rantai tunggal dan rangkap dua.



Gambar 2.7 Struktur senyawa aromatik
Sumber: Sugdjianto (2006)

Minyak atsiri dapat dimanfaatkan sebagai bioaditif. Zat aditif sendiri merupakan suatu zat yang ditambahkan (dalam jumlah yang kecil) ke dalam suatu bahan, untuk meningkatkan kinerja bahan, tanpa merubah spesifikasi bahan tersebut. Zat aditif bisa berasal dari bahan kimia maupun alami, zat aditif yang berasal dari tumbuh-tumbuhan lah yang biasa disebut bioaditif.

Penambahan zat aditif pada bahan bakar dapat mempercepat proses pembakaran dikarenakan struktur dari minyak atsiri yang berbentuk siklis dan rantai terbuka, sehingga dapat menurunkan daya ikat dan gaya tarik menarik antar molekul (*van der waals bond*) bahan bakar seperti ilustrasi pada Gambar 2.8 (Khadarohman 2012).



Gambar 2.8 Ilustrasi penambahan minyak atsiri pada bahan bakar diesel
Sumber: Khadarohman (2012)

2.7.1 Minyak Cengkeh

Minyak cengkeh merupakan salah satu jenis minyak atsiri dengan golongan penyusunnya minyak atsiri fenol. Minyak cengkeh didapatkan dari ekstraksi tanaman *Eugenia caryophyllata*. Tanaman cengkeh dan minyak cengkeh bisa dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Minyak cengkeh
Sumber: Yuntyansyah (2016)

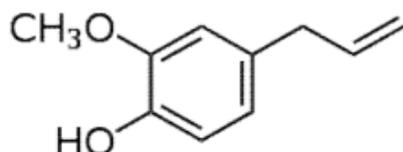
Komponen utama dalam minyak cengkeh adalah senyawa *eugenol*, *eugenol asetat*, dan *caryophyllene* (Zulchi dan Nurul, 2006). Kadar *eugenol* dalam minyak cengkeh umumnya antara 80%-88% (Nurdjannah, 2004) seperti terlihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4
Komposisi Bunga Cengkeh

Komponen	Bunga Cengkeh Basah
<i>Eugenol</i>	81,2
Karyofilin	3,92
Humulene	0,42
Eugenil Asetat	12,43
Karyofenil Oksida	0,25
Trimetoksiasetofenon	0,53

Sumber: Salim (2014)

Eugenol ($C_{10}H_{12}O_2$) merupakan turunan guaiakol yang mendapatkan tambahan rantai alil, dikenal dengan nama 2-metoksi-4-(2-propenil) fenol. *Eugenol* memiliki warna sedikit kuning pucat. *Eugenol* sulit larut dalam air namun mudah larut dalam pelarut organik (alcohol, eter, dan kloroform). *Eugenol* memberikan bau dan aroma yang khas pada minyak cengkeh, berbau keras, dan mempunyai rasa pedas. *Eugenol* mudah berubah warna menjadi coklat jika didiamkan dalam udara terbuka. Struktur kimia *eugenol* dapat dilihat pada Gambar 2.10. Untuk *properties* minyak cengkeh dapat dilihat pada Tabel 2.5.



Gambar 2.10 Struktur *eugenol*
Sumber: Hastutiningrum (2010)

Tabel 2.5
Properties Minyak Cengkeh

Properties	Satuan	Nilai
<i>Density</i>	g/ml	1.092
Nilai Kalor	Cal/g	5404.545
<i>Flash Point</i>	C	102
Viskositas	Cst	9.623

Sumber: Laboratorium Motor Bakar (2016)

Potensi pengembangan minyak cengkeh di Indonesia sangat besar. Menurut Balitbang Pertanian (2007) pasokan minyak cengkeh Indonesia ke pasar dunia cukup besar yaitu lebih dari 60% kebutuhan dunia. Namun demikian harga minyak cengkeh di pasar dunia termasuk rendah. Mengingat peran penting *eugenol* yang terkandung dalam minyak cengkeh seharusnya bisa dikembangkan lagi menjadi lebih bermanfaat dan memiliki nilai lebih.

2.7.2 Minyak Kayu Putih

Minyak kayu putih merupakan salah satu jenis minyak atsiri yang dapat dimanfaatkan sebagai bioaditif atau zat yang mempercepat reaksi pembakaran. Minyak kayu putih didapatkan melalui proses penyulingan dari daun dan ranting (*terminal branch*) beberapa spesies *Melaleuca* merupakan sejenis pohon yang tumbuh melimpah di kepulauan Indonesia.

Standar mutu minyak kayu putih menurut *Experimental Allergic Orchitis* (EAO) ada sebagai berikut.

- Warna : Cairan berwarna kuning atau hijau
- Berat jenis pada 25C : 0,908 – 0,925
- Putaran Optik : 0 – 4°
- Kandungan *Sineol* : 50% – 65%
- Minyak pelican : Negatif
- Minyak Lemak : Negatif
- Kelarutan dalam alkohol : Larut dalam 1 volume

Umumnya minyak atsiri dari jenis atau varietas yang berbeda memiliki kandungan yang berbeda pula. Kandungan kimia dari minyak kayu putih yang dihasilkan dari tumbuhan kayu putih dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6
Kandungan Kimia Tumbuhan *Melaleuca leucadendra*

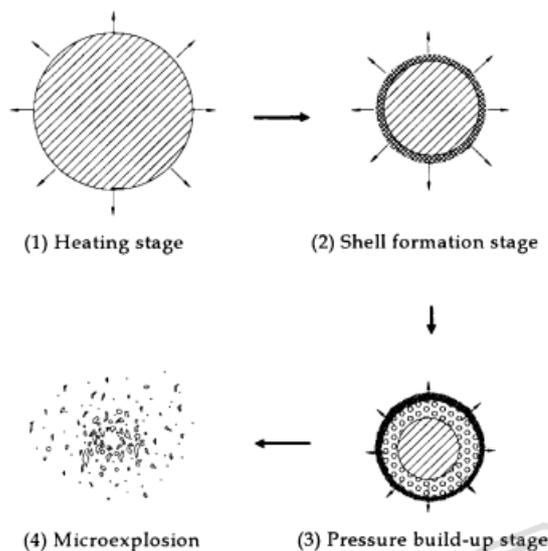
Nama Komponen Kimia	Kadar (%)
β - pinena	1,21
<i>Sineol</i>	70,03
Terpinolena	0,47
4, 11, 11, -tetrametil – 8 metilen	1,44
β linalool	1,59
α terpineol	4,96
Kariofilena	1,26
α kariofilena	0,52
Isokariofilena	0,87
Dehidro – 1,1,4,7 tetrametil	5,32

Sumber : Universitas Sumatera Utara (2014)

Dalam kandungan minyak kayu putih terdapat zat bernama *Sineol* yang menjadi penyusun dominan. Kandungan *sineol* inilah yang memberikan sensasi hangat ketika dioleskan ke bagian kulit. Selain itu minyak kayu putih memiliki unsur yang hampir sama seperti minyak atsiri lainnya. Senyawa hidrokarbon dalam minyak atsiri dapat berperan penting dalam menyempurnakan pembakaran. Hidrokarbon aromatik sama halnya seperti olefin (seri hidrokarbon dengan satu ikatan rangkap) mempunyai sifat *antiknock* yang baik karena termasuk senyawa siklis dengan enam atom karbon saling mengikat satu atom hidrogen.

2.8 *Microexplosion*

Sebuah fenomena pecahnya *droplet* akibat dari perbedaan titik didih dari 2 unsur penyusun senyawa disebut *microexplosion*. Proses *microexplosion* diawali dengan menguapnya unsur yang memiliki titik didih lebih rendah sehingga akan menyebabkan penguapan yang awal pada unsur tersebut dibandingkan unsur penyusun lainnya. Akibat dari perbedaan proses penguapan bahan bakar ini akan menimbulkan pecahnya *droplet*. Ilustrasi terbakarnya *droplet* dapat terlihat pada Gambar 2.11.



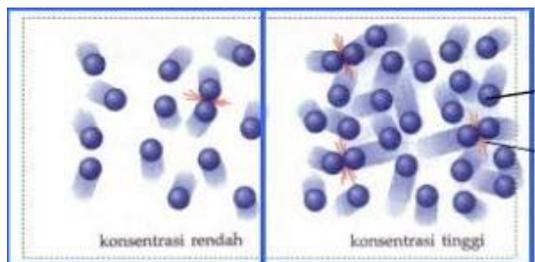
Gambar 2.11 Ilustrasi terjadinya *Microexplosion*
 Sumber: Young Byoun (1999)

Dalam kasus *droplet* bahan bakar minyak nabati, menurut Wardana (2008), minyak nabati akan terbakar pada dua tahap. Asam lemak sebagai penyusun minyak nabati akan terbakar terlebih dahulu dibandingkan gliserol. Saat asam lemak akan terbakar habis, gliserol akan mulai mengalami penguapan. Pada saat penguapan gliserol akan ada ruang yang kosong akibat penguapan dalam *droplet*. Asam lemak yang belum habis terbakar akan menyusup ke dalam droplet gliserol. Perbedaan titik didih *droplet* akan menyebabkan *droplet* akan memiliki tekanan yang tidak merata saat dipanaskan. Tekanan tersebut yang akan menyebabkan asam lemak yang terjebak dalam *droplet* gliserol akan meledak dan mengakibatkan kerusakan struktur pada gliserol. Sehingga disebut *microexplosion*.

2.9 Teori Tumbukan

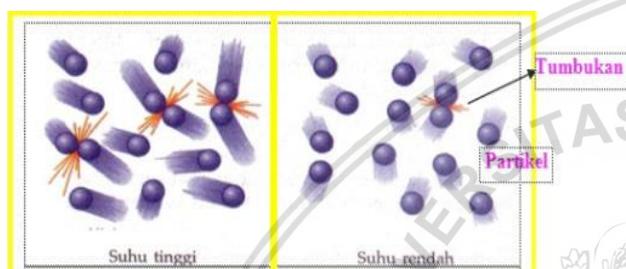
Reaksi pada dasarnya merupakan tumbukan antar atom atau molekul yang memiliki energi yang cukup menyebabkan atom atau molekul tersebut membentuk molekul baru akibat tumbukan. Pada reaksi pembakaran tumbukan diperlukan untuk mereaksikan molekul bahan bakar dengan udara agar mendapat produk berupa panas dan cahaya yang biasa disebut api. Sehingga semakin cepat reaksi terjadi semakin cepat produk yang terbentuk.

Kecepatan reaksi karena tumbukan dapat dipercepat dengan meningkatkan jumlah atom atau molekul bebas yang ada dalam senyawa untuk meningkatkan intensitas tumbukan antar atom atau molekul. Semakin tinggi intensitas tumbukan semakin cepat reaksi terjadi seperti yang terlihat pada ilustrasi Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Intensitas tumbukan
Sumber: Eka (2010)

Intensitas tumbukan juga dapat ditingkatkan dengan peningkatan suhu, semakin tinggi suhu pergerakan atom akan semakin acak akibat energi yang diberikan oleh suhu. Semakin tinggi suhu semakin tinggi intensitas tumbukan yang menyebabkan reaksi mudah terjadi seperti Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pengaruh suhu terhadap tumbukan
Sumber: Eka (2010)

2.10 Keelektronegatifan

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). Jadi semakin besar keelektronegatifan suatu atom maka afinitas elektron dan energi ionisasinya juga tinggi. Pada gambar 2.14 ditunjukkan besar keelektronegatifan suatu atom.

Periodic Table of the Elements

1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305											13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 P Phosphorus 30.974	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.887	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.631	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.971	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.906	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 101.07	46 Pd Palladium 106.36	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.757	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.905	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 La-Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.222	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.384	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francium [223]	88-103 Ra-Actinides	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [265]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [271]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [285]	113 Nh Nihonium [284]	114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium [288]	116 Lv Livermorium [293]	117 Ts Tennessine [294]	118 Og Oganesson [294]	
89 La Lanthanum 138.905	90 Ce Cerium 140.116	91 Pr Praseodymium 140.908	92 Nd Neodymium 144.242	93 Pm Promethium [145]	94 Sm Samarium 150.36	95 Eu Europium 151.964	96 Gd Gadolinium 157.25	97 Tb Terbium 158.925	98 Dy Dysprosium 162.500	99 Ho Holmium 164.930	100 Er Erbium 167.259	101 Tm Thulium 168.934	102 Yb Ytterbium 173.055	103 Lu Lutetium 174.967			
105 Ac Actinium [227]	106 Th Thorium [232]	107 Pa Protactinium [231]	108 U Uranium [238]	109 Np Neptunium [237]	110 Pu Plutonium [244]	111 Am Americium [243]	112 Cm Curium [247]	113 Bk Berkelium [247]	114 Cf Californium [251]	115 Es Einsteinium [252]	116 Fm Fermium [257]	117 Md Mendelevium [258]	118 No Nobelium [259]	119 Lr Lawrencium [262]			

Alkali Metal
Alkaline Earth
Transition Metal
Basic Metal
Semimetal
Nonmetal
Halogen
Noble Gas
Lanthanide
Actinide

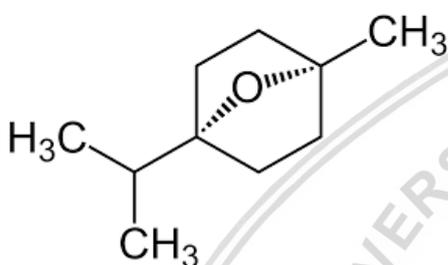
Gambar 2.14 Tabel periodik keelektronegatifan atom - atom

Dapat dilihat keelektronegatifan pada tabel periodik. Membesar pada arah dari kiri ke kanan, seiring berkurangnya sifat logam dari unsur-unsur tersebut. Pada golongan semakin keelektronegatifannya berkurang seiring dengan bertambahnya nomor atom, yang menunjukkan bertambahnya sifat logam.

2.11 Konsep Dasar

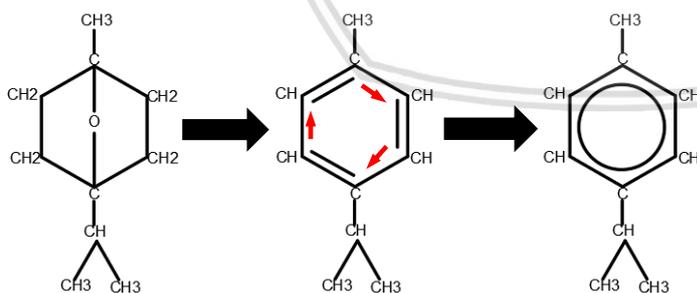
2.11.1 Kayu Putih

Kayu putih memiliki kandungan yang didominasi oleh *sineol* dengan nama senyawa $C_{10}H_{18}O$ sehingga mirip seperti struktur benzene. Sineol termasuk dalam salah satu senyawa aromatik yang memiliki rantai samping.



Gambar 2.15 Struktur Sineol

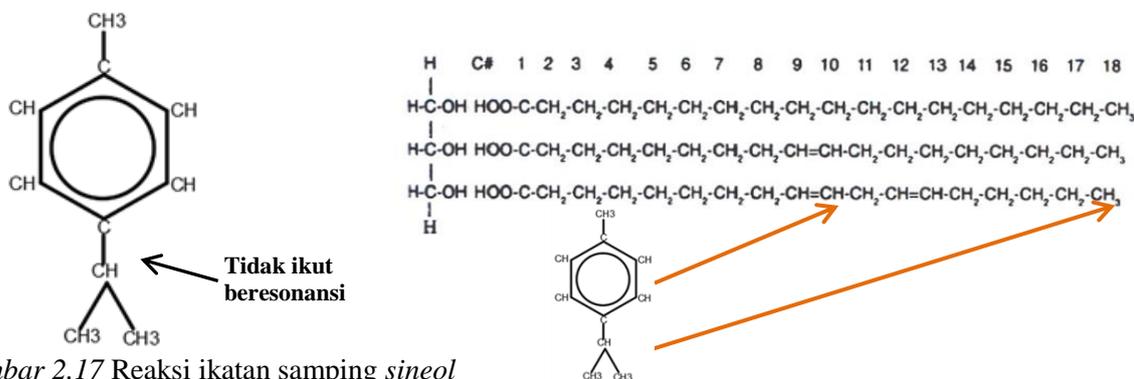
Sineol termasuk senyawa hidrokarbon yang memiliki cincin siklik namun belum stabil. *Sineol* cenderung akan melepas elektron untuk membuatnya memiliki cincin siklik yang akan membuat strukturnya menjadi stabil. Untuk membuatnya stabil *sineol* harus melepas beberapa elektron atom O dan H. Cincin siklik yang terdapat pada struktur *sineol* diakibatkan loncatan elektron akibat ikatan konjugasi yang terdapat pada struktur heksagonalnya.



Gambar 2.16 Ilustrasi terjadinya resonansi elektron

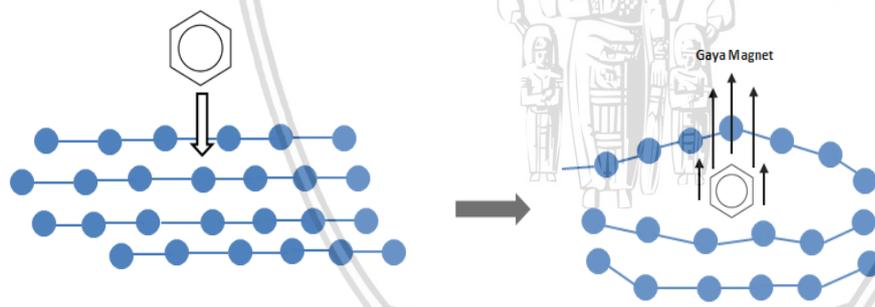
Pada cincin siklik, terjadi perbedaan muatan antara ikatan rangkap ganda dan tunggal, sehingga elektron mengalami dislokalisasi, dan bergerak dari ikatan rangkap ganda menuju ikatan tunggal. Dislokalisasi elektron tersebut dinamakan resonansi elektron, dan akan menimbulkan medan magnet akibat dari pergerakan elektron. Resonansi yang terjadi pada cincin siklik *sineol* tidak berpengaruh terhadap ikatan diluar cincin dikarenakan ikatan luar cincin tidak memiliki ikatan konjugasi, justru ikatan luar cincin siklik yang tak ikut

beresonansi akan memperpanjang rantai karbon dari asam lemak karena memiliki struktur yang sama.



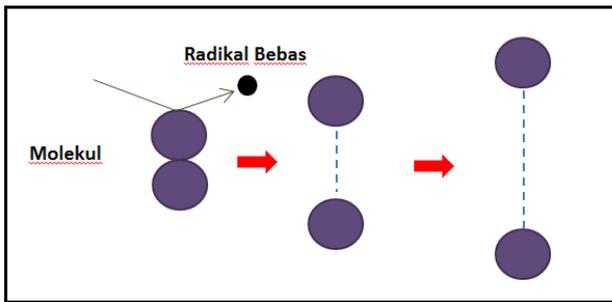
Gambar 2.17 Reaksi ikatan samping sineol

Dalam fungsinya sebagai bioaditif, minyak kayu putih yang dicampurkan kedalam minyak jarak akan mengganggu orbit dari elektron susunan minyak jarak, hal itu disebabkan resonansi elektron pada cincin siklik yang menimbulkan medan magnet. Medan magnet lemah dapat menyebabkan orbit elektron pada molekul menjadi lonjong karena pengaruh medan magnet, semakin lonjong maka jarak antar elektron akan semakin jauh dan akibatnya energi dionisasi akan semakin kecil (Wardana, 2008). Sehingga untuk memutus ikatan asam lemak menjadi atom – atom yang terpisah membutuhkan energi yang semakin kecil.



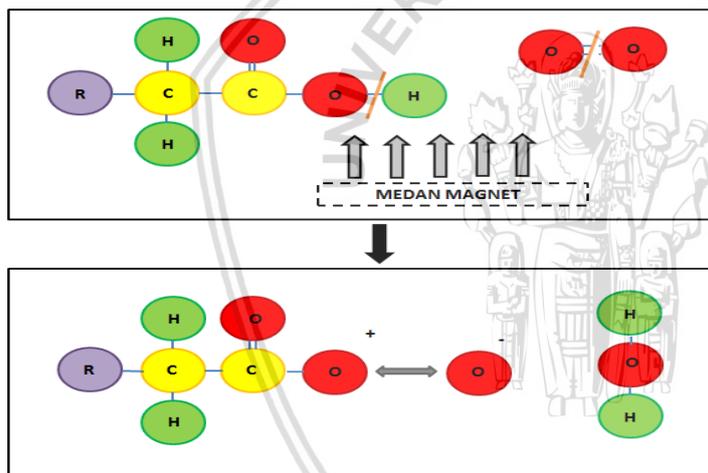
Gambar 2.18 Struktur sineol mempengaruhi ikatan minyak jarak

Atom–atom yang telah lepas akibat pengaruh medan magnet dan saat pembentukan cincin siklik akan menjadi radikal bebas. Menurut wardana (2008) molekul bermuatan akibat pemutusan ikatan molekul–molekul disebut radikal bebas. Molekul atau atom bermuatan tersebut sangat mudah bereaksi karena ketidakstabilan muatannya. Radikal bebas jika menghatam (menumbuk) molekul lainnya dapat menyebabkan jarak ikatan molekul tersebut merenggang.. Sehingga lebih mudah untuk memutus ikatannya. Semakin banyak radikal bebas yang terbentuk akan semakin membantu memutus ikatan molekul minyak jarak.



Gambar 2.19 Pengaruh radikal bebas terhadap molekul

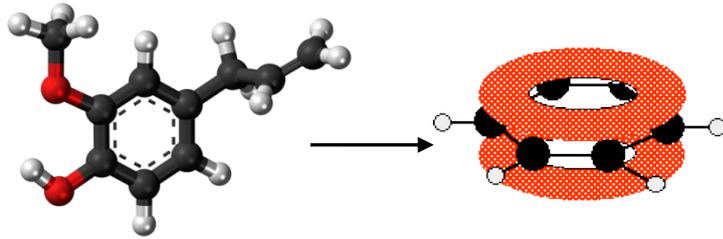
Akibat pengaruh medan magnet, molekul minyak dan oksigen akan menjadi bermuatan. Beberapa atom H^+ yang lepas dari inti atom minyak jarak akan berikatan dengan atom O^- yang terlepas dari oksigen menjadi uap air (H_2O). Karena telah lepas molekul minyak jarak bermuatan positif dan molekul oksigen sekarang bermuatan negatif. Terjadilah tarik menarik antar molekul minyak jarak dan oksigen. Tarik menarik ini menjadikan adanya tumbukan antara molekul minyak jarak dan oksigen. Tumbukan ini terjadi secara masif dan mengakibatkan energi aktivasinya semakin rendah.



Gambar 2.20 Medan magnet memutus ikatan

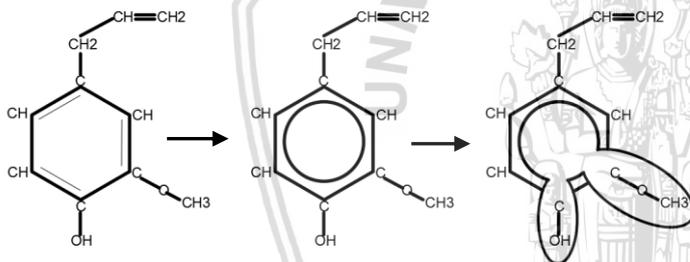
2.11.2 Cengkeh

Minyak cengkeh memiliki kandungan dominan yaitu *Eugenol*, dengan nama struktur $C_{10}H_{12}OH$. *Eugenol* termasuk dalam senyawa aromatik. Dengan cincin siklik yang terkonjugasi. Sehingga dapat menimbulkan loncatan elektron dari ikatan ganda menuju rantai tunggal, loncatan elektron terus menerus terjadi akan menimbulkan resonansi elektron dan membuat cincin siklik.



Gambar 2.21 Resonansi struktur *eugenol*

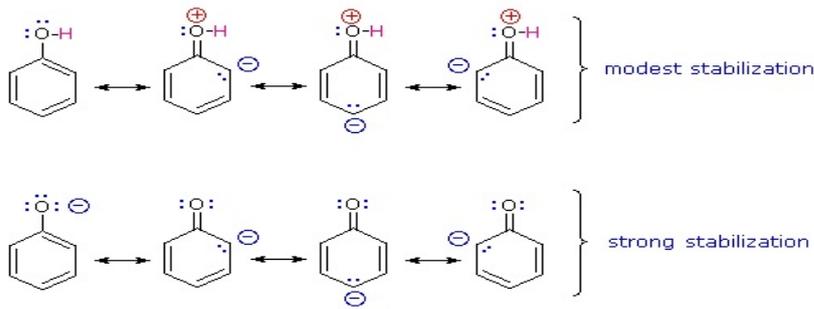
Senyawa seperti ini disebut fenol. Resonansi elektron tidak hanya berlangsung pada cincin siklik. Dalam struktur *eugenol* terdapat rantai samping antara oksigen yang berpasangan dengan hidrogen. Oksigen yang memiliki elektron valensi 6 dan hidrogen 1 sehingga masih ada 4 elektron bebas yang ada pada oksigen, sehingga resonansi cincin siklik dapat berlangsung sampai keluar cincin siklik menuju ikatan OH. Selain itu pada ikatan O dan CH₃ juga terjadi konjugasi, sehingga memungkinkan terjadinya resonansi tambahan pada rantai O-CH₃. Sedangkan ikatan luar yang tidak berkonjugasi akan memperpanjang rantai hidrokarbon pada minyak jarak, dikarenakan memiliki struktur yang sama.



Gambar 2.22 Resonansi dengan ikatan samping

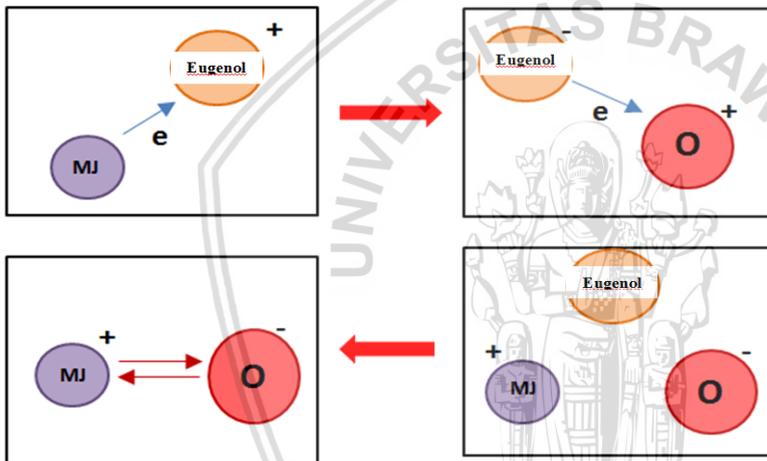
Seperti minyak kayu putih, pada molekul minyak cengkeh juga terjadi resonansi yang menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang berguna mengganggu pergerakan elektron pada molekul minyak jarak. Sehingga elektron akan semakin melemah dan mudah lepas. Namun pada minyak cengkeh, lintasan delokalisasi elektron lebih panjang dikarenakan ada penambahan lintasan pada ikatan luar. Penambahan lintasan delokalisasi tersebut juga akan berdampak pada kuat atau lemahnya medan magnet yang dihasilkan.

Fenol memiliki kecenderungan melepas atom H nya jika atom O sudah stabil akibat resonansi elektron cincin siklik. Sehingga H terlepas dan menjadi radikal bebas.



Gambar 2.23 Pelepasan atom H

Setelah melepas H *eugenol* menjadi lebih positif dibandingkan asam lemak, sehingga elektron asam lemak cenderung berpindah menuju *eugenol*. Oksigen yang bermuatan lebih positif menarik elektron dari *eugenol* sehingga oksigen menjadi negatif dan asam lemak menjadi negatif, Tarik menarik antar oksigen dan asam lemak terjadi akibat beda potensial, menyebabkan tumbukan dan mempercepat reaksi.



Gambar 2.24 Reaksi minyak jarak dengan oksigen

2.12 Hipotesis

Penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih pada pembakaran bahan bakar minyak jarak akan meningkatkan kecepatan pembakarannya. Hal tersebut terjadi karena minyak cengkeh dan minyak kayu memiliki senyawa aromatik yang akan mengganggu struktur dari ikatan minyak jarak, sehingga energi aktivasinya menurun dan kecepatan pembakarannya meningkat.



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 lebih kelompok pengujian dengan perlakuan dan tanpa perlakuan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Otomasi Manufaktur Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 5 Mei - 13 Mei 2018.

3.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ada tiga macam variabel yang akan digunakan adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang telah memiliki nilai atau ditentukan sebelumnya. Variabel bebas tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini berupa variasi dari zat bioaditif yang ditambahkan pada bahan bakar minyak jarak. Variabel bebas dalam penelitian ini berupa jumlah minyak cengkeh dan minyak kayu putih yang ditambahkan sebanyak 0ppm, 100ppm, dan 300ppm.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dipengaruhi oleh variabel bebas dan nilainya hanya bisa diketahui setelah melakukan percobaan. Variabel terikat yang ditentukan dalam penelitian ini berupa kecepatan pembakaran dari droplet minyak jarak.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol memiliki nilai yang konstan dan tidak berubah selama jalannya penelitian. Nilai variabel terkontrol ditentukan sebelum pelaksanaan penelitian. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah:

1. Daya heater 60 Watt
2. Diameter *droplet* 1 mm
3. Hambatan kumparan pemanas 0,25 ohm

4. Arus sebesar 220 Volt

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam peneltiain ini adalah:

1. *Syringe*

Alat pembuat *droplet* yang digunakan adalah rekayasa *syringe* dikombinasikan dengan suntikan insulin seperti pada Gambar 3.1. Sehingga *syringe* dapat membentuk diameter *droplet* yang hampir sama setiap kali digunakan



Gambar 3.1 *Syringe*

Alat tersebut terdiri dari:

- a. Alat pengatur volume *droplet* spesifikasi:
 - Merk : Novo Mix
 - Buatan : Denmark
- b. Suntikan penampung hasil campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh dan minyak jarak dengan minyak kayu putih. Spesifikasi:
 - Merk : OneMed
 - Diameter jarum : 0,4 mm
 - Volume tabung : 1 ml
 - Buatan : Indonesia

2. Transformator

Transfomator digunakan untuk mengalirkan arus listrik dari sumber energi menuju heater atau elemen pemanasan, sehingga elemen pemanas akan menghasilkan panas yang merangsang *droplet* untuk terbakar. Transfomator pada penelitian ini menggunakan jenis Transformator *Step Down*, yang akan dan dapat terlihat pada Gambar 3.2.



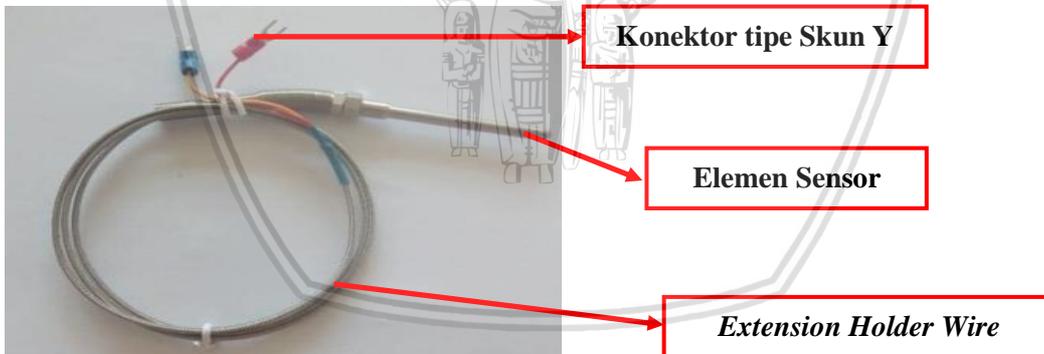
Gambar 3.2 Transfomator

Spesifikasi:

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

3. *Thermocouple*

Merupakan jenis sensor yang digunakan untuk mengukur atau mendekteksi perubahan temperatur melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabungkan pada ujungnya. Pada penelitian kali ini digunakan termokopel yang memiliki diameter 0,1 mm yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



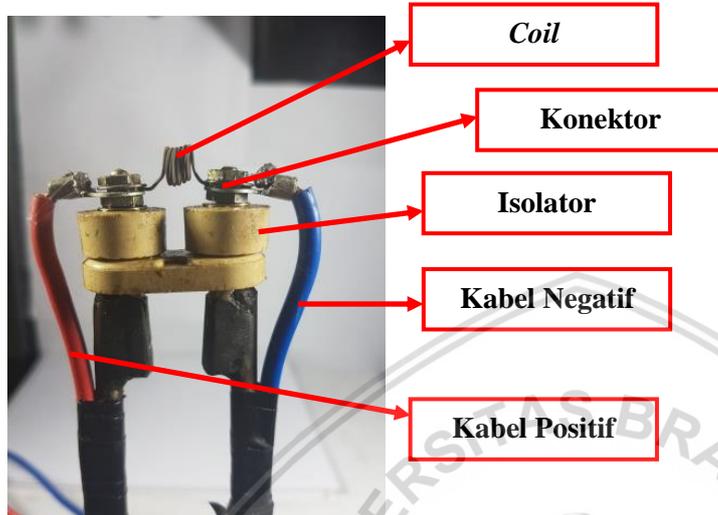
Gambar 3.3 *Thermocouple*

- Tipe : R
- Material : Pt+Rh13%
- Jangkauan suhu : +500 – 1750 °C
- Diameter : 0,1 mm

Pada Gambar 3.3 terlihat bagian – bagian dari *thermocouple*. Elemen sensor berfungsi sebagai penerima sinyal temperatur, kemudian sinyal diteruskan oleh *extension holder wire* menuju terminal *block* dengan bantuan konektor dengan tipe skun Y sebagai penghubung. Setelah terhubung, perubahan temperatur dapat terlihat secara digital pada alat penampil temperatur

4. Elemen Pemanas

Elemen pemanas digunakan pada penelitian ini untuk merangsang droplet untuk terbakar. Karena elemen pemanas atau heater mendapat arus dari transformator sehingga arus akan menimbulkan panas. Panas tersebut yang akan merangsang droplet untuk terbakar.



Gambar 3.4 Elemen Pemanas

Spesifikasi *Coil*:

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

Pada Gambar 3.4 terlihat komponen penyusun elemen pemanas. Terdapat kabel arus positif dan kabel arus negatif sebagai penghantar arus pada elemen pemanas. Kabel tersebut akan terhubung pada *coil* dengan bantuan konektor yang akan dipasang pada masing – masing ujung *coil*. Pada *coil* akan terjadi arus AC yang akan menimbulkan induksi dan menghasilkan panas karena *coil* berfungsi untuk menahan arus AC yang ada pada lilitannya. Pada bagian lainnya pada elemen pemanas akan dipasang bahan yang bersifat isolator untuk menahan arus yang ada pada elemen pemanas.

5. Data Logger

Pada penelitian data logger terlihat pada Gambar 3.5 digunakan untuk mengubah data analog dari termokopel menjadi data digital agar dapat diterjemahkan dalam bahasa dalam laptop. Sehingga data yang didapatkan lebih mudah dibaca.



Gambar 3.5 Data Logger

- 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

6. Laptop

Pada penelitian ini laptop digunakan untuk menganalisa data yang didapatkan dari data logger serta mengolah data mentah menjadi data yang siap ditampilkan.

Spesifikasi:

- Merk : Lenovo
- Random Access Memory : 4 GB
- Processor : Intel Core i5

7. Kamera

Pada penelitian ini kamera pada Gambar 3.6 digunakan untuk dokumentasi dari pembakaran droplet. Dokumentasi dalam bentuk video dan gambar yang nanti akan diolah menjadi sebuah data angka.



Gambar 3.6 Kamera

Spesifikasi:

- Merk : Casio exilim HS exzr850
- Jumlah Pixels : 16.3 juta pixels
- Resolusi pengambilan gambar : 4896 x 3264 pixels
- Resolusi pengambilan *video* : 1920 x 1080 pixels, 120fps
- ISO *range* : 100 - 51200

8. Minyak Jarak

Bahan bakar utama yang digunakan dalam penelitian ini merupakan minyak jarak (*Castor Oil*) dari tumbuhan *Ricinus Communis* terlihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Minyak jarak

9. Minyak Cengkeh

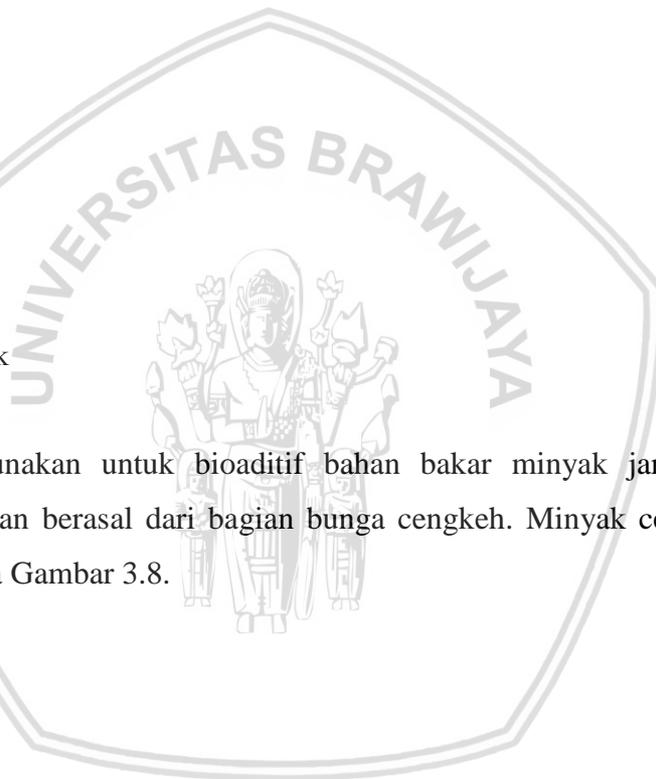
Minyak cengkeh digunakan untuk bioaditif bahan bakar minyak jarak. Minyak cengkeh yang digunakan berasal dari bagian bunga cengkeh. Minyak cengkeh yang digunakan terlihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Minyak cengkeh

10. Minyak Kayu Putih

Minyak kayu putih digunakan untuk bioaditif bahan bakar minyak jarak. Minyak kayu putih yang digunakan terlihat pada Gambar 3.9. Spesifikasi minyak kayu putih dapat dilihat pada tabel 2.5





Gambar 3.9 Minyak Kayu Putih

11. Timbangan Analitik

Timbangan analitik digunakan untuk mengukur massa minyak jarak dan massa minyak campuran bioaditif. Timbangan analitik yang digunakan terlihat pada Gambar 3.10

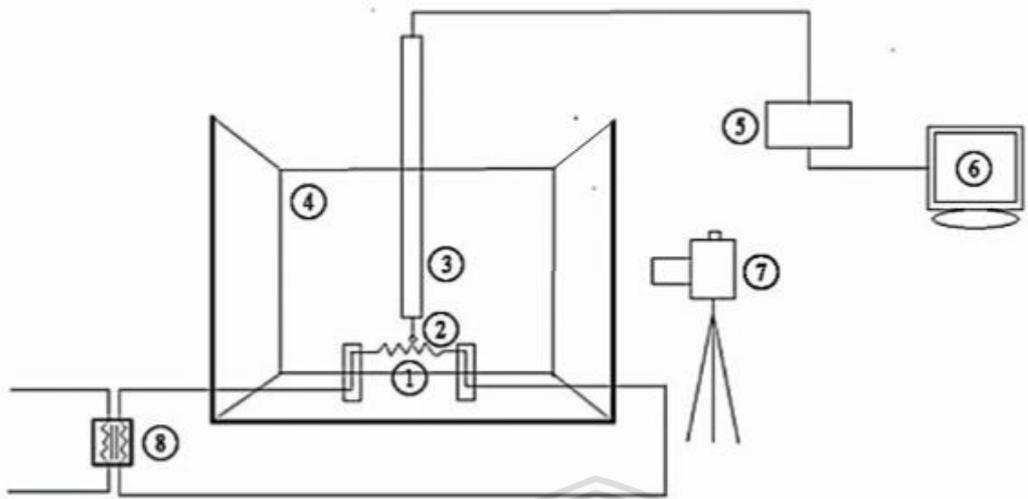


Gambar 3.10 Timbangan Analitik

Spesifikasi:

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

3.5 Skema Alat



Gambar 3.10 Skema alat pengujian droplet

Keterangan:

1. Heater
2. Thermocouple
3. Penjepit thermocouple
4. Ruang uji
5. Data logger
6. Laptop
7. Kamera
8. Transformator

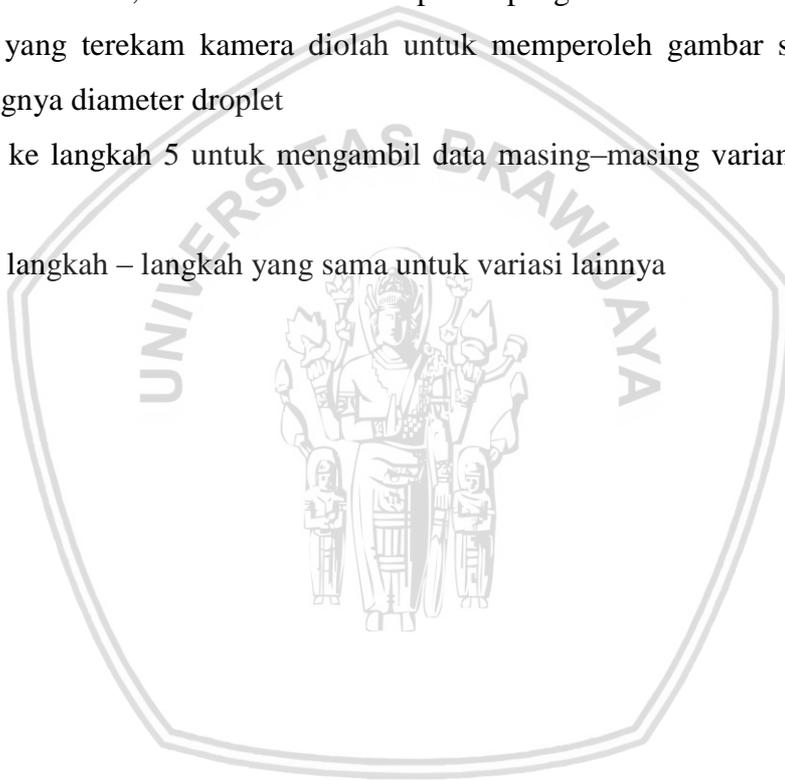
Dalam skema alat penelitian penempatan komponen alat – alat penelitian sudah di atur agar dalam proses pengambilan data tidak mengalami kendala. *Heater* diletakan dibawah *thermocouple* agar *droplet* yang ditempelkan pada *thermocouple* mendapat panas yang baik dan tidak cepat jatuh. Kemudian, *thermocouple* disambungkan dengan *data logger* sehingga data berupa temperatur *droplet* saat terbakar dapat terekam dalam bentuk digital sehingga dapat terbaca pada laptop yang telah disambungkan dengan *data logger*. Semua rangkaian tersebut harus berada dalam ruang uji yang semi tertutup agar pada proses pengambilan gambar dengan posisi kamera berada di depan ruang uji tidak terganggu cahaya dari luar ruang uji. Setelah semuanya tersusun sesuai skema, transformator dapat disambungkan dengan daya masuk pada stop kontak sehingga dapat memberi daya pada *heater* untuk membakar *droplet*.

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur pengambilan data meliputi hal-hal sebagai berikut.

1. Proses pembuatan *droplet* campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh dalam ruang uji bakar
 - a. Minyak jarak dicampur secara mekanik dengan minyak cengkeh dengan persentase sebesar 0ppm, 100ppm, dan 300ppm.
 - b. Gunakan alat pembentuk *droplet* untuk mengambil campuran bahan bakar yang telah tercampur.
 - c. Tekan kepala alat pembentuk *droplet* hingga terbentuk *droplet* pada ujung jarum alat pembuat *droplet*.
 - d. Untuk membuat *droplet* selanjutnya, pastikan bahwa ujung jarum suntik telah kering.
2. Proses pembuatan *droplet* campuran minyak jarak dengan minyak kayu putih dalam ruang uji bakar
 - a. Minyak jarak dicampur secara mekanik dengan minyak kayu putih dengan persentase sebesar 0ppm, 100ppm, dan 300ppm.
 - b. Gunakan alat pembentuk *droplet* untuk mengambil campuran bahan bakar yang telah tercampur.
 - c. Tekan kepala alat pembentuk *droplet* hingga terbentuk *droplet* pada ujung jarum alat pembuat *droplet*.
 - d. Untuk membuat *droplet* selanjutnya, pastikan bahwa ujung jarum suntik telah kering.
3. Prosedur pengambilan data
 - a. Pasang dan atur peralatan penelitian sesuai dengan skema penelitian yang telah dibuat.
 - 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. Sambungkan *data logger* pada *thermocouple* dan laptop.
 - d. Nyalakan laptop dan buka program *WaveScan 2.0* untuk mengukur temperatur dengan *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. Klik *start* pada program *WaveScan 2.0* bersamaan dengan menyalakan *heater* dan menekan tombol *record* pada kamera.
- i. Rekam seluruh proses mulai dari penguapan hingga timbulnya nyala api dari *droplet* tersebut.
- j. Matikan *heater* sesaat setelah api menyala.
- k. Klik *stop* pada program *WaveScan 2.0* dan matikan tombol *record* pada kamera
- l. Simpan data yang telah diambil. Data yang tersimpan pada komputer disimpan dalam bentuk tabel, kemudian dilakukan proses pengolahan data
- m. Gambar yang terekam kamera diolah untuk memperoleh gambar setiap proses berkurangnya diameter droplet
- n. Kembali ke langkah 5 untuk mengambil data masing–masing varian sebanyak 5 kali
- o. Lakukan langkah – langkah yang sama untuk variasi lainnya
- p. Selesai



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Data yang didapat pada penelitian ini berupa grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih terhadap kecepatan pembakaran bahan bakar minyak jarak. Selain itu didapatkan pula data berupa temperatur pembakarannya dari data *logger* serta ukuran diameter droplet awal dari masing-masing sampel.

4.1.1 Diameter Awal Droplet

Tabel 4.1

Ukuran Diameter Awal Droplet

Nama Sampel	Diameter Awal (mm)
Jarak Murni	1,174
Jarak + Cengkeh 100 ppm	1,147
Jarak + Cengkeh 300 ppm	1,121
Jarak + Kayu Putih 100 ppm	1,270
Jarak + Kayu Putih 300 ppm	1,117
Jarak + Cengkeh + Kayu Putih 100 ppm	1,270
Jarak + Cengkeh + Kayu Putih 300 ppm	1,119

4.1.2 Kecepatan Pembakaran

Data hasil pengujian terhadap droplet perwaktunya dapat dilihat pada Lampiran 1.

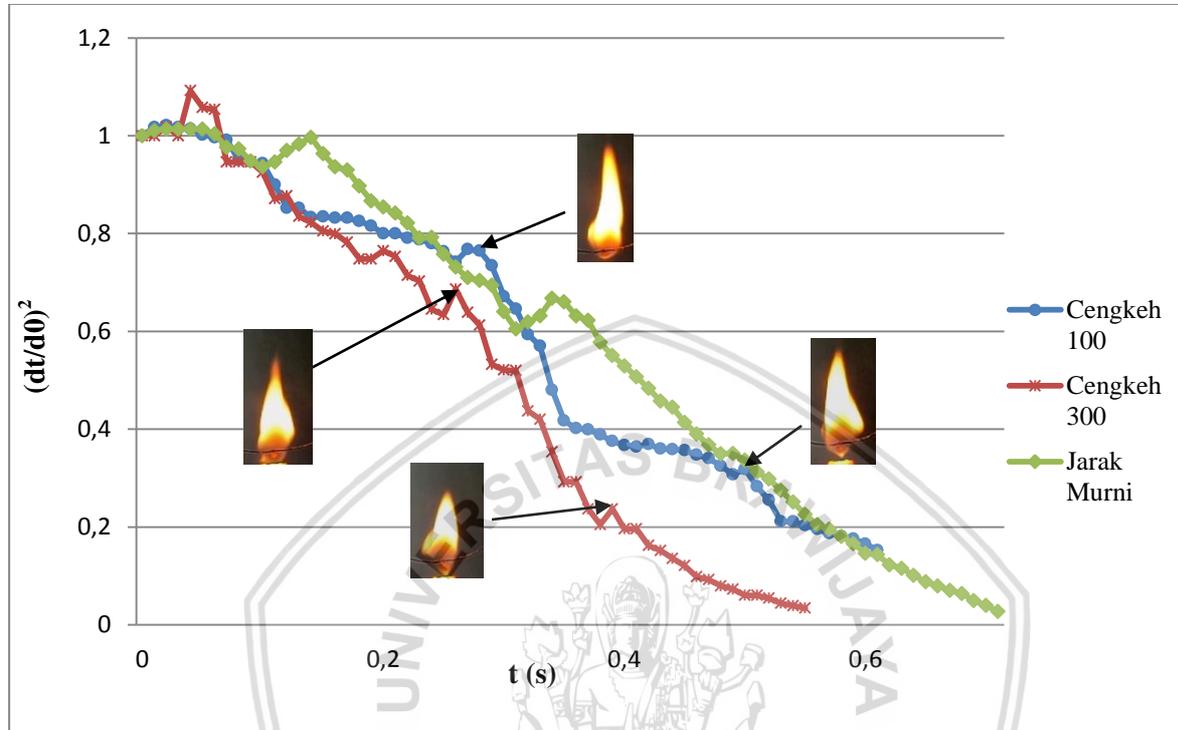
4.2 Grafik dan Pembahasan

Dari data tabel hasil penelitian, kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk mengetahui perubahan dan pengaruh yang terjadi, adapun ditambahkan beberapa keterangan untuk mempermudah penyajian grafik yaitu:

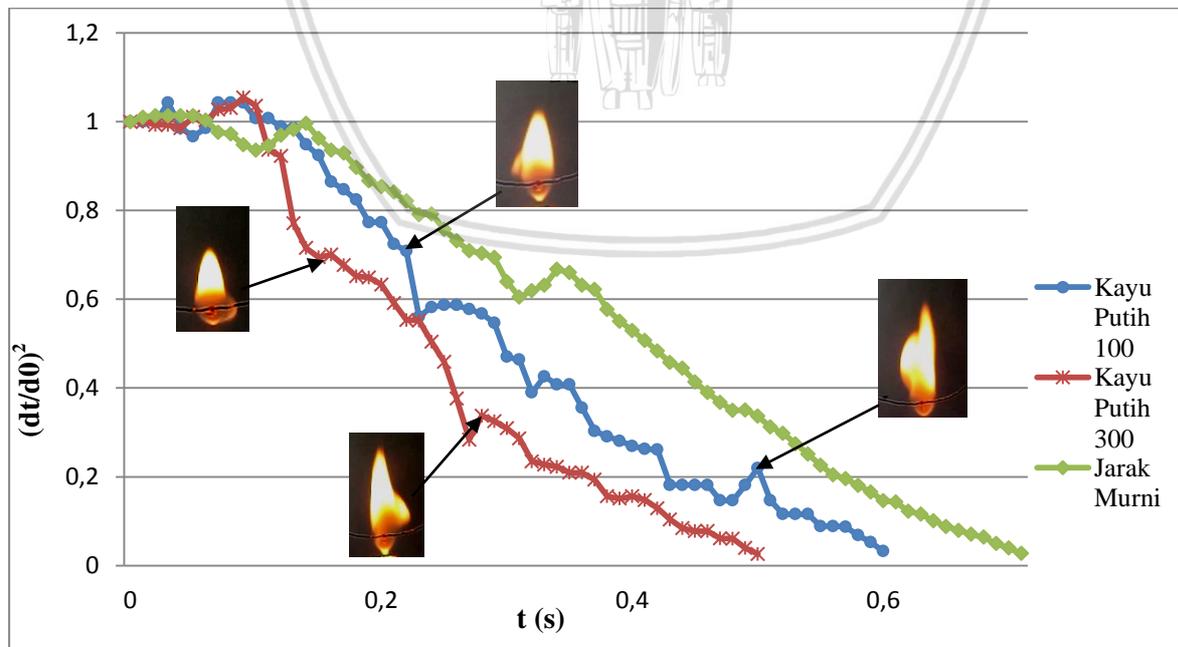
- Jarak 0 = Bahan bakar minyak jarak tanpa penambahan bioaditif
- C 100 = Campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh 100 ppm
- C 300 = Campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh 300 ppm
- KP 100 = Campuran minyak jarak dengan minyak kayu putih 100 ppm
- KP 300 = Campuran minyak jarak dengan minyak kayu putih 300 ppm
- C+KP 100 = Campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh 100 ppm + minyak kayu putih 100 ppm

C+KP 300 = Campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh 300 ppm + minyak kayu putih 300 ppm

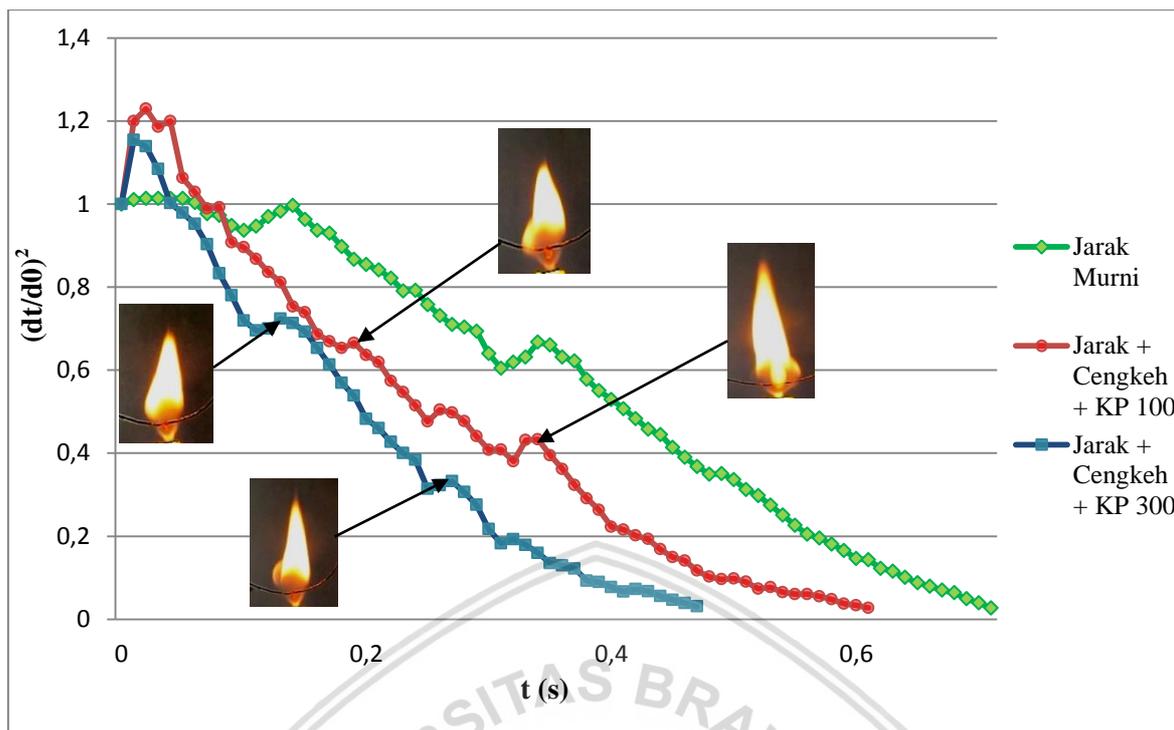
4.2.1 Pengaruh Variasi Penambahan Bioaditif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran Droplet Minyak Jarak



Gambar 4.1 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran *droplet* minyak jarak



Gambar 4.2 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak kayu putih 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran *droplet* minyak jarak



Gambar 4.3 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan kayu putih 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran *droplet* minyak jarak

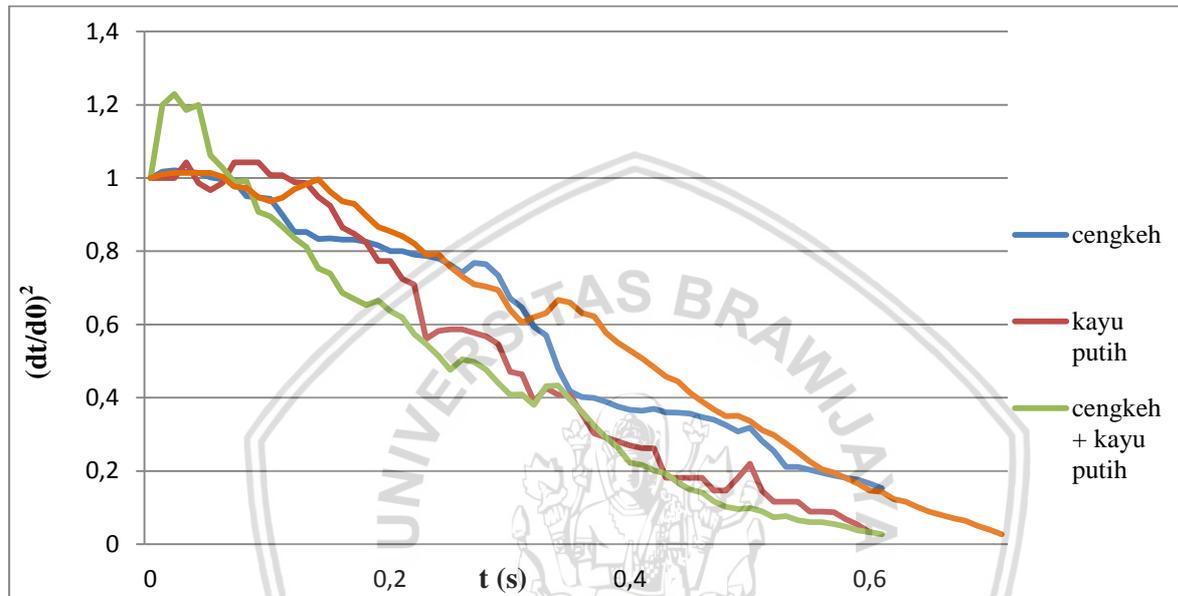
Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 menunjukkan pengaruh variasi penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih terhadap kecepatan pembakaran droplet minyak jarak. Dari ketiga grafik diatas, dapat dilihat dengan penambahan bioaditif akan mempengaruhi kecepatan pembakaran minyak jarak. Setiap penambahan bioaditif, grafik yang dihasilkan akan berbeda dari grafik minyak jarak murni tanpa bioaditif, hal tersebut yang menandakan bahwa pengaruh bioaditif yang akan memberi pengaruh terhadap kecepatan pembakaran minyak jarak. Setiap penambahan bioaditif memiliki pengaruhnya masing – masing.

Dari ketiga gambar diatas dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah konsentrasi bioaditif yang ditambahkan kedalam minyak jarak semakin meningkatkan kecepatan pembakarannya, terlihat dari ketiga grafik yang menunjukkan jumlah konsentrasi 300 ppm memiliki grafik yang paling curam dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Hal tersebut terjadi karena pengaruh konsentrasi bioaditif, semakin banyak penambahan bioaditif pada minyak jarak semakin mengganggu ikatan pada minyak jarak sehingga menurunkan energi aktivasi yang berdampak pada kemampuan pembakarannya. Semakin rendah energy aktivasinya semakin mudah bahan bakar tersebut terbakar. Sehingga ketika energi aktivasinya menurun maka kecepatan pembakarannya akan meningkat.

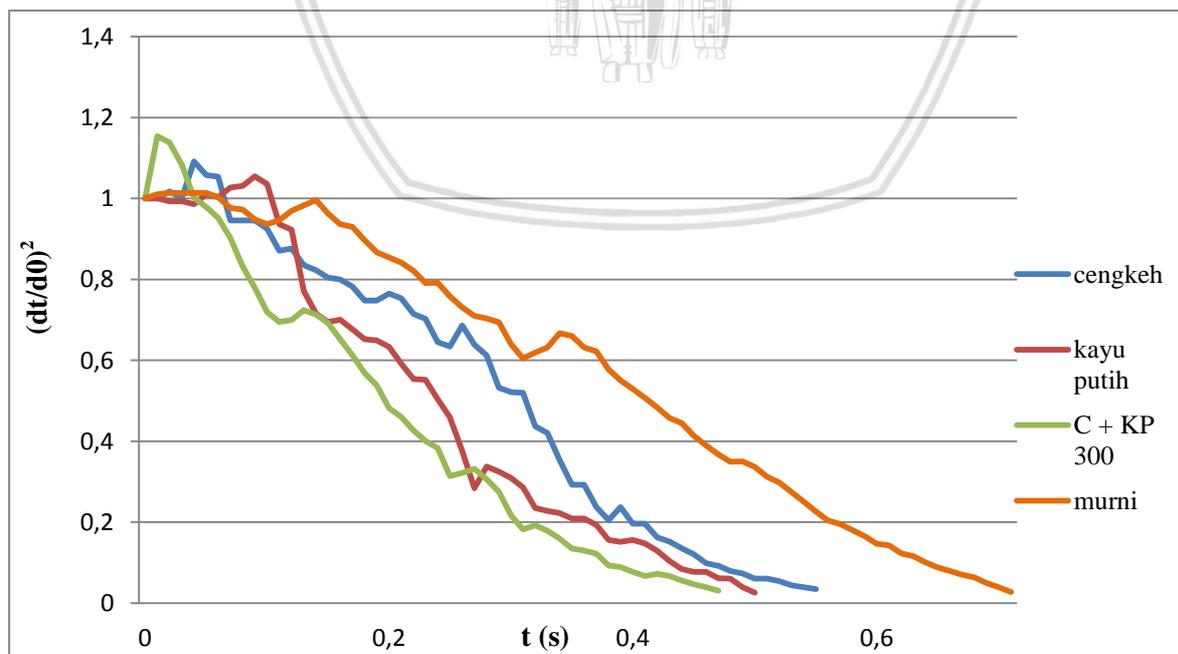
Pada gambar diatas juga terlihat pada awal proses pembakaran droplet cenderung akan memuai terlebih dahulu, kemudian akan turun. Hal tersebut disebabkan oleh penambahan konsentrasi bioaditif. Dengan penambahan bioaditif akan mengganggu ikatan minyak

jarak, sehingga akan meningkatkan entropi yang menyebabkan terjadinya pemauian. Pada proses pembakaran terlihat pembakaran yang terjadi tidak konsisten, hal tersebut terjadi karena penyusun minyak jarak murni yang memiliki *boiling point* berbeda – beda sehingga menimbulkan fenomena *microexplosion* seperti yang ditampilkan pada masing – masing gambar.

4.2.2 Perbandingan Pengaruh Jenis Bioaditif Terhadap Kecepatan Api Pembakaran Droplet Minyak Jarak



Gambar 4.4 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan kayu putih 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran *droplet* minyak jarak

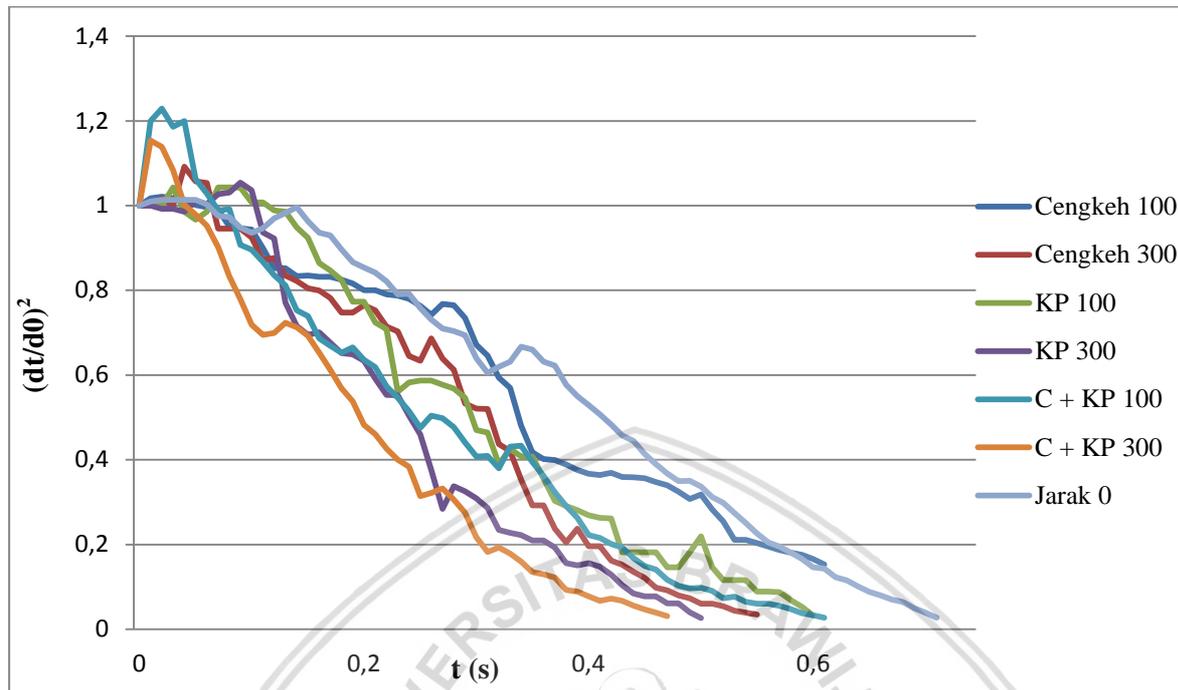


Gambar 4.5 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan kayu putih 100ppm dan 300ppm pada kecepatan pembakaran *droplet* minyak jarak

Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan grafik perbandingan pengaruh jenis bioaditif terhadap kecepatan pembakaran minyak jarak dengan konsentrasi yang sama. Dalam kedua gambar diatas terlihat bahwa bioaditif campuran antara minyak cengkeh dan minyak kayu putih paling mempengaruhi minyak jarak dibandingkan dengan bioaditif lain dengan konsentrasi yang sama, terlihat dari grafik bioaditif campuran yang berada dibelakang grafik bioaditif lainnya. Hal tersebut disebabkan pengaruh medan magnet pada campuran bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih yang bersifat lebih mengganggu akibat medan magnet kuat dan lemah yang dihasilkan resonansi elektronnya seperti yang dijelaskan pada dasar teori. Medan magnet kuat dan lemah akan saling bergantian mengganggu ikatan sehingga orbit ikatan minyak jarak akan kacau. Kekacauan orbit ikatan minyak jarak akan menyebabkan pergerakan atom yang acak, sehingga memungkinkan terjadinya tumbukan yang pada ilustrasi 2.x akan menyebabkan putusannya ikatan minyak jarak. Sehingga energi yang dibutuhkan untuk memutus sisa ikatan menjadi lebih sedikit yang berarti energi aktivasinya menurun. Hal tersebut lah yang menyebabkan campuran bioaditif minyak jarak dan minyak kayu putih lebih berpengaruh terhadap peningkatan kecepatan pembakaran minyak jarak dibandingkan dengan bioaditif lainnya.

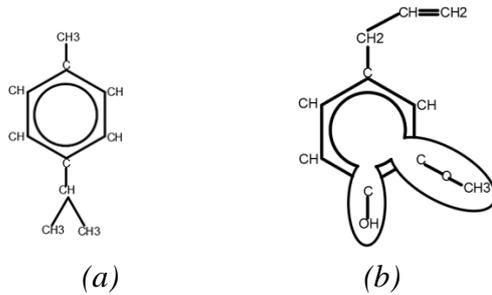
Pada gambar juga bisa terlihat pada awal pembakaran cenderung terjadi pemuaiian pada setiap variasi. Dari kedua gambar, pemuaiian yang terjadi pada bioaditif campuran lebih besar dibanding variasi lainnya. Hal tersebut karena keacakan atom yang terjadi akibat campuran bioaditif lebih mempengaruhi ikatannya minyak jarak sehingga meningkatkan entropi dari campuran minyak jarak dan bioaditif. Pada proses pembakarannya, kecepatan dari proses tersebut tidaklah konstan akibat penyusun minyak jarak murni yang memiliki *boiling point* yang berbeda, sehingga menimbulkan fenomena *microexplosion* yang akan mempengaruhi diameter *droplet* dan kecepatan pembakarannya.

4.2.3 Pengaruh Bioaditif Minyak Cengkeh Dan Minyak Kayu Putih Terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Droplet* Minyak Jarak



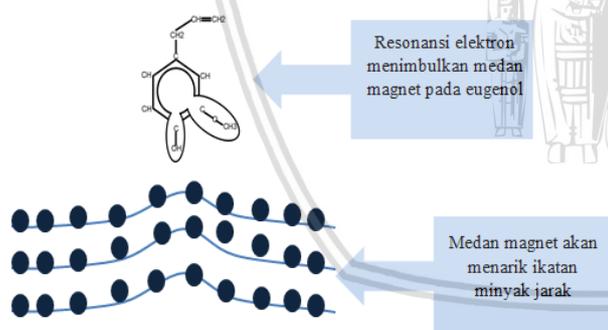
Gambar 4.6 Grafik pengaruh penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih pada pembakaran droplet minyak jarak

Gambar 4.6 menunjukkan pengaruh dari masing-masing jenis dan kadar bioaditif yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar 4.6 menunjukkan kecenderungan kecepatan pembakaran pada droplet minyak jarak saat ditambahkan bioaditif dan tidak ditambahkan bioaditif. Dari grafik terlihat minyak campuran bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih masing-masing 300 ppm memiliki kecepatan yang paling cepat dibandingkan campuran lainnya. Hal tersebut karena pengaruh kandungan eugenol pada minyak cengkeh dan sineol pada minyak kayu putih sebagai penyusun dominan memberikan efek untuk merubah struktur ikatan dari minyak jarak. Seperti yang dijelaskan pada dasar teori, bahwa Eugenol dan Sineol merupakan jenis dari senyawa aromatik yang memiliki struktur cincin hidrokarbon dengan ikatan konjugasi yaitu ikatan rangkap ganda dan tunggal yang tersusun saling berselang – seling. Dari struktur ikatan konjugasi tersebut eugenol dan sineol mampu menghasilkan medan magnet dari resonansi elektron pada cincin sikliknya, karena Eugenol dan Sineol sama-sama merupakan senyawa aromatik.

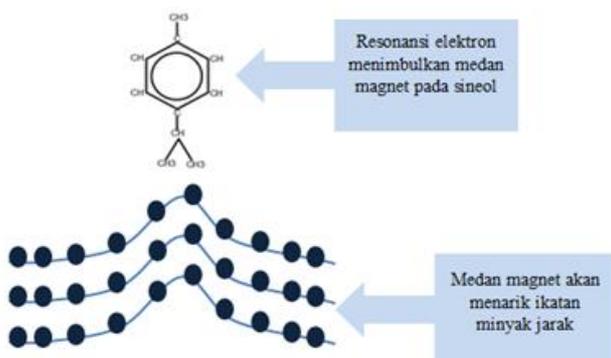


Gambar 4.7 Lintasan delokalisasi (a) Sineol (b) Eugenol

Berdasarkan Gambar 4.7 dapat dilihat struktur Eugenol dan Sineol yang mengalami resonansi memiliki lintasan delokalisasi yang berbeda. Dikarenakan Eugenol memiliki ikatan samping yang mampu meneruskan resonansi elektron maka lintasan delokalisasi Eugenol lebih panjang dibandingkan Sineol. Lintasan delokalisasi elektron yang semakin panjang medan magnet yang dihasilkan akan semakin lemah. Sehingga medan magnet yang dihasilkan minyak cengkeh lebih lemah dibandingkan minyak kayu putih. Hal tersebut yang mengakibatkan kecepatan pembakaran dengan bioaditif minyak cengkeh cenderung lebih lambat dibandingkan bioaditif minyak kayu putih dengan konsentrasi yang sama seperti yang terlihat pada Gambar 4.4, 4.5 dan 4.6. Dalam gambar 4.4, 4.5 dan 4.6 terlihat grafik yang dihasilkan oleh bioaditif minyak cengkeh cenderung lebih lambat dibandingkan minyak kayu putih.



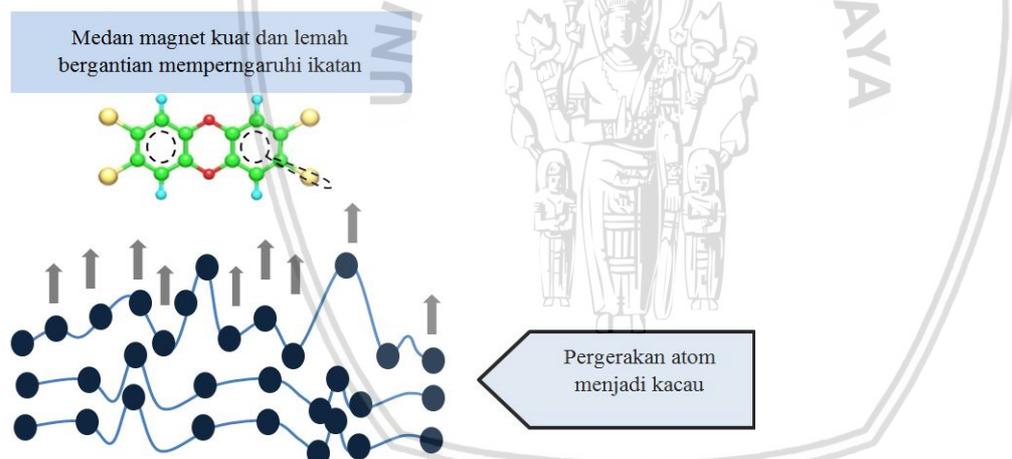
Gambar 4.8 Ilustrasi Eugenol mempengaruhi ikatan minyak jarak



Gambar 4.9 Ilustrasi sineol mempengaruhi ikatan minyak jarak

Pada gambar 4.8 terlihat ilustrasi pengaruh eugenol terhadap ikatan minyak jarak. Dapat terlihat ikatan jarak menjadi lonjong akibat pengaruh medan magnet dari eugenol. Medan magnet yang dihasilkan dari cincin siklik struktur eugenol akan menarik orbit dari ikatan minyak jarak, namun karena medan magnet yang dihasilkan lemah maka pengaruh terhadap ikatan minyak jarak tidak besar. Jika dibandingkan dengan Gambar 4.9 pengaruh sineol terhadap ikatan minyak jarak, dapat terlihat medan magnet pada sineol lebih mempengaruhi orbit ikatan minyak jarak menjadi lebih lonjong akibat pengaruh medan magnet strukturnya. Hal tersebut mengilustrasikan pengaruh kuat lemahnya medan magnet dari masing – masing bioaditif terhadap ikatan minyak jarak.

Namun jika kedua bioaditif ini dicampurkan maka akan timbul medan magnet lemah dari eugenol dan kuat dari sineol yang akan mengacaukan orbit elektron sehingga gerakannya menjadi lebih acak (Wardana 2008) Hal tersebut yang membuat atom lebih mudah lepas dan bergerak secara acak juga akan meningkatkan reaksi tumbukan sehingga dari percobaan didapatkan campuran minyak cengkeh dan kayu putih masing-masing 300ppm memiliki kecepatan pembakaran paling tinggi dibanding campuran lainnya.



Gambar 4.10 Ilustrasi pengaruh campuran bioaditif terhadap ikatan minyak jarak

Dari Gambar 4.10 terlihat ilustrasi pengaruh medan magnet dari campuran bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih yang mempengaruhi ikatan minyak jarak. Terlihat medan magnet yang ditimbulkan dari resonansi ada yang kuat dan lemah itu yang membuat pergerakan atom dari ikatan minyak jarak menjadi acak dan tidak beraturan. Ketika atom bergerak acak kemungkinan terjadi tumbukan antar atom semakin besar yang menyebabkan putusnya ikatan atom minyak jarak dan akan menurunkan energi aktivasinya sehingga dalam proses pembakaran kecepatannya akan meningkat.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa, dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih dapat meningkatkan kecepatan pembakaran dari bahan bakar minyak jarak. Dimana semakin bertambahnya jumlah bioaditif semakin meningkatkan kecepatan pembakaran minyak jarak. Pada penelitian yang telah dilakukan jenis bioaditif campuran antara minyak cengkeh dan minyak kayu putih memiliki pengaruh paling besar terhadap peningkatan kecepatan pembakaran pada minyak jarak, hal tersebut dibuktikan dari seluruh pengujian yang telah dilakukan dengan jenis bioaditif yang berbeda didapatkan grafik bioaditif campuran antara minyak cengkeh dan minyak kayu putih memiliki grafik paling curam dibanding grafik jenis bioaditif lainnya.

Dalam proses pembakaran *droplet* minyak jarak tanpa bioaditif serta dengan bioaditif terlihat fenomena *microexplosion* yang terjadi selama proses pembakaran hal tersebut karena pengaruh *boiling point* yang berbeda pada penyusun minyak jarak sehingga akan terjadi perbedaan tekanan pada *droplet*. Pada awal proses pembakaran *droplet* cenderung memuai untuk melepaskan energi sehingga diameter yang didapatkan akan lebih besar dibandingkan diameter awal *droplet*.

5.2 Saran

1. Dalam penelitian selanjutnya, diharapkan jumlah bioaditif yang ditambahkan lebih dari 300ppm untuk mengetahui pengaruh bioaditif dalam jumlah yang lebih besar.
2. Dalam penelitian selanjutnya termokopel yang digunakan diharapkan memiliki diameter lebih kecil untuk meningkatkan sensitifitas terhadap suhu.
3. Menggunakan kamera dengan fps lebih besar untuk melihat fenomena lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S. S. (2011). *Theoretical study of Liquid Droplet Combustion..* Aligarh Muslim University, India.
- Batubara, Irmandita (2016). *Sineol dalam Kayu Putih sebagai pelangsing aromaterapi.* Bogor: Dept. Kimia IPB
- Byun, Young. (1999). *Microexplosion of aluminium slurry droplet.* Aerospace Engineering Dept. South Korea.
- Dewan Energi Nasional (DEN). (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014.* Jakarta : Dewan Energi Nasional.
- Handayani, Desi. et al. (2004). *Sintesis Kopoly (Eugenol DVB) Sulfonat dari Eugenol Utama Minyak Cengkeh.* Surakarta: UNS-Press.
- Kadarohman, Asep. et al. (2012). *Combustion characteristics of diesel fuel on one cylinder diesel engine using clove oil, eugenol, and eugenyl acetate as fuel oil bio-additives.* Elsevier
- Kadarohman, Asep. (2009). *Eksplorasi Minyak Atsirri Sebagai Bioaditif Bahan Bakar Solar.* Universitas Pendidikan Indonesia
- Ketaren, S. (1986). *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan.* Jakarta: UI-Press
- Kurniawati, Eka (2011). *Kimia Analitik Sederhana.* Jakarta: Erlangga
- Lansida. (2014). *Minyak Aromaterapi.* Jakarta: Erlangga
- Lohman, Kicky. (2015) *The effect of droplets combustion with alcohol catalyst.* Elsevier
- Mira. (2016). *Pengaruh penambahan minyak cengkeh terhadap karakteristik pembakaran droplet minyak jarak.* Tidak dipublikasikan, Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Nanlohy, Hendry. (2018) *The effect of Rh catalyst on the combustion characteristics of crude vegetable oil droplets.* Elsevier
- Nurdjannah. (2004). *Karakterisasi Minyak Atsiri dari Limbah Daun Cengkeh.* UPN.
- Rosyadi, Bashtyan. et al. (2014). *Burning rate constants and Microexplosion phenomena measurements of Droplet Combustion.* Departement of Mechanical Engineering National Central University.
- Senthilkumar, R. (2013). *Performance Combustion and Emission Characteristics on Diesel Engine using Bio Additive.* India: Centre of Professional Research Publication
- Setyawan, Nugroho. (2015). *Pengaruh Penambahan Bioaditif Minyak Kayu Putih Pada Bahan Bakar Premium Terhadap Performa, Konsumsi Bahan Bakar, dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor.* Universitas Negeri Semarang.

Tsaqif, Syihabun (2017). *Penambahan kadar karbon aktif terhadap kecepatan api pembakaran premixed dengan bahan bakar minyak jarak*. Tidak dipublikasikan, Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Wardana, ING. (2008). *Bahan Bakar & Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya – Brawijaya University Press

Wardana, ING. (2008) *Combustion Characteristics of Jatropha Oil Droplet at Various Oil Temperatures*. ELSEVIER

Yustiansyah, Rizky. (2016). *Pengaruh penambahan karbon aktif terhadap karakteristik pembakaran droplet minyak nabati*. Tidak dipublikasikan, Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

