

**PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS TERHADAP
KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN *DROPLET* DENGAN
BAHAN BAKAR MINYAK JARAK**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ENRICO GULTOM
NIM. 145060201111018**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2018

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS TERHADAP
KARAKTERISTIK API PEMBAKARAN *DROPLET* DENGAN
BAHAN BAKAR MINYAK JARAK

SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

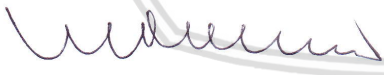
Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik




ENRICO GULTOM
NIM. 145060201111018

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 19 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, 18 Juli 2018

Mahasiswa



Enrico Gultom
NIM. 145060201111018



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 117/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

ENRICO GULTOM

Dengan Judul Skripsi :

PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS TERHADAP KARAKTERISTIK API
PEMBAKARAN DROPLET DENGAN BAHAN BAKAR MINYAK JARAK

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **18 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 KATALIS TERHADAP KARAKTERISTIK API
PEMBAKARAN *DROPLET* DENGAN BAHAN BAKAR MINYAK JARAK

Nama Mahasiswa : Enrico Gultom
NIM : 145060201111018
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Konversi Energi

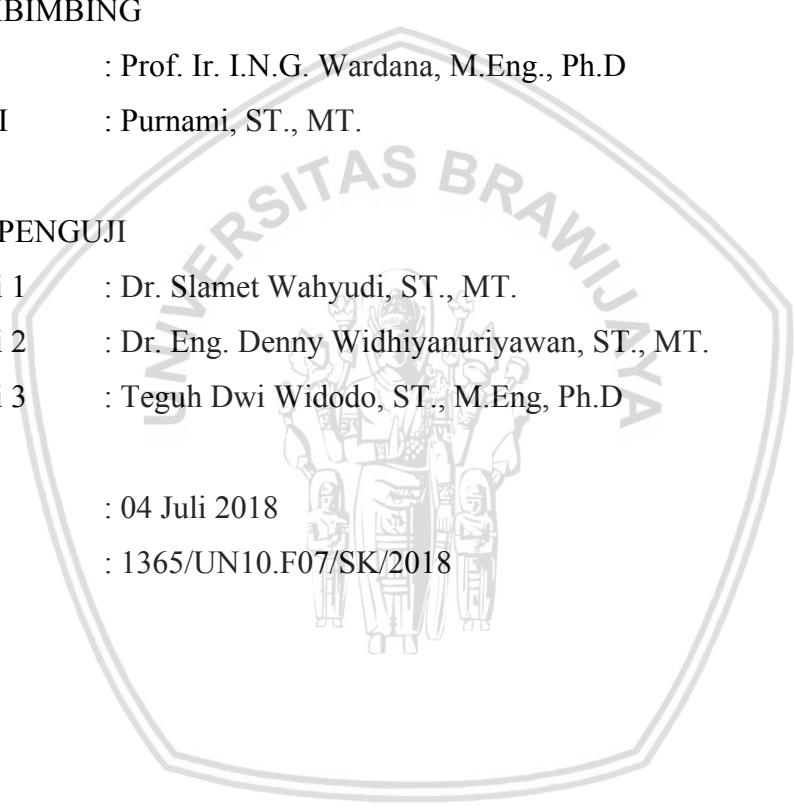
KOMISI PEMBIMBING

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 : 04 Juli 2018
SK Penguji : 1365/UN10.F07/SK/2018



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya Penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik. Laporan skripsi ini berjudul **“Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Droplet Dengan Bahan Bakar Minyak Jarak”**.

Laporan ini disusun sebagai bentuk dokumentasi dan hasil akhir dari proses perkuliahan yang telah dilaksanakan. Laporan ini juga diajukan sebagai syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dalam kurikulum program studi Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Dalam melaksanakan proses penelitian dan penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa tidak akan dapat menyelesaikan semuanya dengan baik tanpa bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada banyak pihak di antaranya:

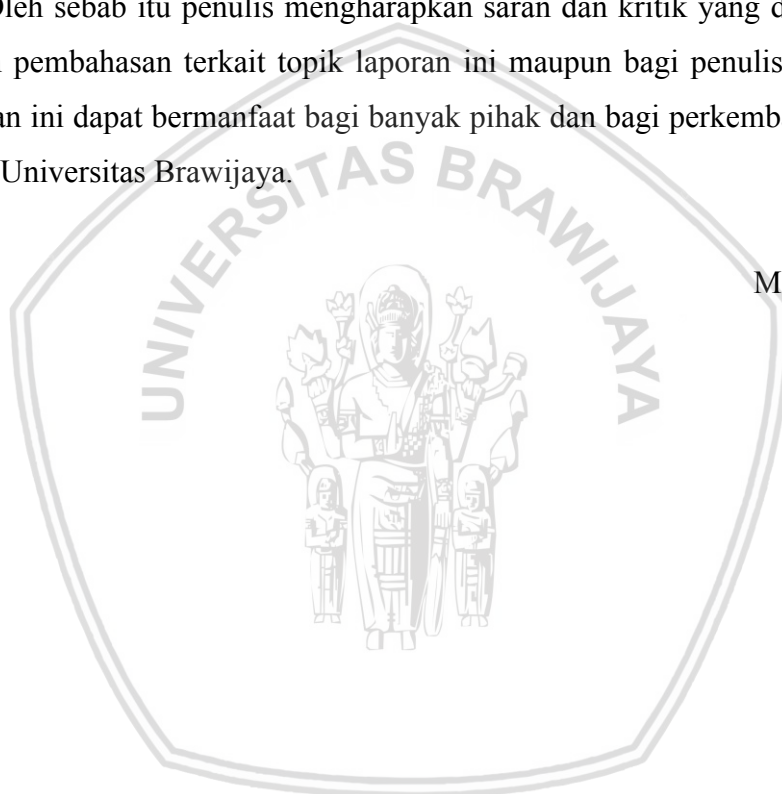
1. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing I yang telah memberi bimbingan serta ilmu yang sangat banyak dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku dosen pembimbing II yang telah memberi saran dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr. Eng Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
6. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing akademik yang banyak membantu dan memberi saran selama proses perkuliahan.
8. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberi ilmu dan membimbing saya selama perkuliahan.
9. Kepada Ayah saya Toni Gultom dan Bunda saya Susanti sebagai orang tua penulis, serta adik saya Amelia Ramadhani Gultom yang tidak henti-hentinya memberikan semangat maupun doa kepada penulis selama baik selama kuliah maupun dalam penyusunan skripsi ini.

10. Bapak Hendry yang telah membantu penelitian kami.
11. Kepada Sahabat saya Junita, Luthfi, dan Alannas walaupun jaraknya jauh tetapi selalu memberikan semangat dan saran baik dalam kehidupan maupun dalam perkuliahan.
12. Kepada teman saya Arief, Danar, Tiara, Yuniar serta teman-teman yang sudah membantu kehidupan saya selama berada di Malang yang tidak dapat di sebutkan satu-satu. Terimakasih banyak.
13. Teman satu angkatan Mesin 2014 yang selalu memberikan semangat dan bantuan selama perkuliahan ini.

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

Malang, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Minyak Nabati.....	6
2.2.1 Minyak Jarak.....	7
2.3 Pembakaran.....	8
2.3.1 Pembakaran <i>Droplet</i>	9
2.3.2 Karakteristik Pembakaran.....	11
2.4 <i>Microexplosion</i>	12
2.5 Katalis.....	13
2.5.1 Minyak Cengkeh.....	13
2.5.1 Rhodium.....	15
2.6 Keelektronegatifan.....	15
2.7 Teori Tumbukan.....	16
2.8 Konsep Penelitian.....	16
2.8.1 Minyak Cengkeh.....	16
2.8.2 Rhodium (III) Sulfat.....	19
2.8 Hipotesis.....	21
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian.....	23

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.3 Variabel Penelitian	23
3.4 Alat-alat dan Bahan-bahan Penelitian	24
3.4.1 Alat-alat Penelitian	24
3.4.2 Bahan-bahan Penelitian	28
3.5 Skema Instalasi Alat Penelitian	28
3.6 Prosedur Pengambilan Data	29
3.7 Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Hasil Penelitian.....	35
4.1.1 Diameter <i>droplet</i>	35
4.1.2 Tabel Data Hasil Penelitian	37
4.2 Analisis dan Pembahasan	38
4.2.1 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (iii) Sulfat terhadap temperatur reaksi pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	38
4.2.2 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (iii) Sulfat terhadap <i>ignition delay</i> pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	39
4.2.3 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (iii) Sulfat terhadap <i>burning rate</i> pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak.....	41
4.2.4 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap visualisasi api pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak	43
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.1 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi Asam Lemak Penyusun Minyak Biji Jarak	8
Tabel 2.2	Sifat Fisika Minyak Jarak dan Minyak Nabati Lainnya	8
Tabel 2.3	Propertis Minyak Cengkeh	14
Tabel 4.1	Data Diameter <i>Droplet</i>	36
Tabel 4.2	Data <i>burning life</i> hasil pembakaran <i>droplet</i>	37



DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Susunan ikatan molekul trigliserida.....	6
Gambar 2.2	Pemodelan api difusi pada pembakaran <i>droplet</i>	10
Gambar 2.3	Pemodelan nyala api <i>droplet</i>	10
Gambar 2.4	<i>Microexplosion</i> yang terjadi pada bahan bakar campuran minyak kedelai ...	12
Gambar 2.5	Skema tahapan <i>microexplosion</i>	13
Gambar 2.6	Struktur eugenol.....	14
Gambar 2.7	Tabel periodik keelektronegatifan atom - atom	15
Gambar 2.8	(a) Struktur eugenol (b) resonansi yang terjadi pada cincin utama (c) Ilustrasi resonansi pada minyak cengkeh	17
Gambar 2.9	Fenol.....	17
Gambar 2.10	Ilustrasi radikal bebas menumbuk molekul	18
Gambar 2.11	Proses reaksi minyak jarak dan oksigen	18
Gambar 2.12	Struktur lewis dari anion SO_4^{2-}	19
Gambar 2.13	Ilustrasi kemungkinan resonansi elektron dari SO_4^{2-}	19
Gambar 2.14	Ilustrasi ikatan ion $\text{Rh}_2(\text{SO}_4)_3$	20
Gambar 2.15	Ilustrasi ikatan ion $\text{Rh}_2(\text{SO}_4)_3$ memutuskan ikatan asam lemak pada minyak jarak.....	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	Kamera.....	26
Gambar 3.5	Transformator.....	26
Gambar 3.6	Pembuat <i>droplet</i>	27
Gambar 3.7	Gelas ukur	27
Gambar 3.8	Katalis rhodium.....	28
Gambar 3.9	Instalasi alat penelitian.....	29
Gambar 4.1	Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap temperatur reaksi pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak	38
Gambar 4.2	Jelaga pada campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat.....	39



Gambar 4.3 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap <i>ignition delay</i> pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak	39
Gambar 4.4 Pengaruh penambahan minyak cengkeh terhadap <i>burning rate</i> pada pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak	41
Gambar 4.5 Pengaruh penambahan Rhodium (III) Sulfat terhadap <i>burning rate</i> pada pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak	41
Gambar 4.6 Pengaruh penambahan cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap <i>burning rate</i> pada pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak	42
Gambar 4.7 Visualisasi api pada minyak jarak murni	43
Gambar 4.8 Visualisasi api pada minyak jarak + cengkeh 100 ppm	43
Gambar 4.9 Visualisasi api pada minyak jarak + cengkeh 200 ppm	44
Gambar 4.10 Visualisasi api pada minyak jarak + cengkeh 300 ppm	44
Gambar 4.11 Visualisasi api pada minyak jarak + cengkeh 400 ppm	44
Gambar 4.12 Visualisasi api pada minyak jarak + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm	45
Gambar 4.13 Visualisasi api pada minyak jarak + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm	45
Gambar 4.14 Visualisasi api pada minyak jarak + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm	45
Gambar 4.15 Visualisasi api pada minyak jarak + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm	45
Gambar 4.16 Visualisasi api pada minyak jarak + minyak cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm	46
Gambar 4.17 Visualisasi api pada minyak jarak + minyak cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm	46
Gambar 4.18 Visualisasi api pada minyak jarak + minyak cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm	46
Gambar 4.19 Visualisasi api pada minyak jarak + minyak cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm	46
Gambar 4.20 Perbandingan visualisasi api dengan (a) <i>Crude</i> (b) 100 C (c) 200 C (d) 300 C (e) 400 C (f) 100 R (g) 200 R (h) 300 R (i) 400 R (j) C+R 100 (k) C+R 200 (l) C+R 300 (m) C+R 400 ppm	47
Gambar 4.21 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap panjang api pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak	47
Gambar 4.22 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap lebar api pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak	48
Gambar 4.23 Ilustrasi cara kerja minyak cengkeh dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak jarak	50

Gambar 4.24 Ilustrasi cara kerja Rhodium (III) Sulfat dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak jarak 50

Gambar 4.25 Ilustrasi resonansi (a) minyak cengkeh dan (b) Rhodium (III) Sulfat dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak jarak 51



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Tabel Data <i>Ignition Delay</i> Hasil Pembakaran <i>Droplet</i>
Lampiran 2	Tabel Data Dimensi Panjang Hasil Pembakaran <i>Droplet</i>
Lampiran 3	Tabel Data Dimensi Lebar Hasil Pembakaran <i>Droplet</i>
Lampiran 4	Tabel Data Viskositas dan Densitas
Lampiran 5	Contoh Perhitungan Temperatur api
Lampiran 6	Temperatur Jarak + Cengkeh 100 ppm
Lampiran 7	Temperatur Jarak + Cengkeh 200 ppm
Lampiran 8	Temperatur Jarak + Cengkeh 300 ppm
Lampiran 9	Temperatur Jarak + Cengkeh 400 ppm
Lampiran 10	Temperatur Jarak + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm
Lampiran 11	Temperatur Jarak + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm
Lampiran 12	Temperatur Jarak + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm
Lampiran 13	Temperatur Jarak + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm
Lampiran 14	Temperatur Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm
Lampiran 15	Temperatur Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm
Lampiran 16	Temperatur Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm
Lampiran 17	Temperatur Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm

RINGKASAN

Enrico Gultom, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Karakteristik Api Pembakaran Droplet Dengan Bahan Bakar Minyak Jarak*, Dosen Pembimbing: I.N.G. Wardana dan Purnami.

Cadangan minyak bumi dunia kian langka padahal konsumsinya semakin meningkat. Mengingat semakin terbatasnya energi yang berasal dari fosil, perlu dilakukan penelitian untuk mengganti bahan bakar tersebut. Minyak jarak adalah salah satu minyak nabati yang dapat menggantikan bahan bakar berbasis fosil. Namun, minyak jarak memiliki kekurangan pada propertis minyak itu sendiri. Perlu dilakukan penambahan katalis untuk memperbaiki sifat yang kurang dari propertis minyak jarak tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan penambahan katalis Rhodium (III) Sulfat dan minyak cengkeh yang akan memperbaiki propertis minyak jarak, agar kebutuhan energi disosiasi semakin sedikit yang menyebabkan reaksi pembakaran lebih cepat dan nantinya dapat digunakan oleh mesin yang memiliki spesifikasi dari propertis minyak jarak yang telah ditambahkan katalis tersebut.

Pada Rhodium (III) Sulfat maupun minyak cengkeh dapat menimbulkan induksi magnet yang menyebabkan molekul asam lemak dan oksigen bermuatan. Dengan pemutusan ikatan rangkap maupun ikatan tunggal yang ada pada asam lemak. Hal ini menyebabkan asam lemak dan oksigen bertumbukan. Hal ini menyebabkan turunnya energi aktivasi yang dibutuhkan untuk reaksi pembakaran. Sehingga reaksi pembakaran yang terjadi akan semakin cepat. Semakin banyak penambahan kadar minyak cengkeh atau Rhodium (III) Sulfat dalam minyak jarak dimungkinkan dapat menyebabkan nilai ignition delay semakin kecil, reaksi pembakaran semakin cepat, juga dapat menaikkan nilai temperatur, dan dimensi api semakin kecil. Penambahan jumlah katalis minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat masing-masing sebesar 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, dan 400 ppm.

Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh dari katalis dalam mempengaruhi karakteristik pembakaran pada minyak jarak, yaitu temperatur pembakaran, *ignition delay*, *burning rate*, dan visualisasi nyala api. Semakin banyak penambahan katalis, baik itu minyak cengkeh maupun Rhodium (III) Sulfat dapat menaikkan nilai temperatur pembakaran, dan menurunkan nilai *ignition delay*, *burning rate*, dan dimensi api. Rhodium (III) Sulfat lebih efektif dalam mempengaruhi karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak. Hal ini terjadi karena Induksi magnet Rhodium (III) Sulfat yang ditimbulkan lebih besar daripada minyak cengkeh karena mempunyai lebih banyak sumber medan magnet dalam satu atom yang mengganggu ikatan atom minyak jarak dibanding dengan minyak cengkeh.

Kata Kunci: *Droplet*, minyak jarak, karakteristik pembakaran

SUMMARY

Enrico Gultom, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, May 2018, *The Influence Of Catalysts Toward Flame Characteristic of Jatropha Oil Droplet Combustion*, Academic Supervisor : I.N.G. Wardana dan Purnami.

Oil consumption rate is increasing yet the petroleum reserves are getting rare to be found. The fact that fossil fuel are limited, therefore, research toward such fuel replacement must be conducted. Jatropha oil is known to be one of the vegetables oil that serves as fossil fuel replacement. However, Jatropha oil in its own properties are somehow lacking. It needs catalyst addition to repair its lacking characteristic properties. This research investigate Rhodium (III) Sulfate and clove oil addition to repair clove oil properties. The objectives are to decrease dissociation energy necessity which causing faster combustion, furthermore, it can be used by machines with jatropha oil and the catalysts properties specification.

In Rhodium (III) Sulfate or clove oil there is a magnetic induction causing acid molecules and oxygen to be charged. With the termination of double bonds and symbols that exist in fatty acids. This causes fatty acids and oxygen to collide. This is what causes the decreased activation energy required for combustion reactions. So, the combustion reaction that happens will be faster. It is estimated that more clove or Rhodium (III) Sulfate oil in jatropha oil can be relied upon. Increasing levels of clove or Rhodium (III) Sulfate oil in jatropha oil may lead to smaller ignition delay values, faster combustion reactions, can also increase temperature values, and smaller dimensions of fire. The addition of clove oil and Rhodium (III) Sulfate catalysts each are 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, and 400 ppm.

Research result shows the influence of catalysts is found on its effect toward combustion characteristics with jatropha oil, specifically on the combustion temperature, ignition delay, burning rate and flame visualization. The more the catalysts were added, whether the clove oil or the Rhodium (III) Sulfate, it affected the combustion temperature, ignition delay, burning rate, and flame dimention. Rhodium (III) Sulfate is more effective in influencing the combustion characteristics of droplet jatropha oil. This occurs because the induction of raised Rhodium (III) Sulfate magnets is greater than that of jatropha oil because it has more sources of magnetic fields in one atom disturbing the bonds of a jatropha oil atom than that of clove oil

Keywords: Droplet, Jatropha oil, combustion characteristic



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
Ayahanda dan Ibunda tercinta*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Ketergantungan Negara Indonesia akan kebutuhan bahan bakar berbasis fosil terus meningkat. Sedangkan bahan bakar berbasis fosil adalah energi yang tak terbarukan. Cadangan minyak bumi dunia menjadi kian langka padahal konsumsinya semakin meningkat. Jika tidak ditemukan sumber energi baru maka Indonesia akan terus mengimpor energi ini berkali-kali lipat pada tahun berikutnya karena dengan ketersediaan yang sekarang berbanding terbalik dengan ditemukannya energi fosil di negeri ini.

Mengingat semakin terbatasnya energi yang berasal dari fosil, penelitian ini banyak mengacu pada penggunaan energi bersumber dari *renewable source* untuk mengurangi kebutuhan energi yang bersumber dari *unrenewable source*. Minyak nabati adalah salah satu upaya untuk menggantikan bahan bakar minyak (BBM). Minyak nabati tersedia dalam jenis dan jumlah yang besar di Indonesia, misalnya minyak kelapa, minyak kelapa sawit, kemiri, kacang tanah, jarak dan jarak pagar. Minyak Jarak merupakan salah satu minyak nabati yang potensial.

Penggunaan minyak nabati mentah selama ini sebagai pengganti bahan bakar minyak (BBM) belum cukup baik, karena sifat fisika dan kimia yang berbeda dengan bahan bakar fosil. Agar memiliki karakter yang menyerupai bahan bakar fosil, maka minyak nabati perlu di berikan katalis untuk merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul dengan katalis sehingga ikatan atom akan putus atau elektron dirangsang oleh katalis supaya meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi pecah dan bermuatan.

Minyak jarak adalah salah satu minyak nabati yang di jadikan bahan bakar *alternative* yang telah digunakan. Namun, minyak jarak memiliki kekurangan pada propertis minyak itu sendiri yaitu ketika menggunakan minyak jarak sebagai bahan bakar *alternative* adalah keberadaan ikatan ganda pada rantai-rantai alkylnya. Tetapi pada penelitian sebelumnya dengan dilakukannya penambahan katalis Rhodium (III) Sulfat dan minyak cengkeh akan memperbaiki propertis minyak tersebut, agar kebutuhan energi disosiasi semakin sedikit menyebabkan reaksi pembakaran lebih cepat dan dapat digunakan oleh mesin yang memiliki spesifikasi dari propertis minyak jarak yang telah ditambahkan katalis tersebut.

Minyak atsiri salah satunya terkandung dalam minyak cengkeh. Minyak cengkeh didapatkan melalui destilasi uap buah cengkeh maupun pohon cengkeh. Buah cengkeh kering mengandung eugenol 80,94%. Sedangkan daun cengkeh mengandung eugenol 82,13% (Kadarohman, 2009).

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan sebelumnya, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik pembakaran *droplet* jarak dengan penambahan katalis Rhodium (III) Sulfat dan minyak cengkeh yang nantinya akan memperbaiki propertis dari minyak jarak tersebut.

1.2 Rumusan masalah

Membandingkan pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat pada pembakaran *droplet* minyak jarak yang menyebabkan perubahan karakteristik pembakarannya seperti visualisasi dari dimensi api, *burning rate*, temperatur dan *ignition delay* api dan mengetahui mana yang katalis yang paling efektif untuk diberikan kepada minyak jarak tersebut.

1.3 Batasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dilakukan agar pembahasan pada penelitian ini secara spesifik dan tidak meluas adalah:

1. Tidak mendeskripsikan cara penemuan dan pembuatan Rhodium (III) Sulfat, minyak cengkeh, dan minyak jarak.
2. Karakteristik yang dialami pada pembakaran adalah visualisasi api (dimensi tinggi dan lebar dari api), temperatur dari pembakaran *droplet* minyak jarak, *burning rate*, dan *ignition delay*.

1.4 Tujuan penelitian

Mengetahui pengaruh penambahan katalis minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap karakteristik pembakaran *droplet* yaitu visualisasi api (dimensi tinggi dan lebar api), *ignition delay*, *burning rate*, dan temperatur pembakaran minyak jarak dan mengetahui katalis yang paling efektif terhadap minyak jarak adalah tujuan dari penelitian ini.

1.5 Manfaat penelitian

1. Memberikan tambahan referensi untuk bahan bakar alternatif dari penambahan katalis dalam penelitian ini minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat kepada minyak jarak.

2. Menambah pengetahuan dari ilmu konversi energi yang dipelajari di Teknik Mesin.
3. Memberikan wawasan tentang pengujian karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak.
4. Mengetahui perbandingan pengaruh katalis Rhodium (III) Sulfat atau minyak cengkeh terhadap karakteristik pembakaran minyak nabati.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian sebelumnya

Penelitian sebelumnya tentang pembakaran *droplet* minyak jarak dengan penambahan katalis sudah dilakukan. Hendry (2017) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran *droplet* minyak nabati dengan menggunakan katalis pembakaran homogen. Katalis yang digunakan adalah Rh^{3+} , dengan presentase volume katalis terhadap minyak jarak adalah 10 ppm. penambahan katalis dengan dosis yang tepat pada minyak jarak memiliki dampak yang positif pada proses pembakaran. Katalis mampu merubah struktur geometri rantai hidrokarbon. Dan faktor ini sangat mempengaruhi karakteristik pembakaran bahan bakar, dan diawali dengan perubahan karakteristik fisik minyak jarak yaitu menurunnya viskositas.

Dalam penelitian tentang perbandingan penambahan karbon aktif dengan Rhodium (III) Sulfat terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak kapuk randu yang dilakukan oleh Noroyono (2017). Dengan volume presentase Rhodium (III) Sulfat 0.00%, 0.01%, 0.02%, 0.03%. Didapatkan hasil semakin besar presentase volume Rhodium (III) Sulfat semakin besar juga nilai *burning rate*, dikarenakan Rhodium (III) Sulfat dapat mengurangi energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mereaksikan oksigen dengan minyak kapuk randu. Jadi, pembakaran akan semakin cepat terjadi.

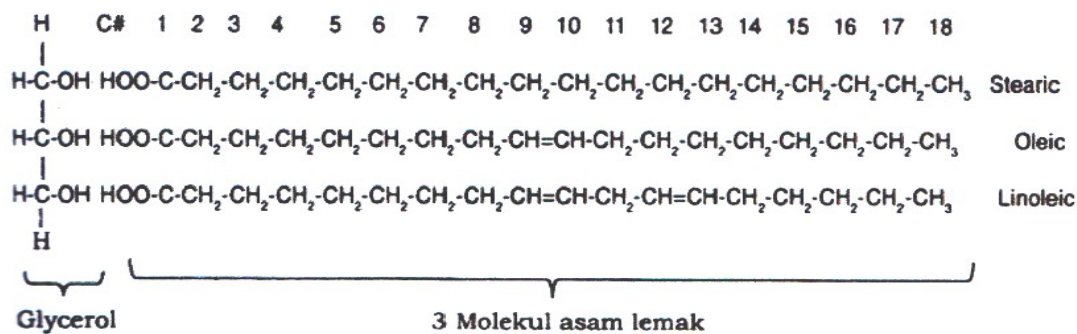
Sedangkan penelitian tentang minyak cengkeh dilakukan oleh Kadarohman (2010). Menurutnya minyak cengkeh memiliki potensi untuk dijadikan bioaditif minyak solar karena memiliki kinerja paling tinggi dalam menurunkan laju konsumsi bahan bakar dibanding minyak terpentin, minyak pala, minyak gandapura, minyak sereh maupun minyak kayu putih. Komposisi optimum penambahan bioaditif minyak cengkeh adalah sebesar 0,6%. Hal ini disebabkan minyak cengkeh memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam minyak solar. Tingginya tingkat kelarutan ini mengurangi kekakuan struktur bahan bakar dengan cara menurunkan kekuatan ikatan *Van Der Walls* antar molekul penyusun bahan bakar solar sehingga dapat meningkatkan reaktifitas pembakaran bahan bakar.

Menurut Sutrisno (2015), minyak cengkeh dapat mengurangi konsumsi bahan bakar pada motor bensin dengan efisiensi tertinggi pada penambahan kandungan minyak cengkeh sebesar 3%. Pada pengujian akselerasi, waktu tempuh terbaik sebesar 9,96 % (15,52 sekon) terjadi pada persentase minyak cengkeh 4%.

Penelitian oleh Andi (2016) tentang pengaruh penambahan Rhodium (III) Sulfat pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar yang telah dilakukan, membuktikan bahwa penambahan Rhodium (III) Sulfat pada dengan rasio 0,01 % dibanding massa minyak jarak pagar dapat menurunkan dimensi api, akan tetapi pada 0,02 % dimensi api meningkat dan adanya perubahan dimensi api yang lebih stabil seiring bertambahnya waktu pembakaran. Dan dengan penambahan Rhodium (III) Sulfat meningkatkan terjadinya *microexplosion* diawal pembakaran. Semakin banyak penambahan Rhodium (III) Sulfat semakin tinggi pula nilai *ignition delay*, *burning rate* dan temperatur maksimal pembakaran. Akan tetapi temperatur turun pada penambahan 0.02 %. Nilai *burning life time* semakin kecil seiring bertambahnya Rhodium (III) Sulfat, sehingga menghasilkan daya yang lebih besar. Dari penelitian ini juga dapat diambil bahwa penambahan katalis dapat mempercepat proses pembakaran dengan adanya *microexplosion*.

2.2 Minyak nabati

Minyak nabati adalah minyak yang di dapatkan dari tumbuh-tumbuhan. Biasanya diperoleh dengan memeras bijinya. Komposisi minyak nabati adalah molekul-molekul trigliserida yang terdiri dari gliserol yakni alkohol dengan rantai 3 karbon sebagai rantai utama dan 3 cabang asam lemak dengan rantai 18 karbon atau 16 karbon (Wardana, 2008). Berikut adalah gambar 2.1 dari susunan ikatan molekul trigliserida.



Gambar 2.1 Susunan ikatan molekul trigliserida
Sumber: Wardana (2008)

Asam lemak adalah rantai *hydrocarbon* lurus dan panjang yang memiliki 12 sampai 24 atom karbon. Salah satu ujung molekul asam lemak berisi kelompok asam *carboxylic* (COOH). Asam lemak terbagi lagi menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Asam lemak jenuh adalah asam lemak yang semua ikatannya tunggal. Asam lemak tidak jenuh adalah asam lemak yang memiliki paling tidak 1 ikatan rangkap atau lebih. Asam lemak yang dihasilkan dari tumbuhan merupakan ikatan tak jenuh dengan satu atau lebih ikatan rangkap diantara atom karbonnya dan pada suhu ruang asam lemak yang dihasilkan dari tumbuhan berwujud cair (Wardana, 2008). Asam lemak yang biasanya ditemukan di dalam minyak nabati adalah asam *stereat*, *palmitat*, *oleat*, *linoleat*. Perbedaan kandungan asam lemak yang terkandung dari minyak nabati terkandung dari jenis tumbuhan itu sendiri (Wijayanti, 2008).

Pada gambar 2.1 dapat di lihat susunan ikatan molekul *triglyceride* terdiri dari *glycerol* dan tiga molekul asam lemak. Susunan ini disebut dengan *trigliseceride*. Fungsi biologis utama dari *triglyceride* adalah sebagai bahan bakar (Wardana, 2008). Semakin panjang atom C asam lemak, maka titik cair semakin tinggi dan akan sulit untuk terbakar.

2.2.1 Minyak jarak

Minyak jarak adalah minyak nabati yang diperoleh dari ekstraksi biji tanaman jarak (*Ricinus communis*) dan biji jarak pagar (*Jatropha curcas*). Merupakan jenis tanaman semak atau pohon yang tahan terhadap kekeringan dan tumbuh di dataran rendah.

Jarak memiliki buah yang terdiri dari daging buah, cangkang biji dan inti biji. Inti merupakan sumber bagian yang menghasilkan minyak sebagai bahan bakar biodiesel dengan proses ekstraksi. (Prihandana, 2007). Bijinya mengandung minyak dengan rendemen antara 25–40 % (Deng et al., 2010 ; Heller, 1996), terdiri dari 21 % asam lemak jenuh dan 79 % asam lemak tak jenuh (Gubitz et al., 1999). Minyak jarak terdiri dari asam lemak. Jenis asam lemak ini memiliki ikatan ganda atau asam lemak tidak jenuh. Kandungan asam lemak pada minyak jarak (*ricinus communis*) seperti pada tabel 2.1. Adapun sifat fisika minyak jarak dan minyak nabati lainnya pada tabel 2.2.

Tabel 2.1
Komposisi asam lemak penyusun minyak biji jarak

No	Asam Lemak	Kadar (100%)
1	Asam Palmitic	4,2 %
2	Asam Stearic	6,9 %
3	Asam Oleic	43,1 %
4	Asam Linoleic	34,3 %
5	Asam lain-lain	1,4 %

Sumber: Wardana (2008)

Tabel 2.2
Sifat fisika minyak jarak dan minyak nabati 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,p.352-354)

2.3 Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Syarat terjadinya proses pembakaran adalah adanya bahan bakar, pengoksidasi (Oksigen/udara), dan panas atau energi aktivasi. Molekul aktif adalah molekul-molekul yang bermuatan yang disebut juga dengan ion. Molekul atau atom bermuatan akibat pemutusan ikatan-ikatan molekul disebut radikal bebas. Atom bermuatan tersebut menjadi mudah bereaksi karena tidak stabil muatannya. Dan akan dengan mudah dengan muatan atom yang berlawanan. Agar proses pembakaran dapat berlangsung maka atom-atom bahan bakar dibuat bermuatan dengan cara melepaskan satu atau beberapa elektron dari kulit terluar atom atau memutus ikatan rantai molekul. Ada beberapa cara untuk melepaskan ikatan atom dalam molekul atau membuat

molekul bermuatan yaitu dengan cara pemanasan, dengan menambahkan katalis, mengganggu elektron dengan medan magnet sehingga tidak lagi mengorbit pada inti atom.

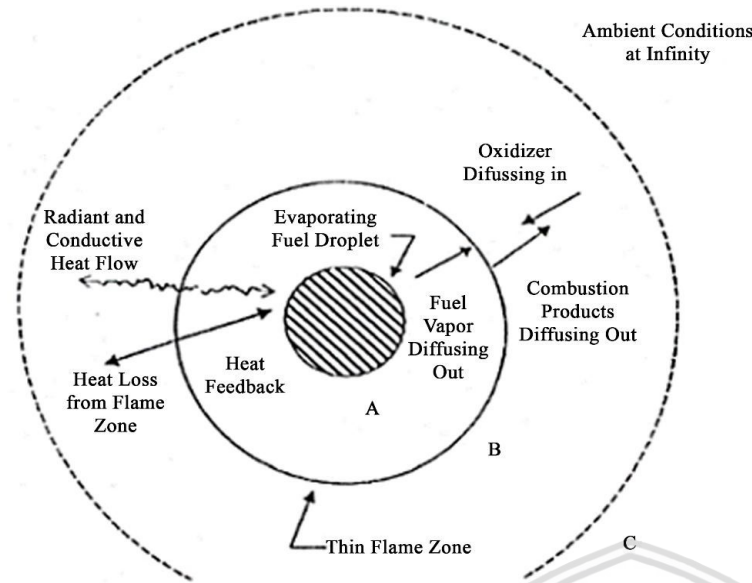
Panas terjadi karena atom yang bergetar, sedangkan cahaya terjadi karena elektron jatuh ke orbit dekat inti atom dan melepaskan foton. Klasifikasi pembakaran secara umum dapat di bagi menjadi 2 yaitu pembakaran premixed dan pembakaran difusi.

1. Pembakaran *premixed*, adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) dicampur terlebih dahulu secara mekanik kemudian di bakar (Wardana, 2008).
2. Pembakaran difusi, yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur secara alami dengan proses difusi kemudian di bakar (Wardana, 2008).

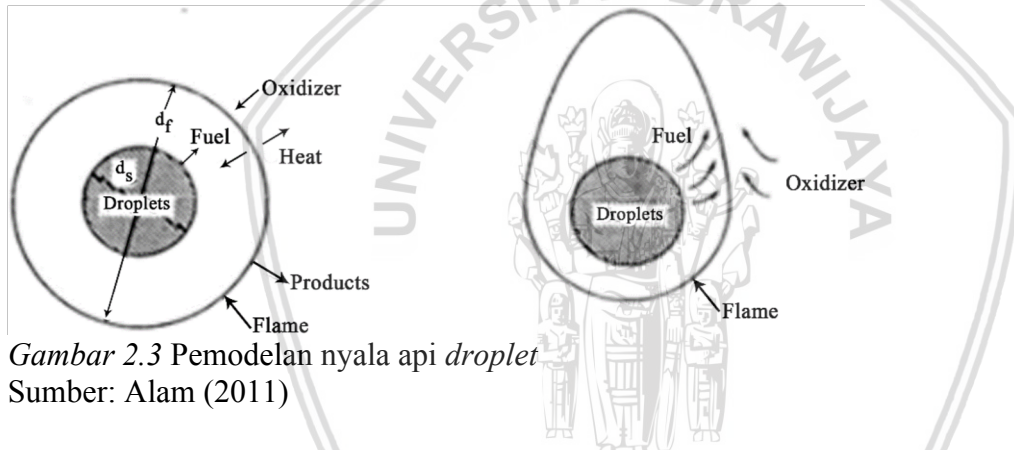
2.3.1 Pembakaran *droplet*

Pembakaran pada *droplet* merupakan pembakaran difusi. Ketika *droplet* dipanaskan, terjadi penguapan yang mengakibatkan uap dari bahan bakar berdifusi dengan oksidator menuju *flame front*. Sehingga api akan terbentuk pada jarak tertentu dari permukaan *droplet* seperti pada gambar 2.2. Pada kondisi gravitasi rendah, api akan berbentuk lingkaran karena tidak adanya gaya apung, namun pada gravitasi yang normal api akan berbentuk memanjang keatas karena efek dari konveksi alami seperti pada gambar 2.3.

Pembakaran pada campuran katalis dengan minyak jarak dilakukan dengan mengubah bentuk fisik cair campuran katalis dan minyak jarak menjadi *droplet*. Karena pembakaran dapat lebih efektif jika diubah ke bentuk *droplet*. Dikarenakan pembakaran dapat dilihat dari sifat fisik yang biasa di aplikasikan yaitu pada pembakaran *spray*. Sehingga diperoleh karakteristik pembakaran dari susunan terkecil pada pembakaran *droplet*. Ukuran *droplet* berkisar antara 10^{-2} cm sampai sekitar 1 cm.



Gambar 2.2 Pemodelan api difusi pada pembakaran *droplet*
 Sumber: Alam (2011)



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

Proses pembuatan butiran dari fasa cairan menuju fase gas disebut dengan atomisasi. Atomisasi dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan cairan dengan cara memecahkan butiran cairan menjadi butiran yang lebih kecil. Proses atomisasi dimulai dengan mendorong cairan melalui sebuah *nozzle*. Karna adanya energi potensial, menyebabkan cairan dapat berubah menjadi butiran-butiran yang lebih kecil. Butiran kecil ini yang disebut dengan *droplet*.

Untuk satu kali semburan dapat menghasilkan suatu rentang besar butir yang berbeda-beda, rentang ini dinyatakan sebagai distribusi besar butir (*drop size distribution*). Distribusi besar butiran ini tergantung pada jenis *nozzle* yang sangat bervariasi untuk setiap jenisnya. Faktor yang dapat mempengaruhi ukuran dari butiran (*droplet*) yaitu sifat-sifat cairan seperti viskositas.

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

Dengan:

- Q : energi total penguapan (kj/kg)
 C_{hf} : kalor jenis bahan bakar (kj/kg°C)
 T_0 : temperature awal *droplet* (°C)
 T_s : temperature permukaan *droplet* (°C)
 Δh_v : kalor laten penguapan (kj/kg)

2.3.2 Karakteristik pembakaran

Karakteristik pembakaran adalah hal-hal yang akan di teliti dan di bandingkan antara suatu bahan bakar dengan bahan bakar lainnya, didalam penelitian ini. Karakteristik pembakaran yang di amati adalah:

a. Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran yang akan di amati adalah temperatur tertinggi yang diukur di pusat *droplet* pada saat pembakaran.

b. *Burning rate*

Burning rate adalah kecepatan suatu bahan bakar untuk terbakar hingga bahan bakar tersebut habis terbakar (Quintere, 1997).

c. *Ignition delay*

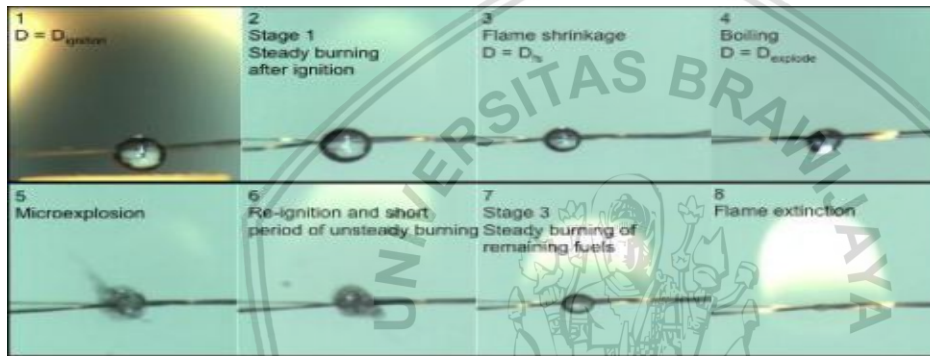
Pada pembakaran *droplet*, *ignition delay* yang dimaksud adalah waktu jeda antara bahan bakar mulai dipanaskan, hingga bahan bakar tersebut mulai terbakar ditunjukkan oleh adanya nyala api. Nilai *ignition delay* ditentukan oleh kecepatan reaksi pembakaran suatu bahan bakar. Semakin cepat reaksi pembakaran maka nilai *ignition delay* akan semakin kecil.

d. Visualisasi Nyala Api

Dimensi api berperan dalam penentuan secara kasat mata apakah pembakaran yang terjadi nantinya merupakan pembakaran dengan reaksi yang cepat atau lambat. Apabila reaksi bahan bakar untuk terbakar semakin cepat, maka dimensi api akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya, jika reaksi pembakaran lambat, maka api cenderung semakin panjang dan lebar. Hal tersebut dikarenakan semakin lama reaksi pembakaran maka semakin lama pula waktu yang diperlukan oleh bahan bakar untuk dapat beroksidasi dan terbakar. Proses pembakaran yang cepat dapat membuat tinggi api yang di hasilkan semakin kecil. Ini dikarenakan panjang api berbanding terbalik dengan difusitas *molecular* (Wardana, 2008).

2.4 *Microexplosion*

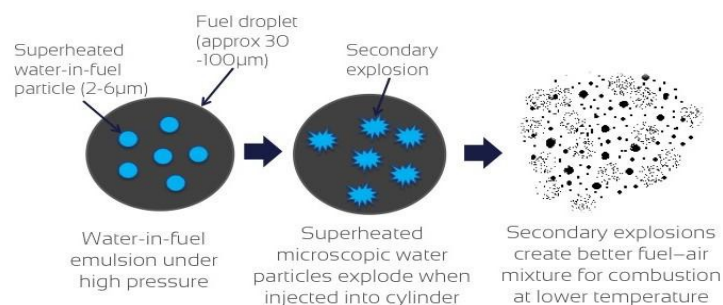
Microexplosion adalah proses pecahnya cairan *droplet* karena proses gasifikasi internal yang cukup keras (Zeng et al., 2007). Pada hasil penelitian sebelumnya (Wardana, 2009), minyak nabati akan terbakar pada dua tahap. Pada tahap awal asam lemak akan terbakar terlebih dahulu lalu diikuti oleh terbakarnya gliserol. Pada saat asam lemak mulai terbakar habis, gliserol akan mulai menguap dapat dilihat pada gambar 2.4. Pada saat inilah asam lemak akan menyusup dan terjebak didalam gliserol. Karena adanya pemansan terus-menerus, asam lemak yang terjebak didalam gliserol akan menguap terlebih dahulu dan memiliki tekanan, sehingga pada tekanan tertentu asam lemak akan meledak menjadi ledakan *micro* atau yang bisa disebut dengan *microexplosion*.



Gambar 2.4 *Microexplosion* yang terjadi pada bahan bakar campuran minyak kedelai dan butanol 75%

Sumber: Hoxie (2014)

Proses terjadinya *microexplosion* dapat diawali dengan menguapnya bahan bakar yang memiliki titik didih yang lebih rendah daripada bahan bakar utama sehingga akan menguap terlebih dahulu di dalam *droplet*. Ketika *droplet* terus dipanaskan, maka *droplet* akan mengalami penurunan nilai densitas yang mengakibatkan tegangan permukaan *droplet* akan semakin turun. Ketika *droplet* tidak dapat menahan tekanan gas dari dalamnya, maka *droplet* akan mudah pecah. Pecahnya *droplet* ini dapat meningkatkan kecepatan pembakaran dari *droplet* tersebut sehingga bahan bakar akan lebih cepat habis terbakar sehingga terjadi proses *microexplosion*. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.5, dimana digambarkan terdapat *binary fuel droplet* yaitu minyak dan kandungan air yang terdapat pada minyak.



Gambar 2.5 Skema tahapan *microexplosion*

Sumber: *Blue Ocean Solutions Pte Ltd* (2015)

2.5 Katalis

Katalis adalah sebuah zat yang mempercepat laju reaksi kimia, tapi tidak dikonsumsi dalam reaksi dan tidak mempengaruhi kesetimbangannya (Gates, 1992). 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). Katalis mempercepat laju reaksi disebabkan Karena kemampuannya mengadakan interaksi paling sedikit satu molekul reaktan untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif. Interaksi ini akan dapat meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan, meningkatkan konsentrasi akibat lokalisasi reaktan, sehingga meningkatkan jumlah tumbukan dan membuka alur reaksi dengan energi aktivasi yang lebih rendah (Gates, 1992).

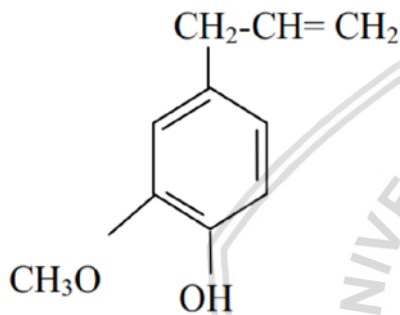
Katalis dibagi menjadi dua jenis yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen adalah dimana katalis berada dalam fase yang sama dengan reaktan, sedangkan katalis heterogen adalah katalis dan reaktan berbeda fase. Pada katalis homogen katalis berupa molekul yang mengkoordinasi reaksi. Sementara katalis heterogen menyediakan permukaan sebagai tempat reaksi berlangsung (Wardana, 2008). Pada penelitian ini digunakan katalis homogen. Katalis homogen adalah Rhodium (III) Sulfat dan minyak cengkeh dimana katalis ini berfase larutan (cair) dan fase minyak jarak adalah cair.

2.5.1 Minyak Cengkeh

Salah satu jenis minyak atsiri yang berpotensi menjadi zat campuran pada bahan bakar yaitu minyak cengkeh. Minyak cengkeh diperoleh dari tanaman *Eugenia caryophyllata*. Minyak cengkeh memiliki nama yang berbeda untuk setiap bagian yang berbeda pula. Misalnya, minyak atsiri yang berasal dari kuntum bunga cengkeh disebut *clove oil*, yang berasal dari minyak tangkai bunga disebut *clove stem oil*, dan yang berasal dari minyak daun cengkeh disebut *clove leaf oil*.

Komponen utama minyak cengkeh yaitu senyawa aromatik yang disebut eugenol (72-90%). Eugenol berupa zat cair yang berbentuk minyak tidak berwarna dan akan berubah menjadi coklat dalam udara serta dapat larut dalam alkohol, eter, kloroform serta sedikit dalam air. Eugenol juga mudah bersenyawa dengan besi, oleh karena itu penyimpanannya harus dalam botol kaca, drum aluminium, atau drum timah putih.

Selain eugenol, terdapat berbagai macam kandungan minyak atsiri cengkeh yaitu senyawa asetil eugenol, beta-caryophyllene, vanillin, tanin, asam galotanat, metil salisilat, asam krategolat, beragam senyawa flavonoid, berbagai senyawa triterpenoid, serta mengandung berbagai senyawa seskuiterpen. Struktur eugenol dapat dilihat pada gambar 2.6 di bawah ini. Sedangkan propertis minyak cengkeh dapat dilihat pada tabel 2.3.



Gambar 2.6 Struktur eugenol
Sumber: Handayani (2001)

Properties minyak cengkeh dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3
Properties minyak cengkeh

Properties	Satuan	Nilai
Density	g/ml	1.092
Nilai Kalor	Cal/g	5404.545
Flash Point	°C	102
Viskositas	cst	9.623

Sumber: Laboratorium Motor Bakar (2016)

Saat penambahan campuran minyak cengkeh kinerja bertambah disebabkan karena minyak cengkeh mengandung eugenol sebagai kandungan utamanya. Struktur eugenol yang tebal dapat menyebabkan kekuatan ikatan *Van Der Walls* antar molekul dan rantai karbon penyusun bahan bakar berkurang.

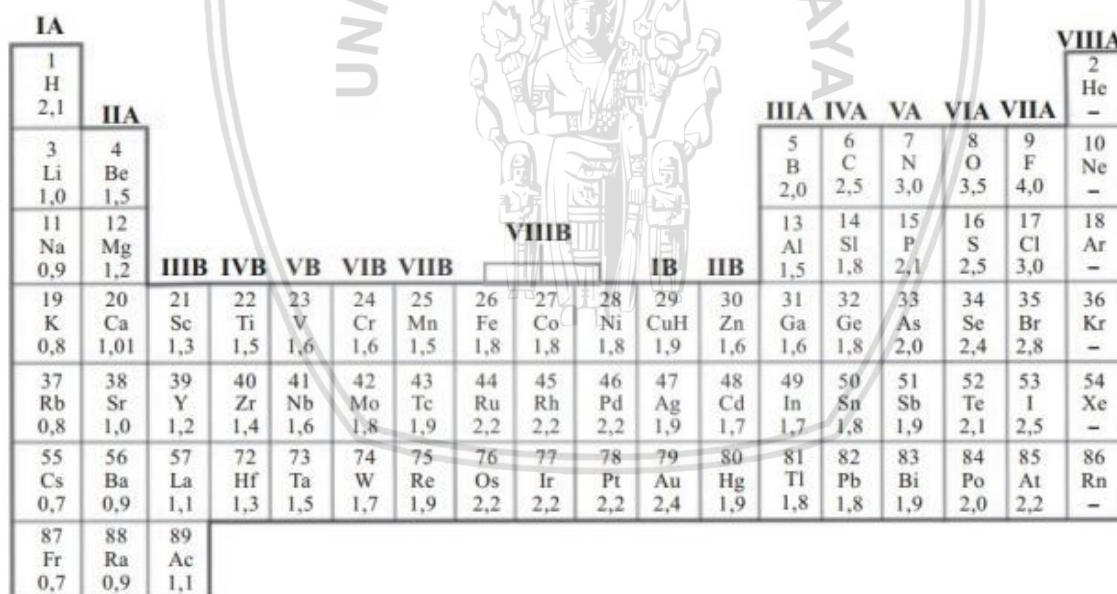
2.5.2 Rhodium

Rhodium dengan simbol kimia Rh adalah suatu unsur golongan B pada grup 9 pada tabel periodik. Senyawa ini memiliki elektron valensi 1 dan protonnya berjumlah 45, dan hal ini membuat Rhodium tidak stabil dan cenderung melepaskan elektron. Rhodium merupakan katalis yang memiliki aktifitas tinggi dalam hidrogenasi senyawa aromatik.

Rhodium yang digunakan sebagai katalis adalah bentuk senyawa ion dari Rhodium yaitu Rhodium (III) Sulfat dengan rumus kimia $Rh_2(SO_4)_3$.

2.6 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, p.267). Jadi semakin besar keelektronegatifan suatu atom maka afinitas elektron dan energi ionisasinya juga tinggi. Pada gambar 2.7 ditunjukkan besar keelektronegatifan suatu atom.



IA												VIIIA					
1 H 2,1												2 He -					
IIA												III A	IV A	VA	VIA	VII A	
3 Li 1,0	4 Be 1,5											5 B 2,0	6 C 2,5	7 N 3,0	8 O 3,5	9 F 4,0	10 Ne -
11 Na 0,9	12 Mg 1,2											13 Al 1,5	14 Si 1,8	15 P 2,1	16 S 2,5	17 Cl 3,0	18 Ar -
		IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B				IB	IIB					
19 K 0,8	20 Ca 1,01	21 Sc 1,3	22 Ti 1,5	23 V 1,6	24 Cr 1,6	25 Mn 1,5	26 Fe 1,8	27 Co 1,8	28 Ni 1,8	29 Cu 1,9	30 Zn 1,6	31 Ga 1,6	32 Ge 1,8	33 As 2,0	34 Se 2,4	35 Br 2,8	36 Kr -
37 Rb 0,8	38 Sr 1,0	39 Y 1,2	40 Zr 1,4	41 Nb 1,6	42 Mo 1,8	43 Tc 1,9	44 Ru 2,2	45 Rh 2,2	46 Pd 2,2	47 Ag 1,9	48 Cd 1,7	49 In 1,7	50 Sn 1,8	51 Sb 1,9	52 Te 2,1	53 I 2,5	54 Xe -
55 Cs 0,7	56 Ba 0,9	57 La 1,1	72 Hf 1,3	73 Ta 1,5	74 W 1,7	75 Re 1,9	76 Os 2,2	77 Ir 2,2	78 Pt 2,2	79 Au 2,4	80 Hg 1,9	81 Tl 1,8	82 Pb 1,8	83 Bi 1,9	84 Po 2,0	85 At 2,2	86 Rn -
87 Fr 0,7	88 Ra 0,9	89 Ac 1,1															

Gambar 2.7 Tabel periodik keelektronegatifan atom - atom

Sumber: Chang (2006)

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.

2.7 Teori Tumbukan

Reaksi terjadi akibat adanya molekul yang bertumbukan. Tumbukan antar molekul yang memiliki tingkat energi yang tinggi akan menyebabkan terganggunya gaya tarik-menarik antara molekul, sehingga terbentuk suatu ikatan molekul yang baru.

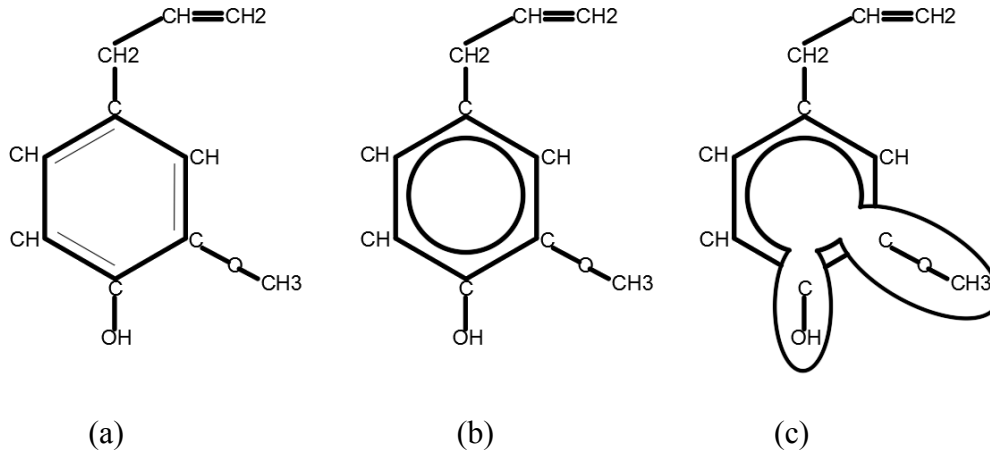
Secara struktural, molekul mempunyai suatu bagian (gugus) yang bersifat labil. Jika tingkat energi pada gugus yang labil tersebut ditingkatkan yaitu dengan meningkatkan suhu, maka akan terjadi reaksi dengan melepaskan kelebihan energi sehingga diperoleh tingkat energi baru yang lebih rendah dan lebih stabil.

2.8 Konsep Penelitian

2.8.1 Minyak 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.

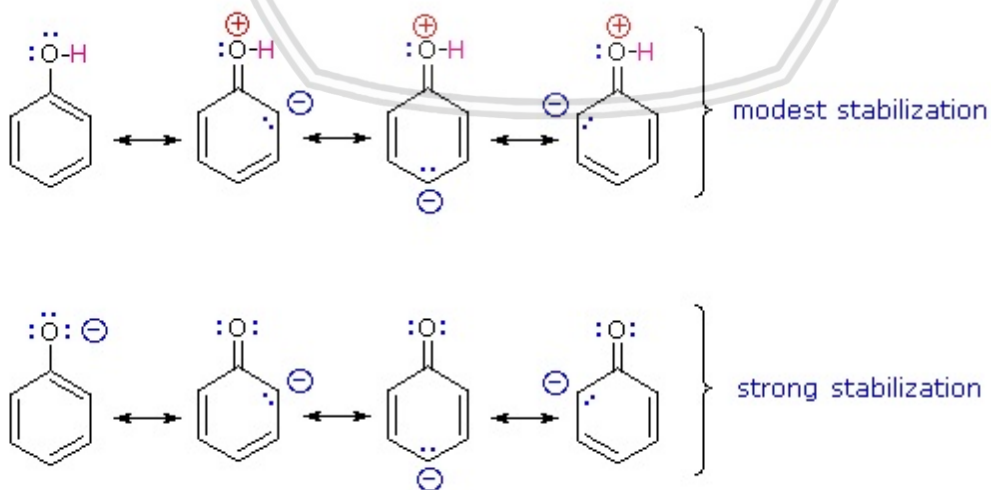
Senyawa seperti ini disebut fenol. Resonansi elektron tidak hanya berlangsung pada cincin siklik. Dalam struktur eugenol terdapat rantai samping antara oksigen yang berpasangan dengan hidrogen. Oksigen yang memiliki elektron valensi 6 dan hidrogen 1 sehingga masih ada 4 elektron bebas yang ada pada oksigen, 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 dapat dilihat pada gambar 2.8. Keelektronegatifan C (2,5), O (3,5), H (2,1).



Gambar 2.8 (a) Struktur Eugenol (b) resonansi yang terjadi pada cincin utama (c) Ilustrasi resonansi pada minyak cengkeh

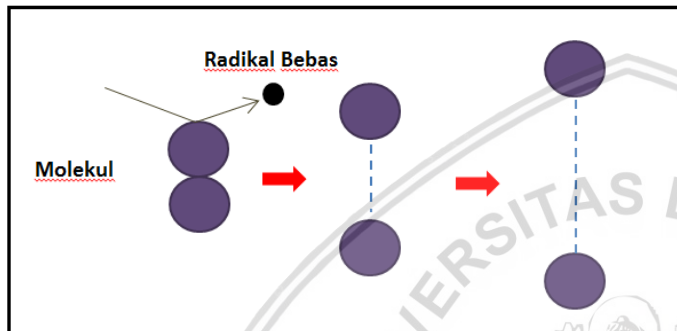
Pada molekul minyak cengkeh juga terjadi resonansi yang menimbulkan medan magnet. Medan magnet inilah yang berguna mengganggu pergerakan elektron pada molekul minyak jarak. Sehingga elektron akan semakin melemah dan mudah lepas. Namun pada minyak cengkeh, lintasan delokalisasi elektron lebih panjang 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 seperti pada gambar 2.9.



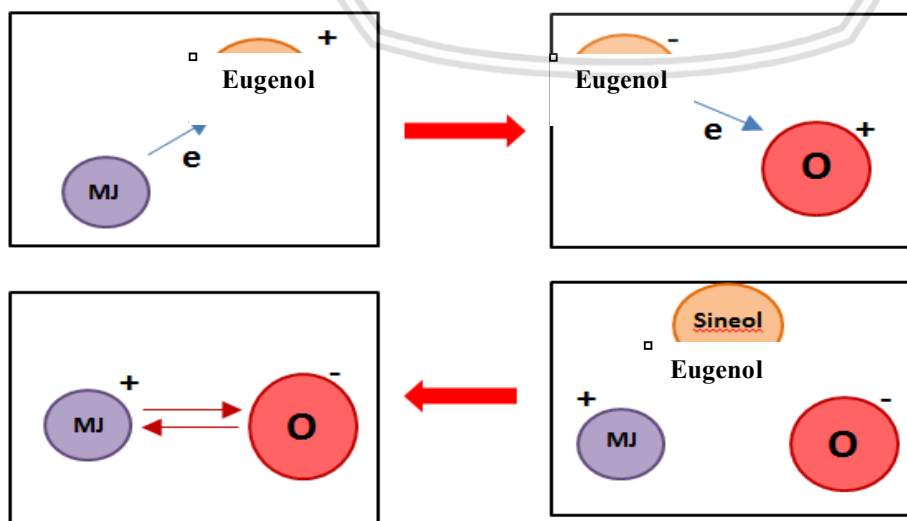
Gambar 2.9 Fenol

Atom – atom yang telah lepas akibat pengaruh medan magnet dan saat pembentukan cincin siklik akan menjadi radikal bebas, seperti pada gambar 2.10. 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 menghantam (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 2.10 Ilustrasi radikal bebas menumbuk molekul

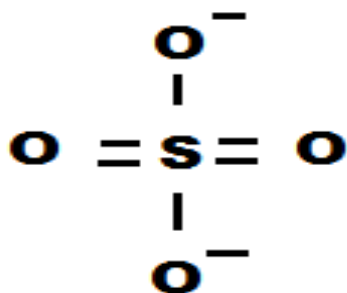
Setelah melepaskan H eugenol menjadi lebih positif dibandingkan asam lemak, sehingga elektron asam lemak cenderung berpindah menuju eugenol. Oksigen yang bermuatan lebih positif menarik elektron dari eugenol sehingga oksigen menjadi negatif dan asam lemak menjadi negatif. Tarik menarik antar oksigen dan asam lemak terjadi akibat beda potensial, menyebabkan tumbukan dan mempercepat reaksi. Proses ini dapat dilihat di gambar 2.11.



Gambar 2.11 Proses reaksi minyak jarak dan oksigen

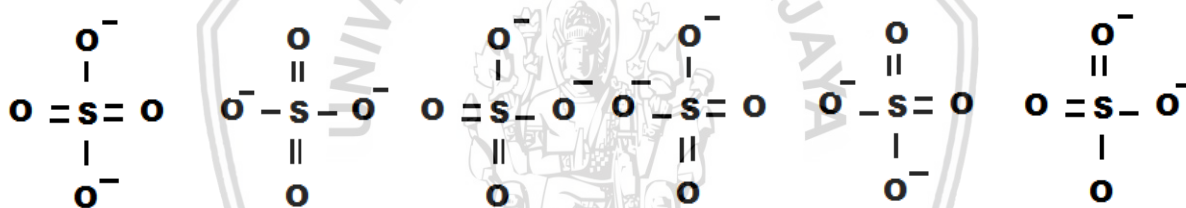
2.8.2 Rhodium (III) Sulfat

Rhodium (III) Sulfat mempunyai rumus kimia $\text{Rh}_2(\text{SO}_4)_3$ adalah ikatan ion dengan anion SO_4^{2-} dan kation Rh^{3+} . Struktur Rhodium (III) Sulfat dapat dilihat pada gambar 2.12.



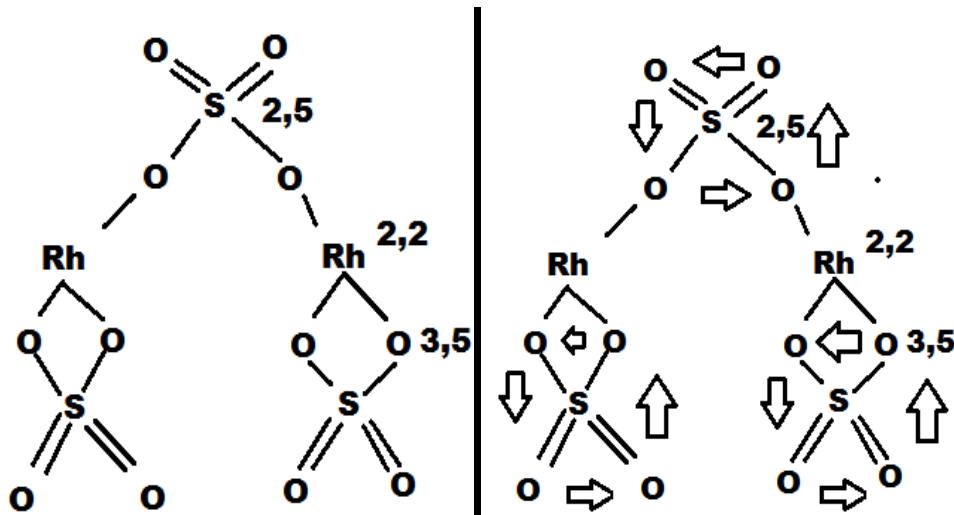
Gambar 2.12 Struktur lewis dari anion SO_4^{2-}

Dari struktur lewis atom di atas maka kita dapat menentukan kemungkinan resonansi elektron pada anion SO_4^{2-} yang ditunjukkan oleh gambar 2.13.



Gambar 2.13 Ilustrasi kemungkinan resonansi elektron dari SO_4^{2-}

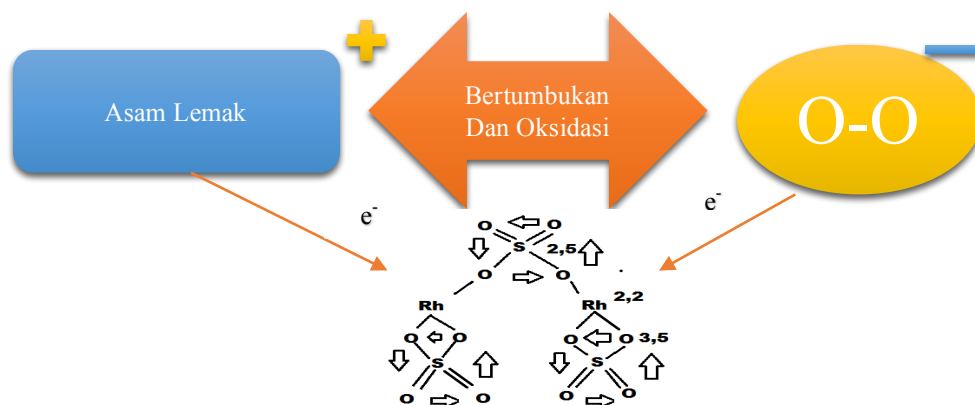
Pada ikatan ion Rhodium (III) Sulfat anion sulfat tetap beresonansi karena perpindahan elektron dari ikatan rangkap ke tunggal yang disebabkan beda keelektronegatifan antara atom atom Rh (2,2), O (3,5), S(2,5). Dari resonansi elektron pada ikatan ion itu terjadinya resonansi elektron mengakibatkan timbulnya arus listrik lalu timbulah medan magnet.



Gambar 2.14 Ilustrasi ikatan ion $\text{Rh}_2(\text{SO}_4)_3$

Jadi perpindahan ikatan rangkap masih terjadi pada ikatan $\text{Rh}_2(\text{SO}_4)_3$. Dikarenakan keelektronegatifan yang dimiliki Rh terhadap O dengan yang dimiliki S terhadap O masih lebih besar yang S terhadap O jadi selisihnya lebih kecil. Karena itu resonansi masih tetap terjadi dengan kecepatan yang tidak sebesar jika anion SO_4^{2-} tunggal dikarenakan ada sifat yang cenderung mempertahankan dari Rh juga. Ikatan rangkap tetapi tetap bertahan pada bagian dimana O tidak berikatan dengan Rh ditunjukkan pada gambar 2.14.

Pada Rhodium (III) Sulfat induksi magnet yang ditimbulkan menyebabkan molekul asam lemak dan oksigen bermuatan. Dengan pemutusan ikatan rangkap maupun ikatan tunggal yang ada pada asam lemak. Hal ini menyebabkan asam lemak dan oksigen bertumbukan. Hal ini menyebabkan turunnya energi aktivasi yang dibutuhkan untuk reaksi pembakaran. Sehingga reaksi pembakaran yang terjadi akan semakin cepat. Seperti pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Ilustrasi ikatan ion $\text{Rh}_2(\text{SO}_4)_3$ memutuskan ikatan asam lemak pada minyak jarak

2.9 Hipotesis

Semakin banyak penambahan kadar minyak cengkeh atau Rhodium (III) Sulfat dalam minyak jarak dimungkinkan dapat menyebabkan nilai *ignition delay* semakin kecil, reaksi pembakaran semakin cepat, juga dapat menaikkan nilai temperatur, dan dimensi api semakin kecil. Ini terjadi dikarenakan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat memiliki sifat elektromagnetik yang cukup untuk mempengaruhi elektron dan ikatan pada reaksi pembakaran pada minyak jarak sehingga reaksi pembakaran yang terjadi menjadi lebih cepat.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dengan melakukan eksperimental nyata (*true experimental research*). Metode ini merupakan metode dimana peneliti mengamati secara langsung untuk mendapatkan sebuah data.

3.2 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2018 hingga selesai, dan bertempat di Laboratorium CNC Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Kota Malang.

3.3 Variabel penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 macam variabel, yaitu :

a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya telah ditentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel bebasnya adalah konsentrasi campuran minyak cengkeh 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm terhadap massa minyak jarak. Konsentrasi campuran Rhodium (III) Sulfat 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm terhadap massa minyak jarak.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas dan hasilnya dapat diketahui setelah penelitian telah selesai dilaksanakan. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah temperatur api pembakaran, *ignition delay*, *burning rate*, dan visualisasi nyala api yaitu dimensi api seperti tinggi dan lebar api pada proses pembakaran *droplet* campuran minyak jarak, Rhodium (III) Sulfat, dan minyak cengkeh.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya telah ditentukan sebelum kegiatan penelitian berlangsung. Variabel terkontrol bersifat konstan dan tidak

berubah selama jalannya kegiatan penelitian. Dalam penelitian ini variabel ter kendalinya adalah:

1. Suhu ruang uji bakar sebesar : $27^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$
2. Arus listrik *heater* : 220 V
3. Hambatan kumparan pemanas : 1,02 ohm

3.4 Alat-alat dan bahan-bahan penelitian

3.4.1 Alat-alat penelitian

1. Elemen pemanas (*heater*)

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



Gambar 3.1 Elemen pemanas

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

- Tipe : R
- Jangkauan suhu yang dapat diukur : 0 – 1600 °C
- Diameter : 0,1 mm

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

- 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. Kamera

Berfungsi untuk merekam proses terjadinya penguapan hingga nyala api di dalam ruang uji bakar *droplet*. ditunjukkan oleh gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kamera

5. Transformator

Berfungsi untuk mengatur tegangan elemen pemanas. Ditunjukkan oleh gambar 3.5.



Gambar 3.5 Transformator

6. Laptop

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

7. Timbangan Analitik

Timbangan analitik digunakan untuk mengukur massa minyak jarak, massa Rhodium (III) Sulfat dan massa minyak cengkeh.

8. Pembuat *Droplet*

Alat pembuat *droplet* yang digunakan adalah rekayasa *syringe* dikombinasikan dengan suntikan insulin. Sehingga *syringe* dapat membentuk diameter *droplet* yang sama setiap kali digunakan. Alat pembuat *droplet* ditunjukkan oleh gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pembuat *droplet*

Alat tersebut terdiri dari :

- Alat pengatur volume *droplet* Spesifikasi :
 - Merk : Novo Mix
 - Buatan : Denmark
- Suntikan penampung hasil campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh dan minyak jarak dengan Rhodium (III) Sulfat. Spesifikasi :
 - Merk : OneMed
 - Diameter jarum : 0,4 mm
 - Volume tabung : 1 ml
 - Buatan : Indonesia

9. Gelas Ukur

Penampungan campuran minyak jarak dengan katalis Rhodium (III) Sulfat maupun minyak cengkeh. ditunjukkan oleh gambar 3.7.

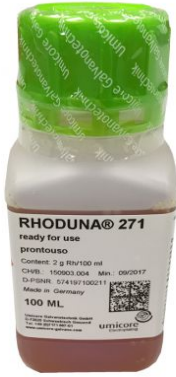


Gambar 3.7 Gelas ukur

3.4.2 Bahan – bahan penelitian

1. Katalis Rhodium (III) Sulfat

Katalis yang digunakan pada penelitian ini untuk mempercepat reaksi pembakaran. ditunjukkan oleh gambar 3.8.



Gambar 3.8 Katalis Rhodium (III) Sulfat

- Merk : Rhoduna-271
- Massa Rh/Volume : 2g Rh/ 100 ml
- Buatan : Jerman

2. Katalis Minyak Cengkeh

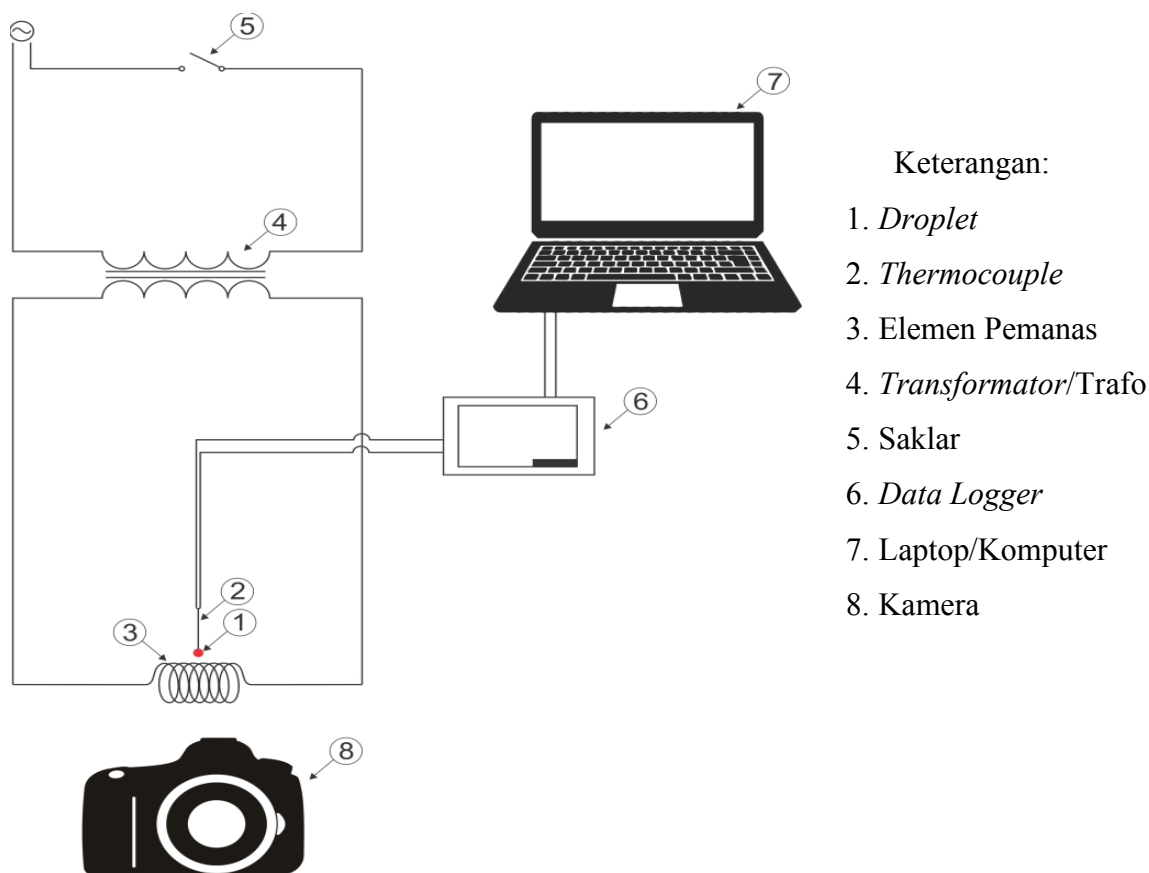
Katalis yang digunakan pada penelitian ini untuk mempercepat reaksi pembakaran.

3. Minyak Jarak

Bahan bakar minyak nabati yang dipakai untuk penelitian pembakaran *droplet*. Spesifikasi kimia ditunjukkan oleh tabel 2.1. Spesifikasi fisiknya ditunjukkan oleh tabel 2.2.

3.5 Skema instalasi alat penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian kemudian disusun sesuai skema instalasi sesuai gambar 3.9 berikut



Gambar 3.9 Instalasi alat penelitian

Pada Gambar 3.9 *Droplet* (1) terpasang pada *thermocouple* (2) yang disambungkan ke *data logger* (6). *Data logger* berfungsi mengubah data yang didapatkan dari *thermocouple* yang berupa data *analog* menjadi data yang bersifat *digital* sehingga dapat terbaca pada sistem computer (7) yang digunakan. *Droplet* diletakkan 4 cm di atas *heater* (3) yang tersambung dengan *transformator* (4) dan saklar (5) yang berfungsi mengatur tegangan *heater*. Kemudian api hasil pembakaran direkam dengan kamera (8) untuk di analisis karakteristiknya.

3.6 Prosedur pengambilan data

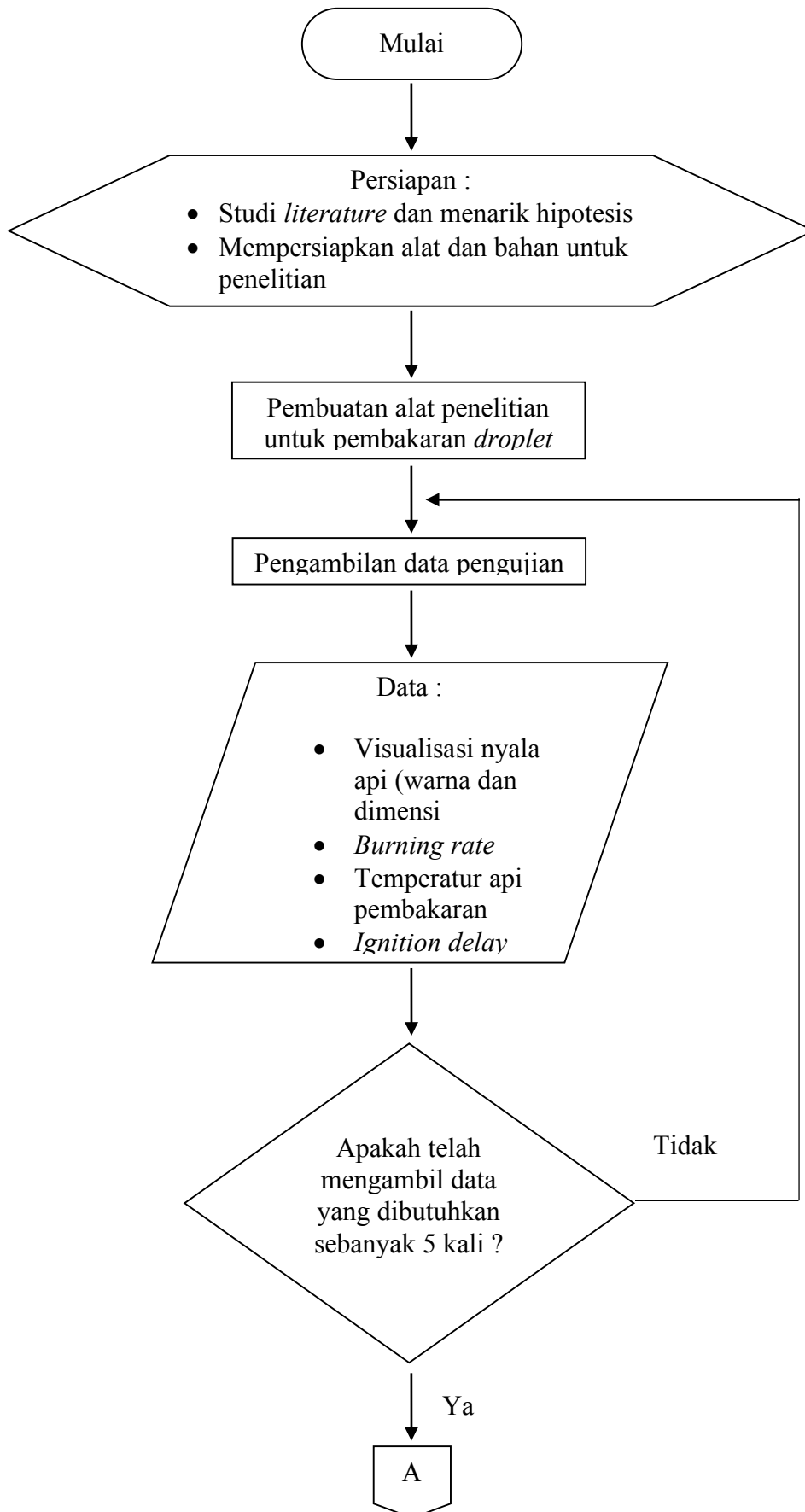
Prosedur Pengambilan data meliputi hal-hal berikut :

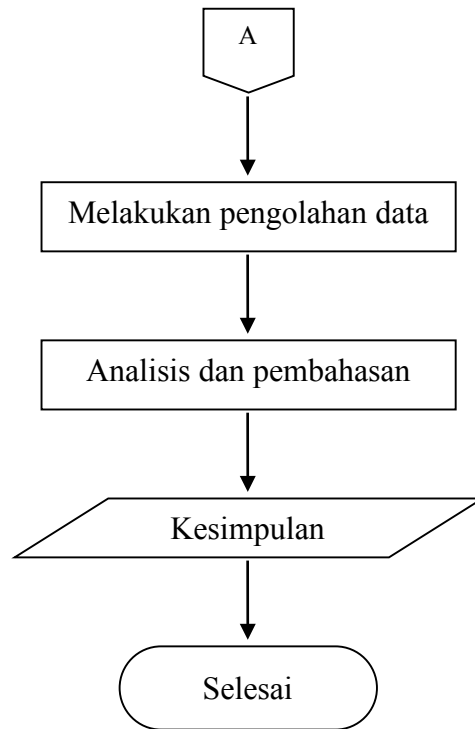
- Proses pembuatan *droplet* campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh.
 - a. Minyak jarak dicampur secara mekanik di dalam gelas ukur dengan katalis minyak cengkeh dengan presentase massa 0 ppm, 100ppm, 200 ppm, 300 ppm, dan 400 ppm.

- b. Masukkan campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh ke dalam *syringe* yang telah dimodifikasi (*gambar 3.6*) yang digunakan sebagai pembuat *droplet*.
 - c. Mengatur banyaknya *droplet* yang dikeluarkan dengan cara memutar bagian masing-masing kepala *syringe* yang telah dimodifikasi tersebut sebanyak satu skala pada *syringe* tersebut.
 - d. Beri tekanan pada pangkal *syringe* hingga terbentuk *droplet* pada ujung jarumnya.
 - e. Untuk pembentukan *droplet* selanjutnya pastikan bahwa ujung jarum suntik bersih.
- Proses pembuatan droplet campuran minyak jarak dengan Rhodium (III) Sulfat.
 - a. Minyak minyak jarak dicampur secara mekanik di dalam gelas ukur dengan Rhodium (III) Sulfat dengan persentase masing-masing Rhodium (III) Sulfat 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, dan 400 ppm.
 - b. Masukkan campuran minyak jarak dengan Rhodium (III) Sulfat ke dalam *syringe* yang telah dimodifikasi yang digunakan sebagai pembuat *droplet*.
 - c. Masukkan campuran minyak jarak dengan Rhodium (III) Sulfat ke dalam *syringe* yang Mengatur banyaknya *droplet* yang dikeluarkan dengan cara memutar bagian masing-masing kepala *syringe* yang telah dimodifikasi tersebut sebanyak satu skala pada *syringe* tersebut.
 - d. Beri tekanan pada pangkal *syringe* hingga terbentuk *droplet* pada ujung jarumnya.
 - e. Untuk pembentukan *droplet* selanjutnya pastikan bahwa ujung jarum suntik bersih.
 - Prosedur pengambilan data.
 - a. Atur dan pasang semua alat-alat penelitian pada ruang pengujian bakar *droplet* sesuai dengan skema penelitian yang terdapat pada *gambar 3.9*.
 - b. Pasang kamera (8) di depan ruang uji bakar *droplet* untuk melihat *droplet* (1) dengan jarak 20 cm dan fokus hingga gambar ujung *thermocouple* (2) jelas tergambar pada layar kamera.
 - c. Hubungkan *thermocouple* (2) ke *data logger* (6) setelah itu hubungkan *datalogger* (6) ke laptop/komputer (7).

- d. Nyalakan laptop/komputer (7), kemudian mulai jalankan *software data logger* untuk membaca data *analog* dari *thermocouple* (2) dan *data logger* (6).
- e. Bentuk *droplet* (1) dari alat pembentuk *droplet* dan letakkan *droplet* (1) pada ujung *thermocouple* (2).
- f. Ambil gambar *droplet* (1) sebelum dibakar.
- g. Klik tombol *start* pada program DAQNav 4.0.3.4 yang ada pada laptop/komputer (7) dan *record*.
- h. Tekan tombol rekam pada kamera (8) bersamaan dengan menyalakan elemen pemanas (3) dengan menekan tombol nyala pada saklar (5).
- i. Matikan saklar (5) sesaat setelah api menyala dan hentikan proses merekam pada kamera (8) sesaat setelah api mati.
- j. Klik *stop* pada program DAQNav 4.0.3.4 yang ada pada laptop/komputer (7) lalu pilih *Save as*.
- k. Data yang terbaca pada aplikasi DAQNav 4.0.3.4 yang ada pada komputer (7) kemudian disimpan dalam bentuk tabel dan grafik untuk kemudian dilakukan proses pengolahan data.
- l. Gambar yang terekam kamera (8) diolah untuk memperoleh visualisasi gambar api setiap proses penyalaan api hingga api mati.
- m. Ulangi prosedur untuk setiap variasi pengujian.

3.7 Diagram alir penelitian





BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil penelitian

Data yang diambil dari penelitian ini merupakan data karakteristik dari campuran minyak jarak dengan berbagai variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat masing-masing sebesar 0 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, dan 400 ppm. Data didapatkan melalui perekaman nyala api dimensi, *burning lifetime* dan *data logger*.

4.1.1 Diameter *droplet*

Pada penelitian ini, *droplet* yang terbentuk dari alat pembentuk *droplet* berukuran 1 mm. *Droplet* digantungkan pada *thermocouple* yang berjarak 3 mm di atas *heater*.

Tabel 4.1

Data diameter *droplet*

<i>Sample</i>	Diameter <i>Droplet</i> (mm)
Minyak Jarak (<i>Crude</i>)	1.174
Minyak Jarak + Cengkeh 100 ppm	1.147
Minyak Jarak + Cengkeh 200 ppm	1.015
Minyak Jarak + Cengkeh 300 ppm	1.021
Minyak Jarak + Cengkeh 400 ppm	1.012
Minyak Jarak + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm	1.045
Minyak Jarak + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm	1.015
Minyak Jarak + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm	1.003
Minyak Jarak + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm	1.015
Minyak Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm	1.046
Minyak Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm	1.009
Minyak Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm	1.013
Minyak Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm	1.038

4.1.2 Tabel Data Hasil Penelitian

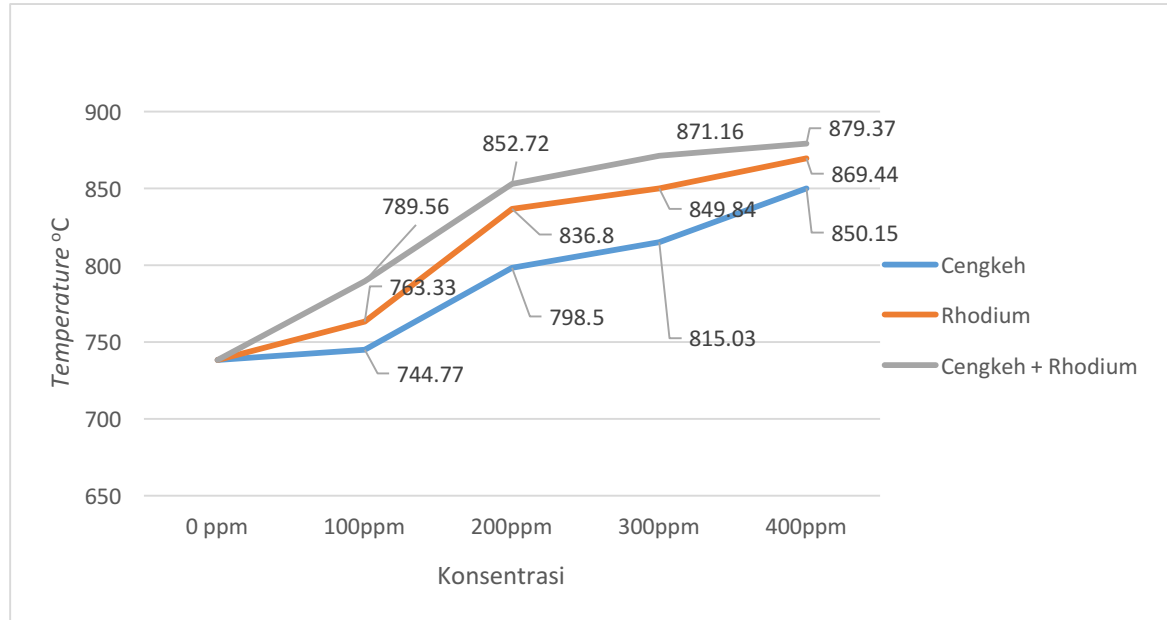
Tabel 4.2

Data *burning life* hasil pembakaran *droplet*

<i>Sample</i>	<i>Burning life (s)</i>
Minyak Jarak (<i>Crude</i>)	2.24
Minyak Jarak + Cengkeh 100 ppm	2.09
Minyak Jarak + Cengkeh 200 ppm	2.03
Minyak Jarak + Cengkeh 300 ppm	2.02
Minyak Jarak + Cengkeh 400 ppm	2
Minyak Jarak + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm	1.26
Minyak Jarak + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm	1.18
Minyak Jarak + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm	1.16
Minyak Jarak + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm	1.15
Minyak Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm	1.25
Minyak Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm	1.19
Minyak Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm	1.18
Minyak Jarak + Cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm	1.15

4.2 Analisis dan pembahasan

4.2.1 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (iii) Sulfat terhadap temperatur reaksi pembakaran *droplet* minyak jarak



Gambar 4.1 Perbandingan pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap temperatur pembakaran *droplet* minyak jarak

Pada gambar 4.1 menunjukkan pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap temperatur api pembakaran *droplet* minyak jarak.

Dari gambar 4.1 data temperatur yang diperoleh dari proses pembakaran yaitu *crude* adalah 738.19 °C, 100 C adalah 744.77.04 °C, 200 C adalah 798.5 °C, 300 C adalah 815.03 °C, 400 C adalah 850.15 °C, 100 R adalah 763.33°C, 200 R adalah 836.81 °C, 300 R adalah 849.84 °C, 400 R adalah 869.44 °C, 100 C+R adalah 789.56 °C, 200 C+R adalah 852.72 °C, 300 C+R adalah 871.16 °C, dan 400 C+R adalah 879.37 °C. Dari data yang diperoleh nilai temperatur semakin meningkat seiring penambahan katalis baik itu minyak cengkeh maupun Rhodium (III) Sulfat. Cara mencari temperatur api dapat di lihat pada lampiran 5.

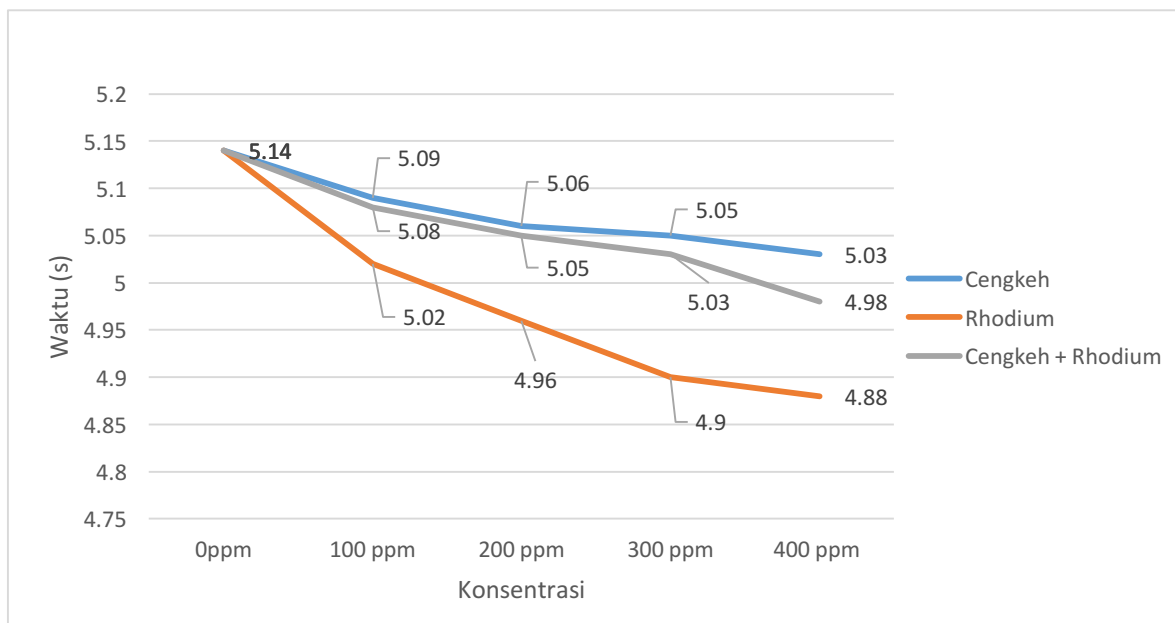
Temperatur pembakaran yang naik disebabkan oleh kemampuan katalis untuk mempercepat terjadinya reaksi sehingga tumbukan antar molekul yang bermuatan dan gerakan acak dari atom semakin cepat. Hal ini menyebabkan proses oksidasi yang cepat dan berdampak pada kenaikan temperatur pembakaran.

Pada campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat memiliki *temperature* yang lebih tinggi karena pada visualisasi nyala api terlihat jelaga, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Jelaga terbentuk karena aglomerasi atom. Secara umum hidrokarbon aromatik memiliki kecenderungan tertinggi untuk membentuk jelaga. Minyak cengkeh termasuk dalam senyawa aromatik. (Wardana, 2008)



Gambar 4.2 Jelaga pada campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat

4.2.2 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap *ignition delay* pembakaran *droplet* minyak jarak



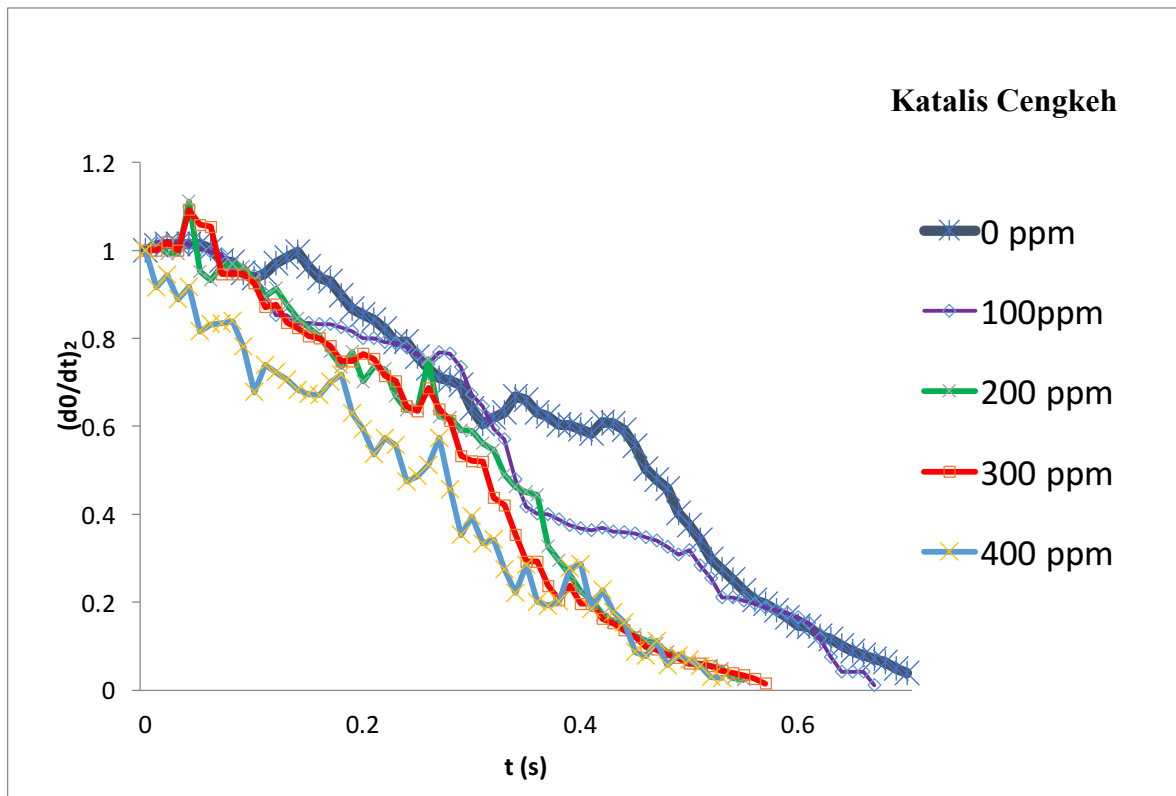
Gambar 4.3 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap *ignition delay* pembakaran *droplet* minyak jarak

Pada gambar 4.3 menunjukkan pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap *ignition delay* pembakaran *droplet* minyak jarak. Dari grafik 4.3 dapat di lihat *ignition delay* dari proses pembakaran yaitu *crude* adalah 5.14s, 100 C adalah 5.09s, 200 C adalah 5.06s, 300 C adalah 5.05s, 400 C adalah 5.03s, 100 R adalah 5.02s, 200 R adalah 4.96s, 300 R adalah 4.9s, 400 R adalah 4.88s, C+R 100 adalah 5.08s, C+R 200 adalah 5.05s, C+R 300 adalah 5.03s, dan C+R 400 adalah 4.98s. Dari data yang ada, 400 R memiliki nilai *ignition delay* yang paling rendah. Nilai *ignition delay* penambahan minyak cengkeh maupun Rhodium (III) Sulfat sama-sama cenderung menurun seiring dengan bertambahnya katalis.

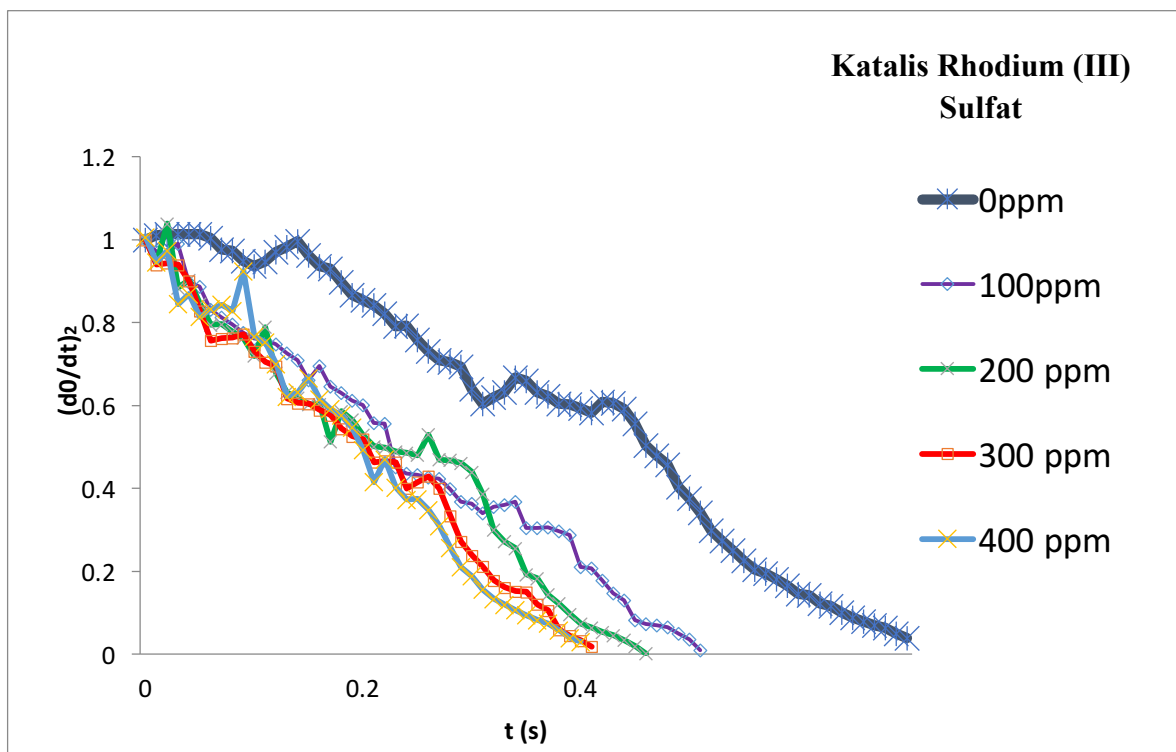
Sesuai dengan landasan teori minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat akan mempercepat reaksi pembakaran karena menimbulkan gaya elektromagnetik yang mengganggu elektron yang terdapat pada jarak dan oksigen sehingga energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mereaksikan bahan bakar dan oksigen akan semakin berkurang.

Nilai *ignition delay* yang dihasilkan oleh Rhodium (III) Sulfat menunjukkan bahwa Rhodium (III) Sulfat lebih efektif dalam mempengaruhi *ignition delay*. Hal ini terjadi karena Rhodium (III) Sulfat lebih memberikan efek dalam menurunkan energi aktivasi pembakaran yang menyebabkan pembakaran terjadi relatif terjadi lebih cepat dikarenakan Rhodium (III) Sulfat mempunyai lebih banyak medan magnet dalam satu atom yang mengganggu ikatan atom minyak jarak dibanding dengan minyak cengkeh.

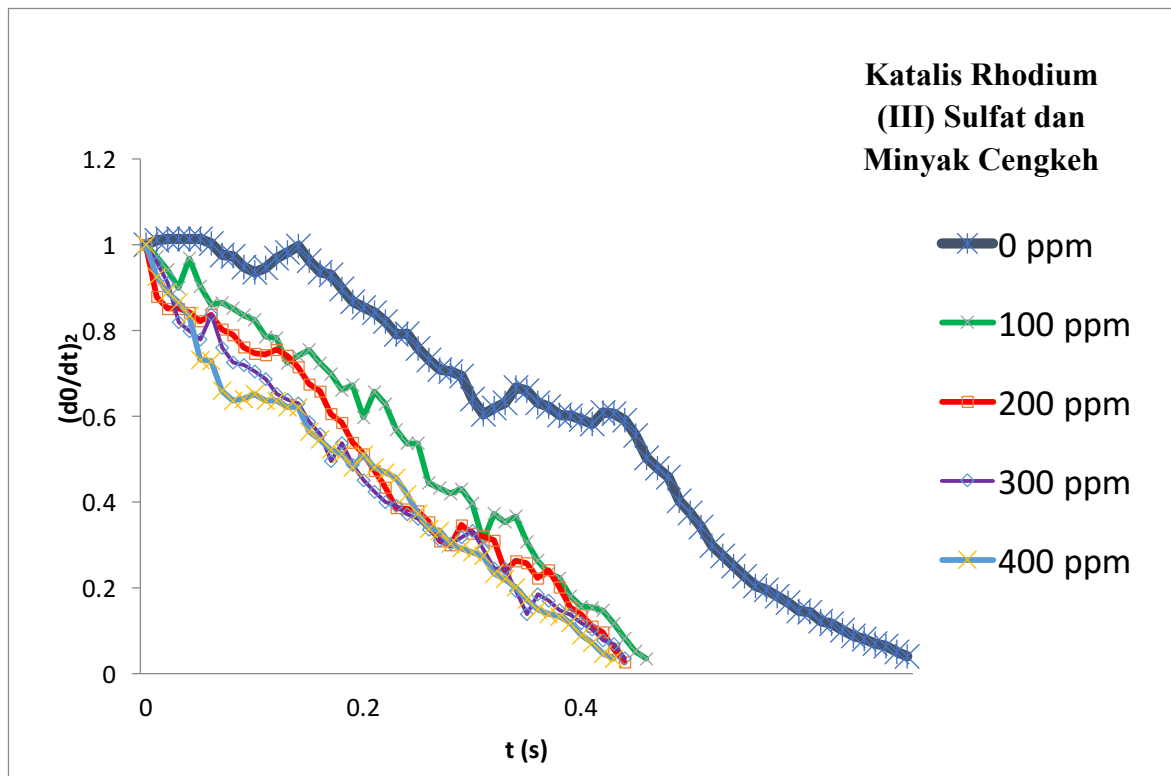
4.2.3 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap *burning rate* pembakaran *droplet* minyak jarak



Gambar 4.4 Pengaruh penambahan minyak cengkeh terhadap *burning rate* pada pembakaran *droplet* minyak jarak



Gambar 4.5 Pengaruh penambahan Rhodium (III) Sulfat terhadap *burning rate* pada pembakaran *droplet* minyak jarak



Gambar 4.6 Pengaruh penambahan cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap *burning rate* pada pembakaran *droplet* minyak jarak

Pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 menunjukkan pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap *burning rate* pembakaran *droplet* minyak jarak.

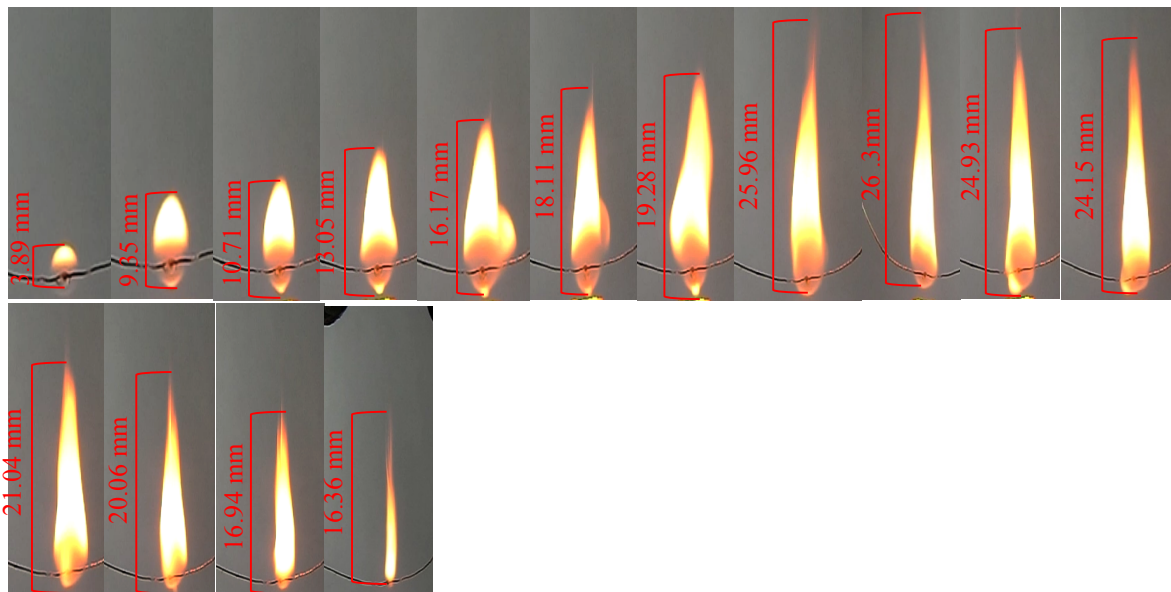
Dari data *burning rate* yang dihasilkan maka dapat disimpulkan bahwa seiring dengan penambahan minyak cengkeh maupun Rhodium (III) Sulfat maka reaksi pembakaran semakin cepat. Ini sesuai dengan yang terdapat pada landasan teori. Penambahan minyak cengkeh maupun Rhodium (III) Sulfat mampu mengurangi energi aktivasi yang dibutuhkan untuk mereaksikan oksigen dengan minyak jarak. Jadi, pembakaran akan semakin cepat terjadi.

Nilai *burning rate* yang dihasilkan oleh Rhodium (III) Sulfat menunjukkan bahwa Rhodium (III) Sulfat lebih efektif dalam mempengaruhi *burning rate*. Rhodium (III) Sulfat lebih memberikan efek lebih daripada minyak cengkeh dikarenakan mempunyai lebih banyak medan magnet dalam satu atom yang mengganggu ikatan atom minyak jarak dibanding dengan minyak cengkeh.

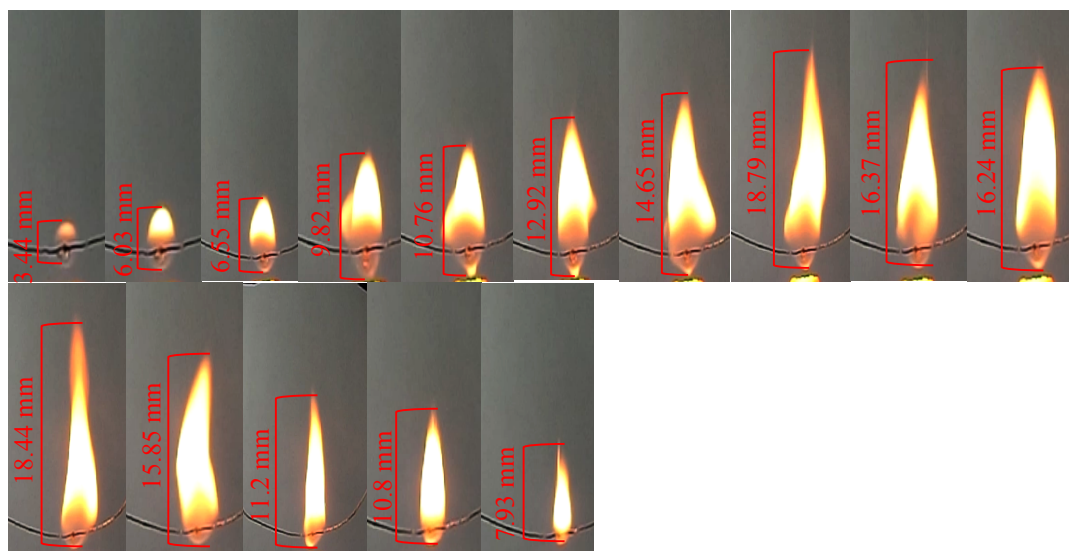
Penyusun minyak cengkeh juga berpengaruh dalam *burning rate*. Gliserol menurut Wardana (2008) akan terbakar pada akhir pembakaran dikarenakan memiliki titik nyala api lebih tinggi dibandingkan penyusun lainnya.

4.2.4 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap visualisasi api pembakaran *droplet* minyak jarak

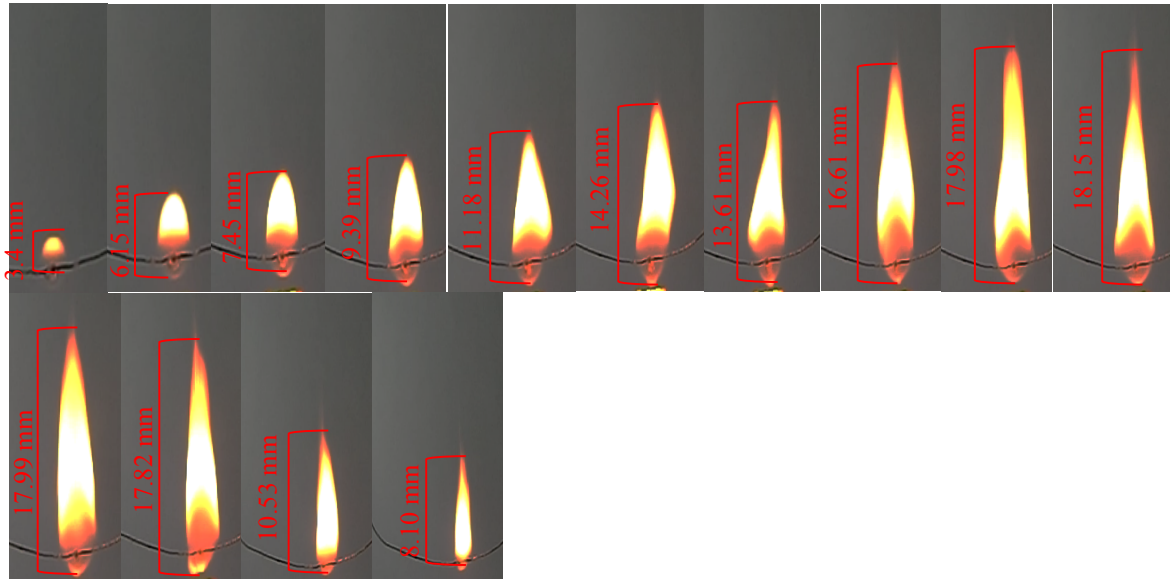
Berikut visualisasi nyala api *droplet* minyak jarak dengan penambahan katalis minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat pada saat $t = 0, 8, 20, 28, 31, 38, 41, 55, 59, 60, 63, 71, 76, 78,$ dan 79 sekon.



Gambar 4.7 Visualisasi api pada minyak jarak murni



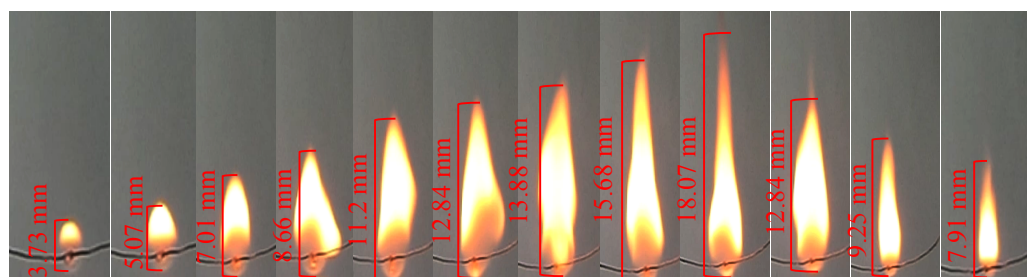
Gambar 4.8 Visualisasi api pada minyak jarak + cengkeh 100 ppm



Gambar 4.9 Visualisasi api pada minyak jarak + cengkeh 200 ppm



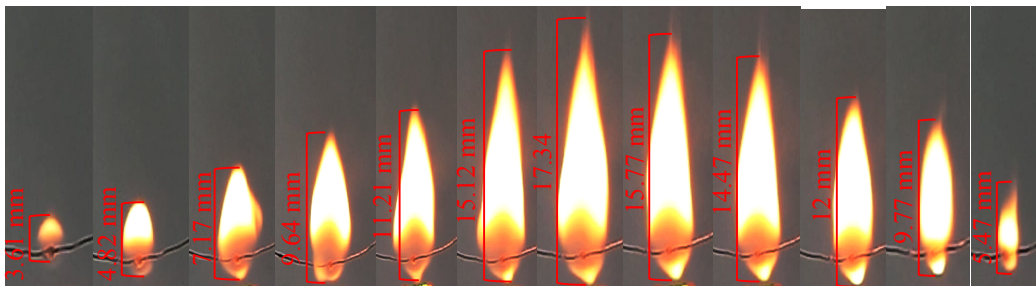
Gambar 4.10 Visualisasi api pada minyak jarak + cengkeh 300 ppm



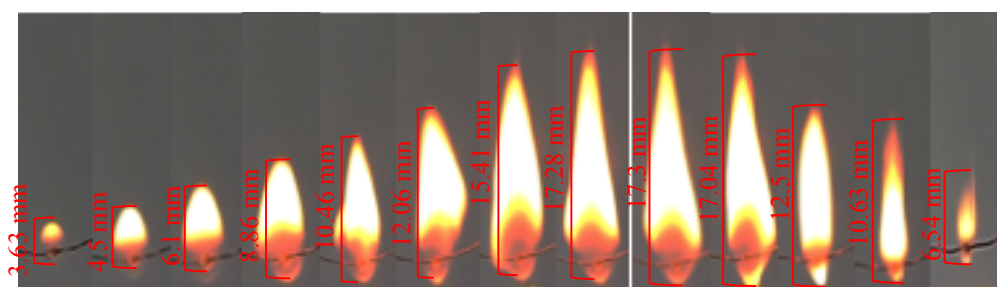
Gambar 4.11 Visualisasi api pada minyak jarak + cengkeh 400 ppm



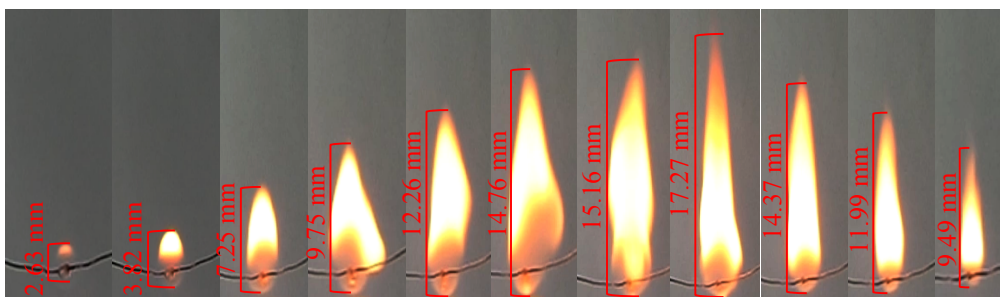
Gambar 4.12 Visualisasi api pada minyak jarak + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm



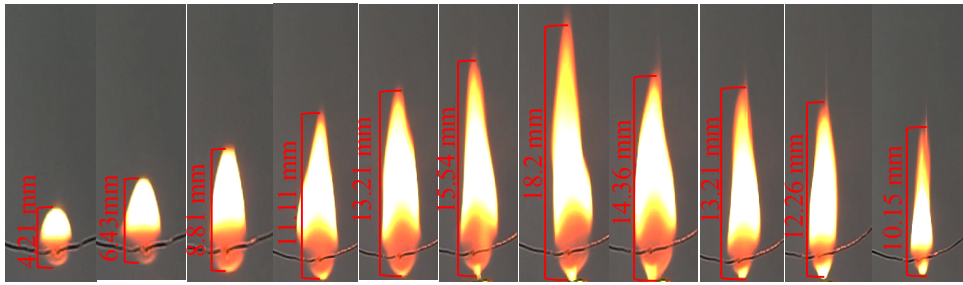
Gambar 4.13 Visualisasi api pada minyak jarak + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm



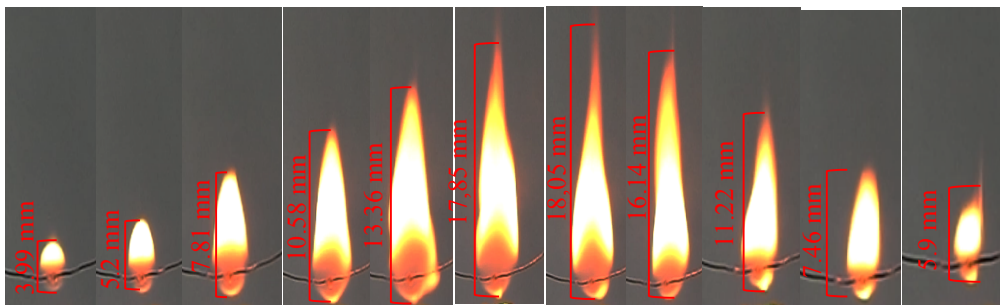
Gambar 4.14 Visualisasi api pada minyak jarak + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm



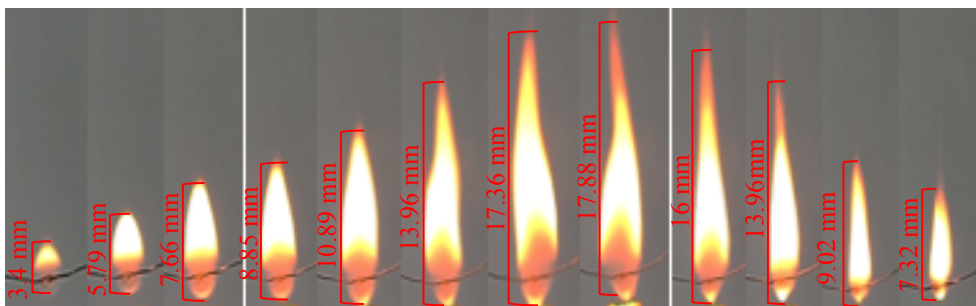
Gambar 4.15 Visualisasi api pada minyak jarak + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm



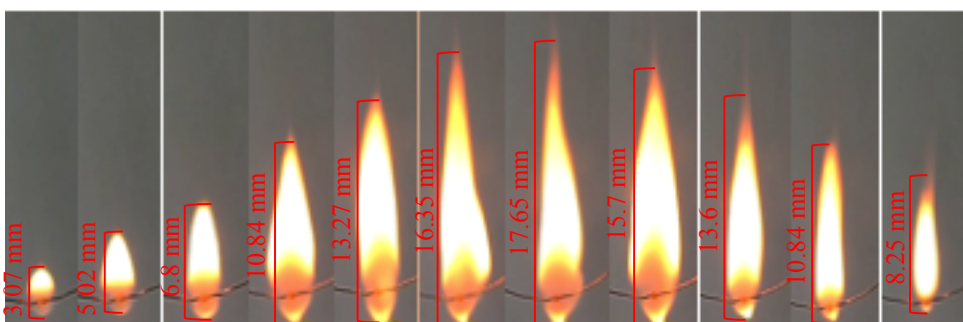
Gambar 4.16 Visualisasi api pada minyak jarak + minyak cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 100 ppm



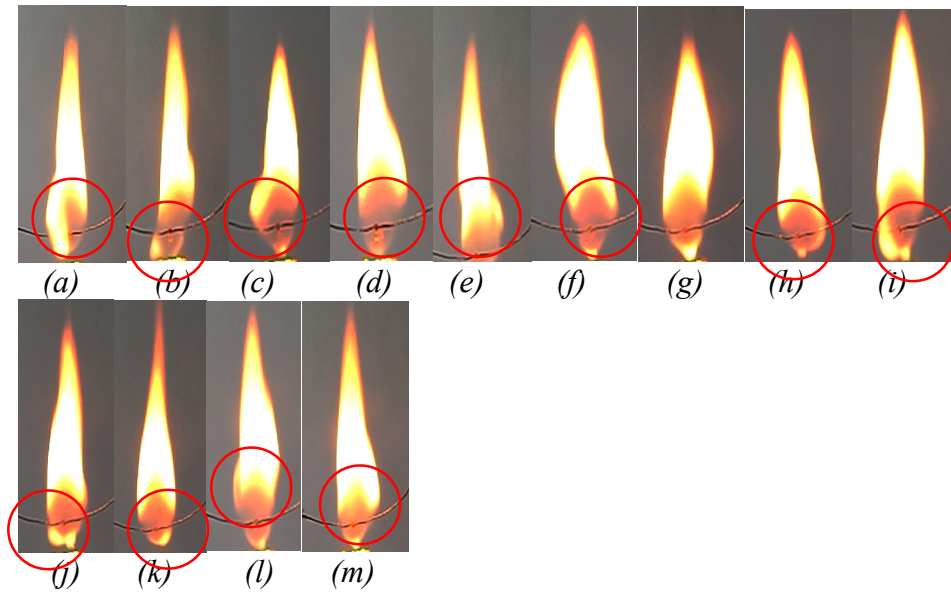
Gambar 4.17 Visualisasi api pada minyak jarak + minyak cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 200 ppm



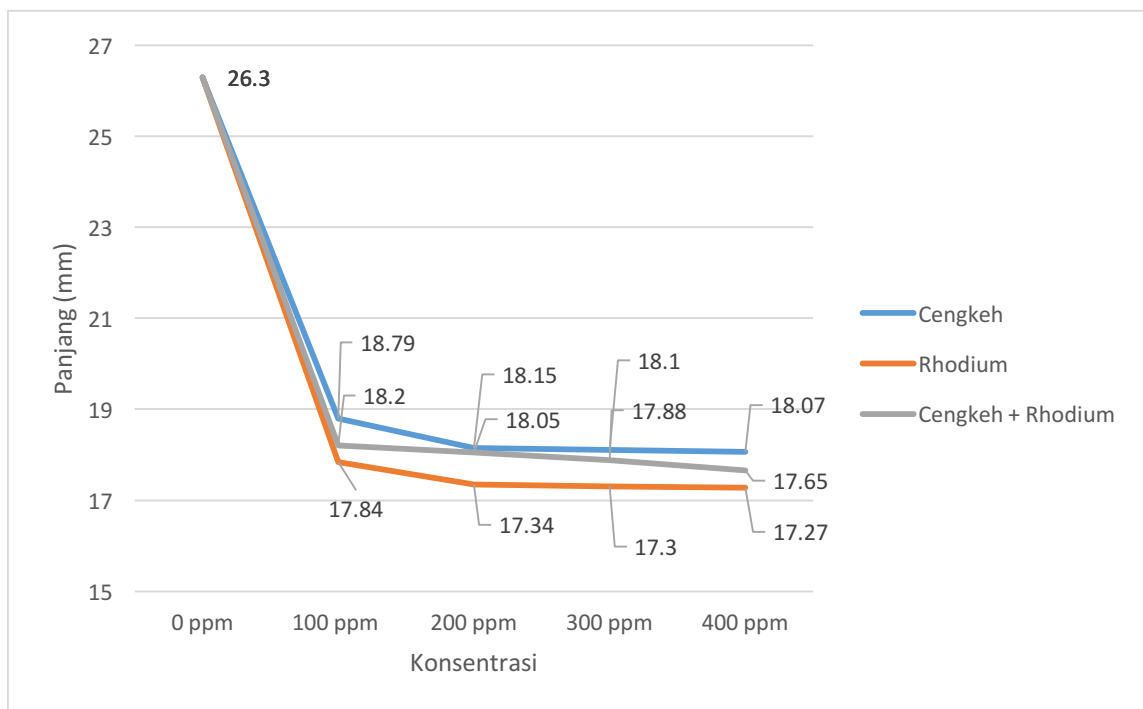
Gambar 4.18 Visualisasi api pada minyak jarak + minyak cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 300 ppm



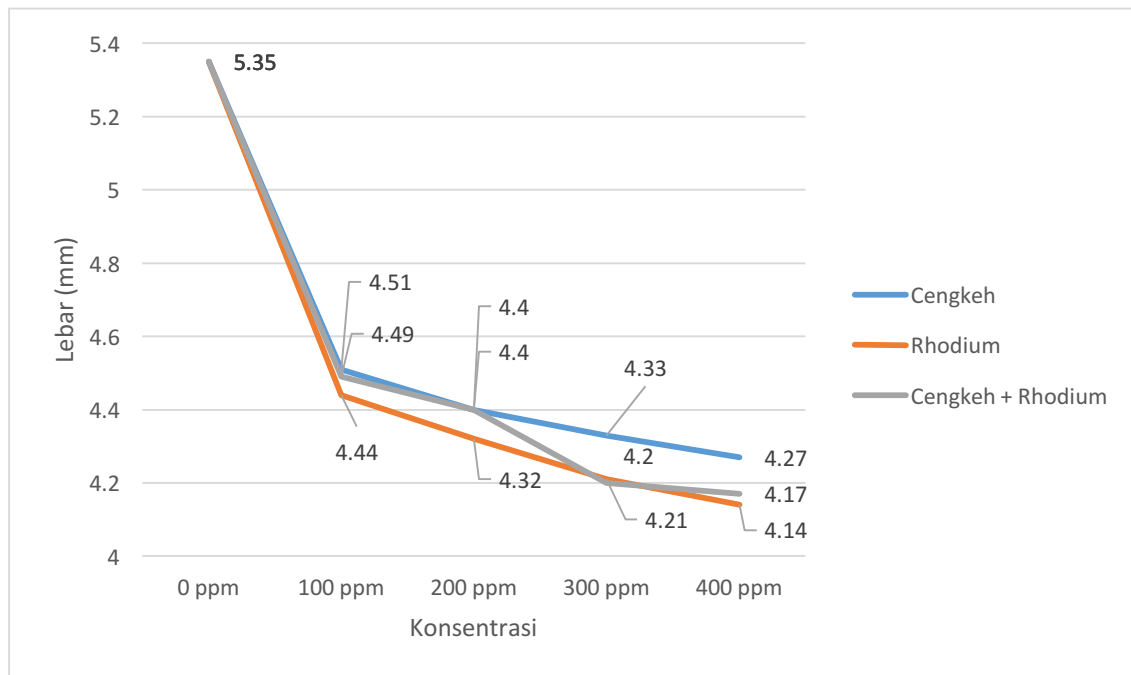
Gambar 4.19 Visualisasi api pada minyak jarak + minyak cengkeh + Rhodium (III) Sulfat 400 ppm



Gambar 4.20 Perbandingan visualisasi api dengan (a) *Crude* (b) 100 C (c) 200 C (d) 300 C (e) 400 C (f) 100 R (g) 200 R (h) 300 R (i) 400 R (j) C+R 100 (k) C+R 200 (l) C+R 300 (m) C+R 400 ppm



Gambar 4.21 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap panjang api pembakaran *droplet* minyak jarak



Gambar 4.22 Pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap lebar api pembakaran *droplet* minyak jarak

Gambar 4.7 sampai dengan 4.19 adalah hasil visualisasi dari proses pembakaran *droplet* minyak jarak murni maupun dengan katalis. Pada perubahan tinggi dan lebar api minyak jarak yang ditambahkan Rhodium (III) Sulfat cenderung lebih stabil dibandingkan dengan penambahan minyak cengkeh.

Pada gambar 4.21 menunjukkan pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap panjang api pembakaran *droplet* minyak jarak. Dari gambar 4.21 didapatkan hasil dimensi panjang api yaitu *crude* adalah 26.3 mm, 100C adalah 18.79 mm, 200C adalah 18.15 mm, 300C adalah 18.10 mm, 400C adalah 18.07 mm, 100R adalah 17.84 mm, 200 R adalah 17.34 mm, 300 R adalah 17.30 mm, 400R adalah 17.27, C+R100 adalah 18.2 mm, C+R 200 adalah 18.05 mm, C+R 300 adalah 17.88 mm, dan C+R 400 adalah 17.65 mm. Dari data diatas minyak cengkeh memiliki panjang api yang lebih panjang dibandingkan dengan campuran minyak jarak dengan Rhodium (III) Sulfat. Minyak jarak murni memiliki panjang yang paling besar.

Pada gambar 4.22 menunjukan pengaruh variasi penambahan minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat terhadap lebar api pembakaran *droplet* minyak jarak. Dari gambar 4.22 didapatkan hasil dimensi lebar api yaitu *crude* adalah 5.35 mm, 100C adalah 4.51 mm, 200C adalah 4.40 mm, 300C adalah 4.33 mm, 400C adalah 4.27 mm, 100R adalah 4.44 mm, 200R

adalah 4.32 mm, 300R adalah 4.21 mm, 400R adalah 4.14, C+R100 adalah 4.49 mm, C+R200 adalah 4.44 mm, C+R 300 adalah 4.20mm, dan C+R 400 adalah 4.17 mm. Dari data diatas Rhodium (III) Sulfat memiliki lebar api yang lebih pendek dibandingkan dengan campuran minyak jarak dengan minyak cengkeh. Minyak jarak murni memiliki lebar api yang paling besar.

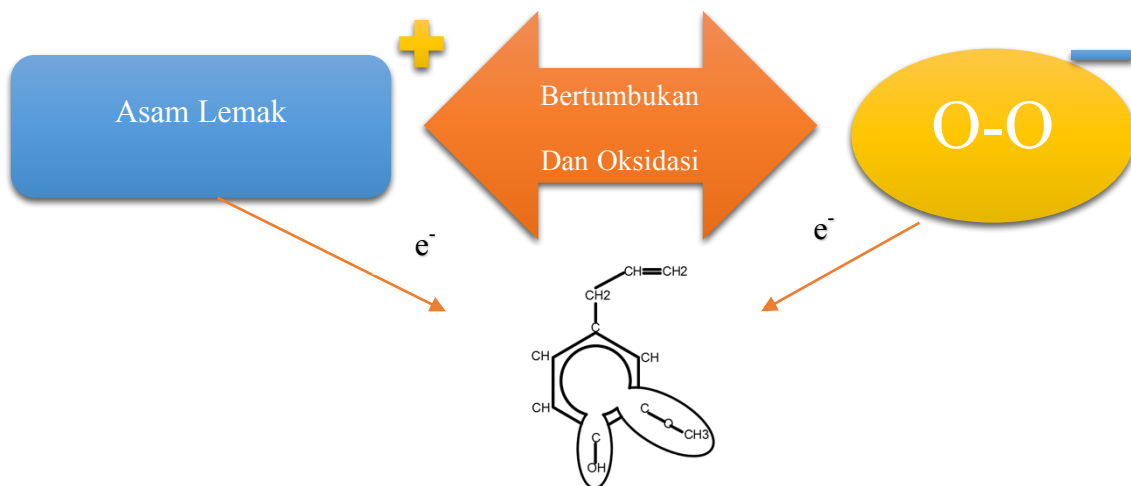
Dapat diamati proses pembakaran yang cepat dapat membuat tinggi api yang di hasilkan semakin kecil. Ini di karenakan panjang api berbanding terbalik dengan difusitas molekular (Wardana, 2008:190). Semakin tinggi persentase minyak cengkeh maupun Rhodium (III) Sulfat yang ditambahkan pada minyak jarak maka laju reaksi pembakarannya akan meningkat. Semakin meningkat laju reaksi pembakaran maka waktu nyala api yang dihasilkan relatif singkat sehingga panjang api yang dihasilkan semakin menurun.

Rhodium (III) Sulfat lebih memberikan efek dalam menurunkan dimensi panjang api dikarenakan lebih mempunyai lebih banyak medan magnet dalam satu atom yang mengganggu ikatan atom minyak jarak dibanding dengan minyak cengkeh yang ditunjukkan dengan nilai dimensi api yang semakin menurun juga dengan di lakukannya hasil uji viskositas pada lampiran 4.

Pada gambar 4.20 diambil data gambar dari *microexplosion droplet* minyak jarak pada setiap konsentrasi katalis. Dapat diamati dalam gambar bahwa dalam beberapa konsentrasi terjadi *microexplosion* yang menyebabkan perubahan dimensi api yang membuat api tidak stabil pembakarannya. *Microexplosion* terjadi dikarenakan perbedaan kecepatan pada titik-titik reaksi pada area *droplet*. Terjadinya *microexplosion* akibat perbedaan *boiling point* antara penyusun minyak jarak. Penyusun minyak jarak telah habis terbakar dan yang tersisa yaitu gliserol. Gliserol menurut Wardana (2008) akan terbakar pada akhir pembakaran dikarenakan memiliki titik nyala api lebih tinggi dibandingkan penyusun lainnya.

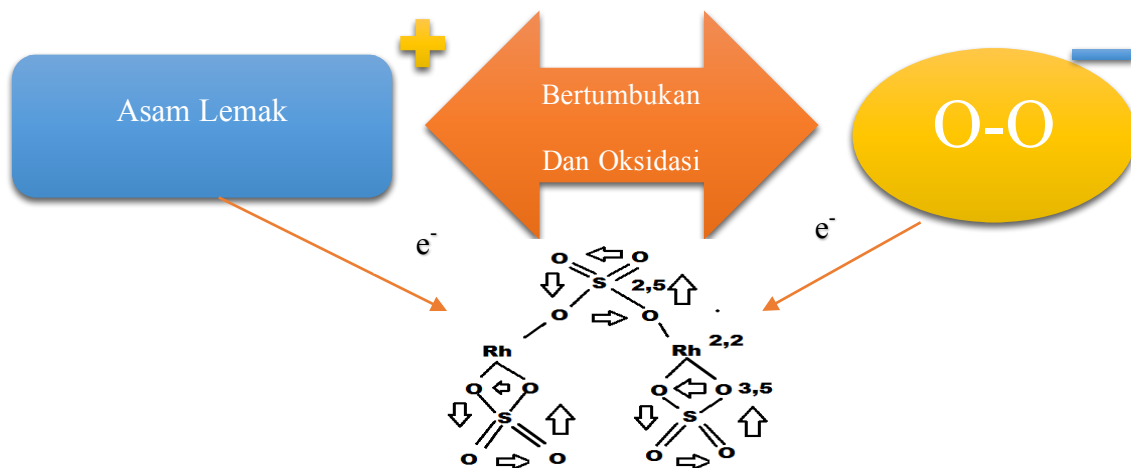
Seiring dengan penambahan minyak cengkeh maupun Rhodium (III) Sulfat semakin besar kecepatan reaksi pembakaran. Hal ini terjadi karena minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat akan mempercepat reaksi pembakaran karena menimbulkan induksi elektromagnetik yang mengganggu elektron yang terdapat pada minyak jarak dan oksigen.

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.



Gambar 4.23 Ilustrasi cara kerja minyak cengkeh dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak jarak

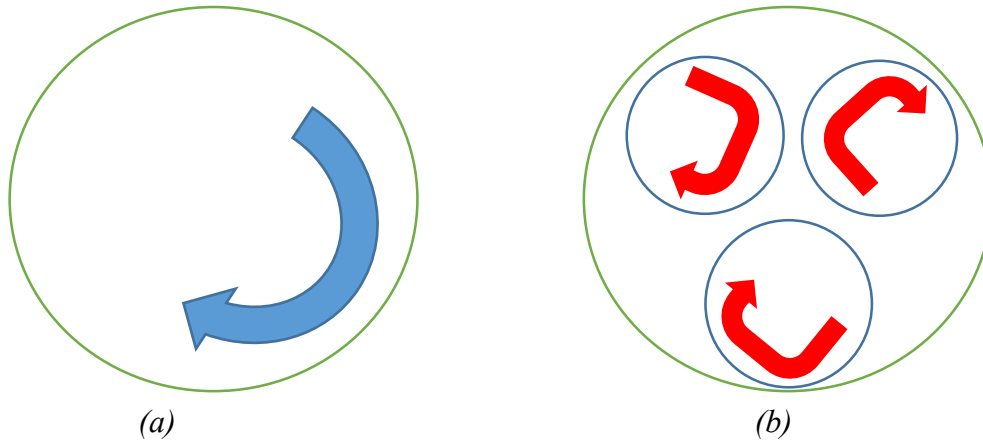
Pada Rhodium (III) Sulfat induksi magnet yang ditimbulkan menyebabkan molekul asam lemak dan oksigen bermuatan. Dengan pemutusan ikatan rangkap maupun ikatan tunggal yang ada pada asam lemak. Hal ini menyebabkan asam lemak dan oksigen bertumbukan. Kedua katalis sama-sama menyebabkan tumbukan antara molekul oksigen dengan asam lemak. Hal ini menyebabkan turunnya energi aktivasi yang dibutuhkan untuk reaksi pembakaran. Sehingga reaksi pembakaran yang terjadi akan semakin cepat. Seperti pada gambar 4.23 dan 4.24.



Gambar 4.24 Ilustrasi cara kerja Rhodium (III) Sulfat dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak jarak

Induksi magnet Rhodium (III) Sulfat yang ditimbulkan lebih besar daripada minyak cengkeh karena mempunyai lebih banyak medan magnet dalam satu atom yang

mengganggu ikatan atom minyak jarak dibanding dengan minyak cengkeh. Seperti pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Ilustrasi resonansi (a) minyak cengkeh dan (b) Rhodium (III) Sulfat dalam mempengaruhi reaksi pembakaran minyak jarak

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari analisa dan pembahasan data penelitian mengenai pengaruh penambahan minyak cengkeh maupun Rhodium (III) Sulfat terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan katalis minyak cengkeh dan Rhodium (III) Sulfat mempengaruhi karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak. Penambahan katalis dapat menurunkan dimensi api, menaikkan temperatur, mempercepat reaksi pembakaran dan waktu *ignition delay* semakin singkat.
2. Rhodium (III) Sulfat lebih efektif dalam mempengaruhi karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak di banding dengan katalis minyak cengkeh dan campuran kedua katalis tersebut. Dengan nilai *ignition delay* tertinggi sebesar 4.88s di bandingkan dengan minyak cengkeh 5.03s. Kemudian dari dimensi api pada katalis Rhodium (III) Sulfat panjang dan lebar api masing-masing 17.27mm dan 4.14mm, nilai ini lebih rendah dari katalis cengkeh yang mempunyai panjang dan lebar masing-masing 18.07mm dan 4.27mm.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian *droplet* selanjutnya dapat digunakan kamera yang mempunyai fps lebih besar agar perekaman visualisasi nyala api dapat terekam dengan lebih jelas.
2. Untuk penelitian selanjutnya digunakan katalis pembanding lain yang tersedia di alam dan dengan harga yang relatif lebih murah.
3. Untuk penelitian karakteristik pembakaran selanjutnya dengan menggunakan katalis agar ditingkatkan konsentrasinya sehingga bisa ditentukan tingkat maksimal dari suatu katalis dalam mempengaruhi karakteristik pembakaran *premix* maupun difusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S.S. (2011). *A Theoretical Study of Liquid Droplet Combustion*. India: Aligarh Muslim University.
- Andi. (2016). *Pengaruh Penambahan (Rhodium) pada Pembakaran Droplet Minyak Jarak Pagar Terhadap Karakteristik Pembakaran*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Blue Ocean Solutions* (2015). *Introduction to Emulsified Fuel*. <http://www.blueoceansoln.com> (diakses 13 April 2018).
- Chang, R. (2006). *Kimia Dasar: Konsep – Konsep Inti, Jilid Satu*. Jakarta: Erlangga.
- Gates, B. C. (1992). *Catalitic Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Handayani, N. A., dkk. (2001). *Biodiesel Production from Kapok (Ceiba Pentandra) Seed Oil Using Naturally Alkaline Catalyst as an Effort of Green Energy and Technology*. Jurnal Internasional. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, hlm. 169-173.
- Hendry, Y. Nanlohy (2018). *The effect of Rh^{3+} catalyst on the combustion characteristics of crude vegetable oil droplets*. Jurnal Internasional. Malang: Fakultas Teknik Mesin Universitas Brawijaya. hlm. 220-232.
- Hoxie, A., Schoo, R., Braden, J. (2014). *Microexplosive Combustion Behavior of Blended Soybean Oil and Butanol Droplets*. Fuel 120. Duluth: Elsevier. hlm. 22-29.
- Kadarohman, Asep. (2009). *Eksplorasi Minyak Atsiri Sebagai Bioaditif Bahan Bakar Solar*. *Jurnal Pengajaran MIPA*. 14/2.
- Mishra, D.P. (2014). *Experimental Combustion: an Introduction*. Boca Raton: CRC Press.
- Noroyono. (2017). *Penambahan Karbon Aktif Dengan Rhodium Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Kapuk Randu*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Quintere, J.G. (1998). *Principles of Fire Behavior*. New York: Delmar.
- Wardana, I.N.G. (2008). *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya-Brawijaya University Press.
- Wijayanti, F. E. (2008). *Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Sumber Bahan Baku Produksi Metil Ester*. Jakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.
- Zeng, Y. & Lee, C.F. (2007). *Modelling of Micro-explosion for Multicomponent Droplets*. Champaign: University of Illinois.