



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET* BAHAN BAKAR BIODIESEL
DARI MINYAK NABATI (*CRUDE VEGETABLE OIL*) MINYAK KELAPA
(*COCOS NUCIFERA*) BERKATALIS CANGKANG TELUR AYAM**

SKRIPSI

Oleh

**Ganesha Dwi Widiyanto
171910101078**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JEMBER
2024**



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET* BAHAN BAKAR BIODIESEL
DARI MINYAK NABATI (*CRUDE VEGETABLE OIL*) MINYAK KELAPA
(*COCOS NUCIFERA*) BERKATALIS CANGKANG TELUR AYAM**

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1
Teknik Mesin dan mencapai gelar Sarjana Teknik

SKRIPSI

Oleh

**Ganesha Dwi Widiyanto
171910101078**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JEMBER
2024**

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrohim, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah atas curahan rahmat nikmat hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis dalam bentuk skripsi ini dengan baik dan lancar. Untuk halaman persembahan ini penulis ingin berterima kasih serta memberikan atau mempersembahkan karya tulis atau skripsi ini khususnya kepada:

1. Untuk kedua orang tua saya Alm. Bapak Slamet Soesanto dan Alm. Ibu Anny Mustikawatie.
2. Almamater tercinta Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Iwan Taruna, M.Eng., IPM. selaku Rektor Universitas Jember
4. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, ST.MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
5. Bapak Dr.Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Jember
6. Bapak Dr. Ir. Andi Sanata, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang selalu memberi arahan untuk kelancaran penulisan skripsi ini.
7. Ibu Ir. Intan Hardiatama, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. selaku dosen penguji
8. Teman-teman seperjuangan S1 Teknik Mesin yang selalu memberi semangat dan dukungan.

MOTTO

“Hidup yang dijalani dalam ketakutan adalah hidup yang setengah hidup”
(*Ganesha Dwi Widiyatnto*)

“Kebesaran seseorang bukan diukur dari seberapa banyak kekayaannya, tapi integritas dan kemampuannya untuk memengaruhi sekitar secara positif”
(*Bob Marley*)

Dan segala sesuatu Kami ciptakan berpasang-pasangan agar kamu mengingat
(kebesaran Allah)
(*QS. Az Zariyat: 49*)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ganesha Dwi Widiyanto

NIM : 171910101078

Menyatakan dengan sesungguhnya bahawa tesis yang berjudul: “KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET* BAHAN BAKAR BIODIESEL DARI MINYAK NABATI (*CRUDE VEGETABEL OIL*) MINYAK KELAPA (*COCOS NUCIFERA*) BERKATALIS CANGKANG TELUR AYAM” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 25 Januari 2024

Yang menyatakan,

Ganesha Dwi Widiyanto

NIM. 171910101078

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET* BAHAN
BAKAR BIODIESEL DARI MINYAK NABATI (*CRUDE
VEGETABLE OIL*) MINYAK KELAPA (*COCOS NUCIFERA*)
BERKATALIS CANGKANG TELUR AYAM**

Oleh:
Ganesha Dwi Widiyanto
NIM 171910101078

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Andi Sanata S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul Karakteristik Pembakaran *Droplet* Bahan Bakar Biodiesel Minyak Kelapa (*Crude Vegetable Oil*) Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera*) Berkatalis Cangkang Telur telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik, Universitas Jember pada:

Hari : Senin
Tanggal : 22 Januari 2024
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing	Tanda Tangan
1. Pembimbing Utama Nama : Dr. Ir. Andi Sanata, S.T., M.T. NIP : 197505022001121001	(.....)
2. Pembimbing Anggota Nama : Ir. Dwi Djumhiyanto, M.T. NIP : 196008121998021001	(.....)
Penguji	
1. Penguji Utama Nama : Ir. Intan Hardiatama, S.T., M.T. NIP : 198904282019032021	(.....)
2. Penguji Anggota Nama : Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. NIP : 196709241994121001	(.....)

RINGKASAN

KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *DROPLET* BAHAN BAKAR BIODIESEL DARI MINYAK NABATI (*CRUDE VEGETABLE OIL*) MINYAK KELAPA (*COCOS NUCIFERA*) BERKATALIS CANGKANG TELUR AYAM; Ganesha Dwi Widiyanto, 171910101078;2024; 54 Halaman; STRATA 1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Latar belakang penelitian ini didasarkan pada kebutuhan bahan bakar alternatif terbarukan biodiesel menjadi perhatian khusus terkait dengan krisis bahan bakar fosil saat ini. Biodiesel menghasilkan polutan pembakaran yang lebih ramah lingkungan, dan menghasilkan karbon monoksida, sulfur dioksida, serta unburned hydrocarbon yang jauh lebih rendah daripada bahan bakar diesel dari fosil. Minyak nabati mentah (*Crude Vegetable Oil/CVO*) dari biji tanaman nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) merupakan salah satu sumber bahan bakar alternatif terbarukan yang dapat dikonversi menjadi biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik pembakaran droplet bahan bakar biodiesel minyak kelapa dengan menambahkan cangkang telur ayam. Variasi penambahan cangkang telur ayam yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut: 2% dan 7% dari volume minyak, dan katalis KOH sebagai pembanding. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental.

Hasil dari penelitian ini yang telah dilakukan pengujian karakteristik pembakaran droplet menghasilkan karakteristik nyala api yang paling bagus pada variasi katalis 7%. Hasil visualisasi nyala api droplet pada variasi katalis 7% adalah nyala api yang paling stabil, nyala api berwarna kuning dan didekat area droplet terdapat nyala api berwarna biru, dan umur nyala api pada variasi 7% yaitu 1308 ms. Temperatur pada saat proses pembakaran droplet paling tinggi terdapat pada variasi katalis 7% yaitu 593 °C. Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya komposisi katalis pada biodiesel akan mendapatkan nilai temperatur yang tinggi dan umur nyala api yang panjang.

SUMMARY

COMBUSTION CHARACTERISTICS OF DROPLET BIODIESEL FUEL FROM VEGETABLE OIL (CRUDE VEGETABLE OIL) COCONUT OIL (COCOS NUCIFERA) CATALYZED WITH CHICKEN EGG SHELLS;

Ganesha Dwi Widiyanto, 171910101078;2024; 54 Halaman; STRATA 1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

The background to this research is that the need for renewable alternative fuel, biodiesel, is of particular concern in relation to the current fossil fuel crisis. Biodiesel produces combustion pollutants that are more environmentally friendly and produces much lower carbon monoxide, sulfur dioxide, and unburned hydrocarbons than fossil diesel fuel. Crude Vegetable Oil (CVO) from the seeds of the sampling plant (*Calophyllum Inophyllum*) is a renewable alternative fuel source that can be converted into biodiesel. This research aims to analyze the combustion characteristics of coconut shell biodiesel fuel droplets by adding chicken egg shells. Variations in the addition of chicken egg shells used in this research were as follows: 2% and 7% of the oil volume, and KOH catalyst as a comparison. This research uses experimental methods.

The results of this research, which has carried out testing of droplet combustion characteristics, produce the best flame characteristics at a catalyst variation of 7%. The visualization results of the droplet flame at the 7% catalyst variation are the most stable flame, the flame is yellow and near the droplet area there is a blue flame, and the flame lifetime at the 7% variation is 1308 ms. The highest temperature during the droplet combustion process is found in the 7% catalyst variation, namely 593 °C. This research can conclude that increasing the catalyst composition in biodiesel will result in high-temperature values and long flame life.

PRAKATA

Segala puji bagi Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga atas kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Karakteristik Pembakaran *Droplet* Bahan Bakar Biodiesel dari Minyak Nabati (*Crude Vegetable Oil*) Minyak Kelapa (*Cococs Nucifera*) Berkatalis Cangkang Telur Ayam”. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) dengan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan, bantuan dan kerjasama kepada :

1. Kedua orang tua saya Alm. Bapak Slamet Soesanto dan Alm. Ibu Anny Mustikawatie.
2. Bapak Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak Dr.Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Ir. Andi Sanata, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama.
5. Bapak Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota.
6. Ibu Ir. Intan Hardiatama, S.T., M.T. selaku dosen penguji.
7. Bapak Ir. Hari Arbiantara Basuki, S.T., M.T. selaku dosen penguji.
8. Almamater tercinta Universitas Jember
9. Rekan dan teman mahasiswa S1 Teknik Mesin

Skripsi ini masih kurang sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran senantiasa penulis harapkan demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini dapat berguna serta memberikan manfaat bagi pembaca.

Jember, 25 Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN.....	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
SKRIPSI.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY.....	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Biodiesel.....	5
2.3 Karakteristik Biodiesel.....	7
2.4 Minyak Nabati.....	8
2.5 Kelapa (<i>Cocos Nucifera</i>).....	9
2.6 Katalis.....	11
2.7 Cangkang Telur Ayam	11
2.8 Pembakarn.....	12
2.9 Pembakaran <i>Droplet</i>	13
2.10Karakteristik Pembakaran <i>Droplet</i>	14
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	17

3.1 Metode Penelitian.....	17
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.3 Alat dan Bahan	17
3.4 Skema Instalasi Penelitian.....	18
3.5 Variabel Penelitian	19
3.6 Metode Pengambilan Data	19
3.7 Data Penelitian	21
3.8 Diagram Alir Penelitian	22
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Hasil Penelitian	23
4.1.1 Proses Pencampuran Katalis	23
4.1.2 Data Sifat Fisika	24
4.1.3 Pembakaran	25
4.1.4 Stabilitas Nyala Api.....	26
4.1.5 Temperatur	26
4.2 Pembahasan.....	28
4.2.1 Visualisasi Nyala Api.....	28
4.2.2 Karakteristik Temperatur Pembakaran <i>Droplet</i>	29
BAB 5. PENUTUP.....	31
5.1 Kesimpulan.....	31
5.2 Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi asam lemak minyak kelapa.....	10
Tabel 4.1 Tabel sifat fisika minyak kelapa	24
Tabel 4.2 Karakteristik biodiesel minyak kelapa.....	24
Tabel 4.3 Ledakan mikro variasi katalis biodiesel minyak kelapa	26
Tabel 4.4 Umur nyala api variasi katalis biodiesel minyak kelapa.....	26
Tabel 4.5 Temperatur variasi katalis biodiesel minyak kelapa.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Reaksi transesterifikasi trigliserida	6
Gambar 2.2 Trigeliserida	9
Gambar 2.3 Kelapa.....	9
Gambar 2.4 Minyak kelapa.....	10
Gambar 2.5 Segitiga nyala api	12
Gambar 2.6 Model nyala api <i>droplet</i>	13
Gambar 2.6 Model nyala api <i>droplet</i>	13
Gambar 3.1 Skema alat penelitian	18
Gambar 3.2 Grafik temperatur pembakaran <i>droplet</i> biodiesel minyak kelapa variasi katalis terhadap waktu	21
Gambar 3.3 Visualisasi nyala api pembakaran <i>droplet</i> biodiesel minyak kelapa variasi katalis	21
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian	22
Gambar 4.1 Visualisasi nyala api biodiesel minyak kelapa katalis KOH	29
Gambar 4.2 Visualisasi nyala api biodiesel minyak kelapa katalis CTA 2%	29
Gambar 4.3 Visualisasi nyala api biodiesel minyak kelapa katalis CTA 7%	29
Gambar 4.4 Grafik pengaruh variasi katalis pada biodiesel minyak kelapa	30

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan bahan bakar alternatif terbarukan biodiesel menjadi perhatian khusus terkait dengan krisis bahan bakar fosil saat ini (Nanlohy et al., 2020). Biodiesel menghasilkan polutan pembakaran yang lebih ramah lingkungan, dan menghasilkan karbon monoksida, sulfur dioksida, serta *unburned hydrocarbon* yang jauh lebih rendah daripada bahan bakar diesel dari fosil (Borges & Díaz, 2012). Minyak nabati mentah (*Crude Vegetable Oil/CVO*) dari biji tanaman nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) merupakan salah satu sumber bahan bakar alternatif terbarukan yang dapat dikonversi menjadi biodiesel (Hafidh Bachtiar et al., 2019; Pambudi et al., 2021).

Namun, penggunaan bahan bakar biodiesel pada umumnya dalam aplikasi proses pembakaran belum maksimal dikarenakan menghasilkan karbon dioksida penyebab pemanasan global, sehingga mempengaruhi kesehatan lingkungan (Nanlohy et al., 2018). Selain itu, proses konversi minyak nabati mentah menjadi biodiesel membutuhkan tambahan energi, biaya, dan bahan. Oleh karena itu diperlukan pengkajian ulang terhadap proses konversinya.

Minyak nabati mentah (*Crude Vegetable Oil/CVO*) dari biji tanaman nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) merupakan salah satu sumber bahan bakar alternatif terbarukan yang dapat dikonversi menjadi biodiesel (Raheem et al., 2015). Proses transesterifikasi adalah proses mengubah trigliserida yang ditambahkan alkohol menjadi ester dan glierol, maka senyawa dari ester itu adalah biodiesel (Hafidh Bachtiar et al., 2019). Dalam proses pembuatan biodiesel melalui proses konversi dengan metode transesterifikasi dilakukan pengoptimalan dengan bahan katalis. Bahan-bahan katalis yang umum digunakan adalah katalis basa yaitu NaOH dan KOH, dimana mudah larut dalam metanol, masing-masing membentuk natrium dan kalium metoksida (*sodium* dan *potassium methoxide*), dan merupakan spesies katalis yang memimpin reaksi sampai selesai (Borges & Díaz, 2012).

Beberapa penelitian tentang katalisasi pada proses transesterifikasi biodiesel telah banyak dilakukan, yaitu diantaranya, penelitian tentang penggunaan katalis heterogen $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan KOH/NaY untuk proses transesterifikasi *palm oil* (Noiroj et al., 2009). Penelitian tentang pengembangan katalis KOH dengan pendukung Al_2O_3 , dengan penggunaan katalis kalium oksida ($\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$) yang didukung dengan alumina untuk proses produksi biodiesel dari minyak biji karet (Karo et al., 2020). Penelitian tentang katalis NbOPO_4 dengan dimodifikasikan dengan kalium (K) untuk produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi (Nurhazanah et al., 2020).

Pada penelitian-penelitian tersebut, dari parameter reaksi yaitu seperti waktu reaksi, berat KOH , rasio molar minyak untuk metanol dan jumlah katalis yang dioptimalkan untuk produksi biodiesel, katalis $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 25 wt% dan KOH/NaY 10 wt% disini sebagai formula terbaik karena yield biodieselnnya sebesar 91% pada suhu dibawah $70\text{ }^\circ\text{C}$ (Noiroj et al., 2009). Sedangkan ada beberapa jenis katalis $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ disintesis dengan penjuenan KOH pada Al_2O_3 melalui metode impregnasi (*inception wetness*), katalis dikarakterisasi menggunakan *scanning elektron microscope/energy dispersive X-Ray* (SEM/EDX) menunjukkan bahwa katalis dari aluminium 36,41%, kalium 32,89% dan oksigen 30,7% (Karo et al., 2020), pada katalis NbOPO_4 yang telah dilakukan dengan pengujian *energy dispersive X-Ray* (EDX) menghasilkan impregnasi kalium ke katalis padat NbOPO_4 dengan oksigen 52,23%, fosfor 11,33%, kalium 1,42 % dan niobium 35% (Nurhazanah et al., 2020), dan lain-lain yang tentunya menghasilkan limbah kimia dengan dampak negatif pada lingkungan. Bahan-bahan katalis kimia tersebut pada umumnya mengandung unsur magnesium (Mg), nikel (Ni) dan alumina (Al_2O_3), sebagai unsur utama katalisator (Savitri et al., 2016). Unsur magnesium (Mg), nikel (Ni) dan alumina (Al_2O_3) tersebut, pada penelitian ini diusahakan diganti dengan bahan katalis dari bahan non kimia yaitu cangkang telur ayam yang juga mengandung unsur kalsium (Ca) tersebut, sehingga akan mengurangi dampak negatif pada proses konversi biodiesel. Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran *droplet* bahan bakar biodiesel dari minyak nabati mentah (*Crude Vegetable Oil*) minyak kelapa (*Cocos Nucifera*)

sebagai metode awal untuk mengetahui performa bahan bakar biodiesel hasil transesterifikasi dengan bahan katalis non kimia yaitu kalsium (Ca).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah yang didapat yaitu, sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan variasi massa katalis cangkang telur ayam pada proses transesterifikasi minyak kelapa terhadap temperatur pembakaran *droplet*?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan variasi massa katalis cangkang telur ayam pada proses transesterifikasi minyak kelapa terhadap visualisasi nyala api pembakaran *droplet*?

1.3 Batasan Penelitian

Penentuan batasan masalah untuk bertujuan agar penelitian dapat mencapai hasil yang ditetapkan. Batasan masalah penelitian ini untuk kondisi lingkungan pada saat penelitian diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penggunaan variasi massa katalis cangkang telur ayam pada proses transesterifikasi minyak kelapa terhadap temperatur pembakaran *droplet*.
2. Mengetahui pengaruh variasi massa katalis cangkang telur ayam pada proses transesterifikasi minyak kelapa terhadap visualisasi nyala api.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan bisa bermanfaat sebagai peningkatan ilmu pengetahuan dari energi terbarukan pada pembakaran *droplet*:

1. Menambah pengetahuan mengenai pengaruh variasi massa katalis cangkang telur ayam pada proses transesterifikasi minyak kelapa terhadap temperatur pembakaran *droplet*.
2. Menambah pengetahuan mengenai pengaruh variasi massa katalis cangkang telur ayam pada proses transesterifikasi minyak kelapa terhadap visualisasi nyala api.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian tentang studi perbandingan katalis $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan KOH/NaY untuk produksi biodiesel melalui transesterifikasi dari minyak sawit. Hasil penelitian tersebut transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel menggunakan KOH/NaY yang dimuat pendukung zeolit dan NaY sebagai katalis heterogen. Maka mempunyai jumlah kalium yang tercuci dari $\text{KOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ lebih tinggi dibandingkan dengan katalis KOH/NaY (Noiroj et al., 2009).

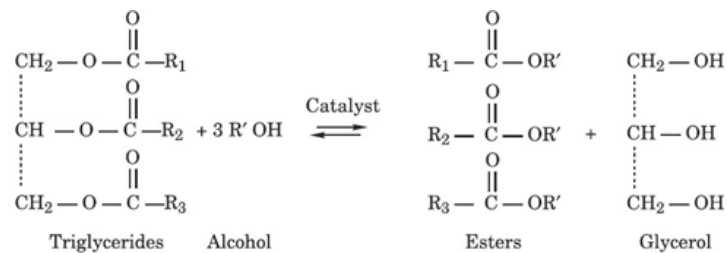
Pada penelitian ini akan membahas tentang konversi minyak biji karet menjadi biodiesel dengan kalium oksida alumina dengan katalis pendukung $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa katalis $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang diterapkan pada transesterifikasi minyak biji karet menjadi biodiesel memiliki hasil yang baik. Karena hasil katalis $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan perbandingan rasio 2,5:7,5 yaitu terdiri dari 36,41% alumina, 32,88% kalium, dan 30,70% oksigen (Karo et al., 2020).

Pada penelitian ini melakukan pada pembakaran *droplet* yang berkonsentrasi katalis yang dipilih dalam CVO adalah 10 ppm. Penelitian ini CVO yang digunakan adalah CCO, CJO, dan CSFO. Pada ketiga minyak tersebut mewakili minyak nabati tak jenuh dan jenuh. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh katalis yang lebih kuat terhadap senyawa polar CCO dan CSFO selama pembakaran yang ditunjukkan dengan pembesaran trigliserida yang lebih besar dibandingkan dengan rantai trigliserida mentah CJO (Nanlohy et al., 2018).

2.2 Biodiesel

Biodiesel sebagai energi terbarukan didefinisikan sebagai *fatty acid methyl ester* (FAME) atau biasanya disebut juga *fatty acid alkyl ester* (FAEE) (Muanruksa & Kaewkannetra, 2020). Biodiesel adalah campuran *fatty acid alkyl ester* yang diperoleh dari transesterifikasi (pertukaran ester) minyak nabati dan lemak hewani. Bahan baku minyak nabati atau lemak hewani tersusun oleh 90-98% trigliserida

dan sedikit mono dan diglisericida (Mata et al., 2010). Ada berbagai macam metode untuk menghasilkan produk biodiesel, seperti transesterifikasi, pirolisis, mikro emulsifikasi, dan *blending* (Zahan & Kano, 2018). Salah satu metode untuk memperoleh FAME adalah dengan esterifikasi katalitik dari asam lemak yang terkandung dalam minyak nabati dengan menggunakan metanol. Biodiesel diproduksi dari berbagai sumber triglisericida merupakan bahan bakar alternatif untuk minyak diesel. Biodiesel telah diterima sebagai bahan bakar dan bahan bakar tambahan di seluruh dunia. Umumnya biodiesel diproduksi dari sumber daya alam terbarui melalui proses transesterifikasi (Zahan & Kano, 2018).



Gambar 2.1 Reaksi transesterifikasi triglisericida (Mata et al., 2010)

Pada proses transesterifikasi, katalis NaOH atau KOH dan basa homogen biasanya digunakan untuk meningkatkan laju reaksi (Mata et al., 2010). Proses ini, akan menghasilkan *methyl ester* (jika triglisericida direaksikan dengan metanol) atau *ethyl ester* (jika triglisericida direaksikan dengan etanol). Reaksi ini juga menghasilkan produk samping berupa gliserol.

Biodiesel sangat potensial untuk dijadikan bahan bakar alternatif karena lebih dari 20% campurannya dapat digunakan hampir pada semua diesel engine tanpa perlu adanya modifikasi mesin (Knothe & Razon, 2017). Selain itu, biodiesel juga memiliki keunggulan lain berupa biodegradable, *non-toxic*, memiliki kadar emisi yang lebih rendah (kecuali NOx), nilai *flash point* yang lebih tinggi dibandingkan petro diesel, pelumasan yang sempurna serta ramah lingkungan (Muanruksa & Kaewkannetra, 2020).

2.3 Karakteristik Biodiesel

Bahan bakar motor diesel memiliki beberapa sifat karakteristik yang dapat mempengaruhi unjuk kerja. Berikut beberapa sifat karakteristik bahan bakar diesel:

2.3.1 Viskositas

Viskositas merupakan suatu nilai yang menyatakan besarnya hambatan aliran suatu zat cair. Viskositas disebabkan oleh adanya gaya kohesi atau gaya tarik menarik antara molekul sejenis. Semakin tinggi viskositas maka semakin kental zat cair tersebut sehingga semakin sukar untuk mengalir (Ramalingam et al., 2020). Salah satu parameter penting dalam menentukan bahan baku mutu biodiesel adalah viskositas kinematis. Pada dasarnya, bahan bakar harus memiliki viskositas yang relatif rendah agar mudah mengalir dan teratomisasi. Jika nilai viskositas terlalu tinggi maka akan menyebabkan gesekan di dalam pipa semakin besar, kerja pompa semakin berat, penyaringannya sulit dan kemungkinan besar kotoran ikut mengendap, serta susah mengabutkan bahan bakar (Mallah & Sahito, 2020).

2.3.2 Densitas

Massa jenis yaitu zat atau yang sering disebut densitas merupakan kuantitas konsentrasi dari suatu zat yang dinyatakan dalam massa persatuan volume. Temperatur dapat mempengaruhi nilai fisik densitas dari suatu zat. Semakin tinggi temperatur suatu zat maka kerapatan zat tersebut akan semakin rendah, hal ini dikarenakan molekul – molekul yang saling mengikat pada suatu zat akan terlepas. Kenaikan temperature suatu zat menyebabkan volume zat tersebut menjadi meningkat, sehingga hubungan densitas dengan volume suatu zat akan berbanding terbalik (Nath Tiwari et al., 2020)

2.3.3 Titik Nyala Api (*Flash Point*)

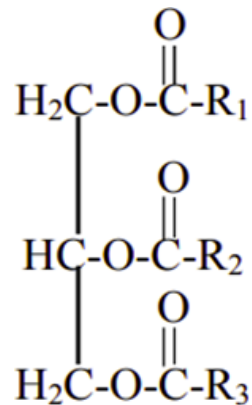
Titik nyala (*flash point*) adalah temperatur terendah di mana bahan bakar dapat menyala ketika bereaksi dengan udara. Apabila nyala terjadi secara terus menerus maka suhu tersebut dinamakan titik bakar (*fire point*). Semakin tinggi titik nyala dari suatu bahan bakar maka semakin aman penanganan dan penyimpanannya (Widyastuti, 2007).

2.4 Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan bahan bakar mesin diesel yang pertama kali ditemukan oleh Rudolf Diesel. Rudolf Diesel pertama mengadakan testing mesin dengan bahan bakar biodiesel dari minyak nabati. Salah satu kendala yang ditemukan adalah karakteristik biodiesel yang mempunyai nilai viskositas yang tinggi mencapai 20 kali lipat dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Cara menurunkan viskositas yang tinggi adalah dengan proses transesterifikasi *metil ester* nabati (FAME). Hal ini menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna dan kualitas atomisasi yang rendah dapat mempengaruhi pembakaran dalam ruang bakar motor diesel, atomisasi yang kurang baik akan menurunkan daya/tenaga mesin dan pembakaran mesin menjadi tidak sempurna. Tingginya titik nyala (*flash point*) minyak nabati dan gejala polimerisasi yang mengakibatkan terbentuknya endapan pada alat injeksi *nozzel*. Titik nyala minyak nabati antara 200 °C - 300 °C yang lebih tinggi dari biodiesel 176 °C (Suharto., 2017).

Minyak nabati adalah minyak yang dihasilkan dari lemak hewan maupun dari hasil pertanian seperti, minyak kelapa, minyak jagung, minyak nyamplung, minyak kedelai, minyak bunga matahari, minyak sawit, dan masih banyak lagi tumbuhan yang bisa digunakan sebagai bahan bakar biodiesel. Biodiesel dapat diproduksi dengan skala yang besar dan dapat dijadikan bahan baku produksi sumber energi yang ramah lingkungan dan mudah diperbarui. Sifat bahan bakar biodiesel yang dihasilkan dari minyak nabati ini sangat cocok digunakan sebagai pengganti minyak diesel. Akan tetapi, hal ini menyebabkan beberapa permasalahan seperti meningkatnya harga jual minyak nabati dan meningkatnya biaya produksi biodiesel (Julianti et al., 2014).

Hal-hal yang membedakan minyak nabati dan minyak hewan adalah pada temperatur kamar. Lemak yang berbentuk padat dan minyak yang bersifat cair. Campuran ester asam lemak dan gliserol biasa dinamakan dengan trigliserida. Gliserida merupakan gliserol yang mempunyai ikatan 3 asam lemak. Dari ketiga ikatan tersebut asam lemak yang berikatan gliserol dapat sama maupun berbeda. Struktur ikatan yang dimiliki trigliserida yaitu (Dewi, 2015):



Gambar 2.2 Trigeliserida (Dewi, 2015)

2.5 Kelapa (*Cocos Nucifera*)

Merupakan tanaman yang banyak dimanfaatkan oleh manusia. Terutama pada daging buah kelapa yang digunakan untuk konsumsi rumah tangga sehari-hari, juga dapat dibuat kopra dan minyak. Kandungan gizi yang terdapat pada buah kelapa adalah perseratus gram yaitu: protein 3,3 g, karbohidrat 15,23 g, vitamin C 3,3 mg, dan energi 350 mg. Luas areal tanaman kelapa yang ada di Indonesia pada tahun 2009 adalah 3.799.124 ha dengan produksi yang dihasilkan adalah 3.257.969 ton. Tahun 2010 luas areal sebesar 3.739.350 ha dengan hasil produksi 3.166.666 ton. Tahun 2011 luas areal sebesar 3.203.635 ton (Lobalohin et al., 2014)



Gambar 2.3 Kelapa (Lobalohin et al., 2014)

Pada gambar 2.3 di atas merupakan kelapa (*cocos nucifera*), tanaman dari genus *cocos* dan satu famili dengan kelapa sawit, merupakan salah satu yang minyak nya banyak diproduksi dari semua minyak nabati yang diproduksi dunia, yaitu hampir 20% dari total minyak nabati yang diproduksi. Tanaman ini banyak ditemukan di daerah tropis. Minyak kelapa diekstrak dari bagian kopra, daging

bagian dalam tempurung kelapa yang dikeringkan. Kopra memiliki kandungan minyak sekitar 65% (Hambali., 2007).



Gambar 2.4 Minyak kelapa (Budiman., 2017)

Minyak kelapa biasanya dihasilkan dari daging kelapa dan dilakukan ekstraksi kemudian dilakukan penyulingan untuk di ambil minyaknya. Minyak kelapa ini tidak mengandung daging kelapa sama sekali. Indonesia adalah salah satu negara penghasil VCO paling banyak, juga dihasilkan oleh Filipina, Myanmar, Sri Langka, India, dan beberapa negara tropis lain. Minyak VCO kini sudah disukai oleh banyak negara. Kemudian VCO adalah minyak kelapa yang dibuat dari bahan baku kelapa segar, diproses dengan pemanasan terkendali atau tanpa pemanasan sama sekali, tanpa bahan kimia. Penyulingan minyak kelapa tersebut berakibat kandungan senyawa-senyawa esensial yang dibutuhkan tubuh tetap utuh. Minyak kelapa murni dengan kandungan utama asam laurat ini memiliki sifat antibiotik, anti bakteri, dan jamur. Proses pembuatan minyak kelapa sehingga dihasilkan produk dengan kadar air dan kadar asam lemak bebas yang rendah, berwarna bening, berbau harum, serta mempunyai daya simpan yang cukup lama yaitu lebih dari 12 bulan (Budiman., 2017). Komposisi asam lemak kelapa dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Hambali., 2007).

Tabel 2.1 Komposisi asam lemak minyak kelapa

AsamLemak	Jumlah (%)
Asam Lemak Jenuh	
• Asam kaprat	0,4 – 0,6
• Asam kaprilat	6,9 – 9,4
• Asam kaprat	6,2 – 7,8
• Asam laurat	45,9 – 50,3
• Asam palmitat	7,7 – 9,7

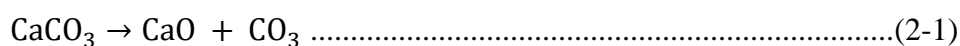
Asam Lemak	Jumlah (%)
Asam Lemak Jenuh	
• Asam stearat	2,3 – 3,2
Asam Lemak Tidak Jenuh	Jumlah (%)
• Asam oleat	5,4 – 7,4
• Asam linoleat	1,3 – 2,1

2.6 Katalis

Katalis merupakan zat yang mampu meningkatkan laju reaksi kimia agar reaksi tersebut dapat berjalan lebih cepat. Berdasarkan fasanya, katalis dibedakan menjadi dua yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang berada pada fase yang sama (*liquid*) dengan reaktan. Sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang berada pada fase yang berbeda dengan reaktannya (dapat berupa padatan, cairan yang tidak dapat bercampur ataupun gas) (Helwani et al., 2020)).

2.7 Cangkang Telur Ayam

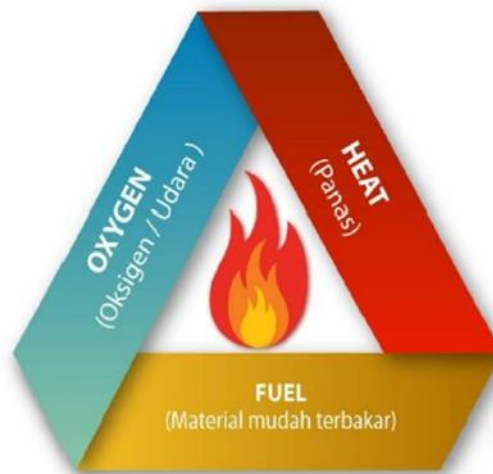
Di Indonesia mayoritas penduduknya mengonsumsi telur sebagai sumber protein hewani. Tiap tahunnya Indonesia menghasilkan hampir 170 ton limbah cangkang telur (Nuryantini et al., 2019). Pada penelitian (Correia et al., 2017) limbah cangkang telur memiliki komposisi CaO yang dihasilkan dari dekomposisi CaCO₃. CaO biasanya digunakan sebagai katalis pada degradasi zat warna berbahaya, bahan pengikat cat, dan lainlain. CaO merupakan katalis heterogen yang paling ideal dalam mendegradasi zat warna berbahaya. CaO memiliki luas permukaan yang tinggi, memiliki jumlah pori yang banyak pada permukaannya, dan memiliki nilai *yield* yang tinggi sebagai katalis (Awogbemi et al., 2020). Untuk dapat menghasilkan CaO murni dari limbah cangkang telur, diperlukan proses kalsinasi dengan menggunakan temperatur 900-1000 °C. Kalsinasi dengan temperatur tinggi diperlukan untuk mendapatkan dekomposisi CaCO₃ dari limbah cangkang telur menjadi CaO yang efektif dengan menggunakan reaksi eksotermik yang ditunjukkan pada reaksi dibawah ini.



2.8 Pembakaran

Pembakaran adalah suatu interaksi yang melibatkan proses kimia yang berupa termodinamika dan keadaan stokiometri lalu proses fisika yang berupa dinamika fluida dan juga perpindahan kalor dan massa. Pembakaran merupakan oksidasi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang menghasilkan produk berupa cahaya dan panas.

Syarat-syarat terjadinya pembakaran diatas dikenal juga dengan segitiga api. Ilustrasi dari segitiga api dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Segitiga nyala api

Dalam setiap proses pembakaran tidak lepas dari dua peristiwa yang pasti akan terjadi saat pembakaran yaitu terjadinya oksidasi antara bahan bakar dan udara terhadap waktu pembakaran yang menyebabkan perubahan komposisi spesies pada tingkat molekuler. Ikatan-ikatan molekul yang lemah terlepas, kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikat dilepas ke dalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur.

Berdasarkan kondisi campuran bahan bakar dengan oksigen, pembakaran dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu sebelum terjadi pembakaran. Keberhasilan dari pembakaran *premixed* dipengaruhi oleh faktor homogenitas campuran udara dan bahan bakar, dimana pembakaran pada campuran udara dan bahan bakar yang tidak homogen menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal.

2. Pembakaran difusi yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur sendiri secara alami melalui proses difusi selanjutnya baru terjadi pembakaran. Jenis pembakaran yang digunakan dalam penelitian ini adalah pembakaran difusi.

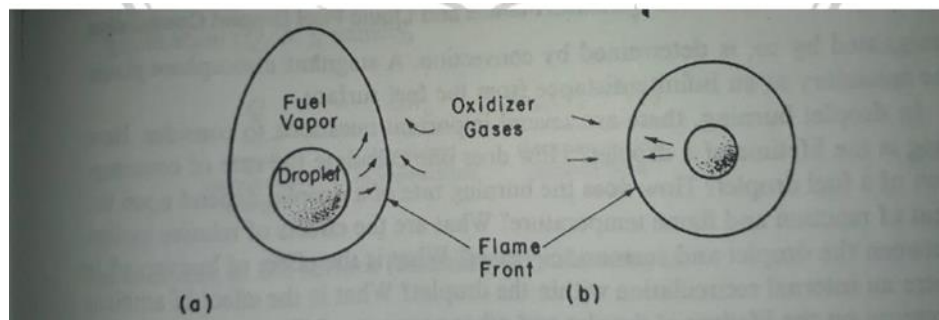
Pada proses pembakaran selalu diusahakan untuk terjadinya pembakaran yang sempurna, karena itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu:

1. Pencampuran udara dan bahan yang homogen.
2. Digunakan cukup udara dalam proses pembakaran.
3. Berat jenis bahan yang akan bakar.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.
5. Lamanya waktu pembakaran yang berhubungan dengan laju pembakaran.

2.9 Pembakaran *Droplet*

Pembakaran pada *droplet* termasuk *spray combustion*, yaitu bahan bakar disemprotkan hingga terbentuk butiran-butiran kecil (*droplet*). Dalam hal ini, model *spray combustion* dapat disederhanakan dengan asumsi bentuk pembakaran *droplet* individual (*single droplet combustion*). Proses pembakaran ini, *droplet* beravaporasi ketika dipanaskan dan uapkan bahan bakar berdifusi ke luar dan oksidator berupa udara berdifusi kedalam dari lingkungan sehingga membentuk nyala api (*flame front*).

Bentuk dari nyala api dapat berupa *spherical* atau *non-spherical* (memanjang). Bentuk nyala api yang berbentuk *spherical* terjadi ketika keadaan *zero gravity*. Untuk *droplet* berbentuk *non-spherical* (memanjang) terjadi akibat adanya efek gravitasi dan natural convection sehingga nyala api memanjang keatas.



Gambar 2.6 Model nyala api *droplet* (Jonh Wiley dan Sons, Inc, 1986)

Pembakaran pada *droplet* diawali dengan evaporasi *droplet* dan kemudian pembakaran terjadi pada garis kesetimbangan antar difusi uap bahan bakar dari permukaan *droplet* dan difusi oksigen ke dalam yang ditandai oleh reaksi sisi luar api pada jarak tertentu dari *droplet* (Waluyo et al., 2018).

2.10 Karakteristik Pembakaran *Droplet*

Terdapat beberapa karakteristik pembakaran *droplet* yang ada pada penelitian ini yaitu:

1. *Ignition Delay*

Ignition delay merupakan interval waktu dari awal pemanasan *heater* yang diletakkan pada bagian bawah *droplet* hingga nyala api dapat terlihat (Han et al., 2017). Jika dilakukan analisa lebih mendalam pada peristiwa *ignition delay*. *Ignition delay* bergantung pada properti fisik dan kimia bahan bakar serta karakteristik engine. *Ignition delay* dipengaruhi oleh efek fisik dari persiapan campuran bahan bakar (atomisasi, evaporasi, dan pencampuran dengan udara).

Ignition delay sangat dipengaruhi beberapa faktor, seperti jenis bahan bakar, kualitas bahan bakar (*cetane number*). *Cetane number* merupakan pengukuran kualitas pengapian pada *auto ignition* temperature. Semakin tinggi *cetane number* maka semakin pendek waktu *ignition delay* dan semakin baik kualitas pengapian (John Wiley & Sons, Inc, 1986).

Ignition delay menjadi hal yang sangat perlu diperhatikan karena semakin lama waktu *ignition delay*, akan membuat pembakaran menjadi tertunda dan menghasilkan lebih banyak gas emisi. *Ignition delay* juga dapat menyebabkan tekanan tinggi di ruang bakar dan mesin beroperasi lebih kasar sehingga mesin kehilangan daya yang besar.

2. *Burning Rate*

Burning rate merupakan salah satu karakteristik dari pembakaran *single droplet* yang akan mempengaruhi besarnya daya yang dihasilkan selama proses pembakaran. Semakin besar nilai *burning rate*, maka daya yang dihasilkan akan semakin besar (Waluyo et al., 2018).

Burning rate atau laju pembakaran merupakan kecepatan bahan bakar yang terbakar dengan udara hingga bahan bakar tidak tersisa atau habis. Nilai *burning rate* dari pembakaran *droplet* dapat dijelaskan melalui *d² – law* yang menyatakan diameter kuadrat dari *droplet* yang akan berkurang secara linier terhadap waktu pembakaran. Persamaan 2-1 merupakan hubungan antara burning rate constant (K) terhadap perubahan diameter *droplet* (Waluyo et al., 2018).

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

Dengan:

D = diameter akhir droplet (mm)

D₀ = diameter awal droplet (mm)

K = burning raete constant (mm²/s)

t = waktu (s)

Burning rate suatu bahan bakar dipengaruhi oleh titik didih yang dimiliki bahan bakar dan juga panjang rantai hidrokarbon yang dimiliki bahan bakar. Semakin tinggi titik didih suatu bahan bakar, maka semakin kecil nilai *burning rate* yang dimiliki oleh bahan bakar tersebut. Dan bila semakin panjang rantai hidrokarbon yang dimiliki suatu bahan bakar, maka semakin kecil nilai *burning rate* yang dimiliki bahan bakar tersebut.

3. Dimensi Visualisai Nyala Api

Visualisasi nyala api (*flare front*) atau dimensi api memiliki peran yang sangat menentukan dalam karakteristik pembakaran *droplet* dari suatu bahan bakar. Dimensi nyala api menunjukkan seberapa besar dan panjang nyala api secara vertikal seiring dengan bertambahnya waktu pembakaran. Reaksi dari suatu pembakaran dapat diketahui dari dimensi visualisasi nyala api. Jika suatu reaksi pembakaran menghasilkan dimensi nyala api yang besar, maka dapat disimpulkan reaksi pembakaran yang terjadi berlangsung sangat lama. Sebaliknya, jika suatu reaksi pembakaran menghasilkan dimensi nyala api yang kecil, maka reaksi pembakaran yang terjadi berlangsung dalam waktu cepat.

Dimensi nyala api terjadi pada tahap awal pembakaran *droplet* yang disebabkan oleh pemanasan *droplet* dan pengaruh akumulasi uap bahan bakar pada

sekitar permukaan *droplet* selama periode *ignition delay*. Semakin tinggi pembentukan jelaga pada pembakaran *droplet* akan meningkatkan tinggi nyala api (Han et al., 2017)

4. Microexplosin

Selama proses evaporasi, *droplet* memiliki kecenderungan mengembang dan kemudian pecah menjadi micro *droplet*. Fenomena ini disebut microexplosion. Microexplosion disebabkan oleh adanya perbedaan dari titik didih antara komponen penyusun bahan bakar. Ketika komponen bagian dalam dengan titik didih lebih rendah mencapai kondisi *superheated*, nukleasi terjadi dan komponen dengan titik didih rendah mengalami gasifikasi, menghasilkan akumulasi tekanan internal yang mengarah pada pecahnya *droplet*. Setelah microexplosion terjadi setiap *droplet* melewati 3 proses yaitu pemulihan bentuk, nukleasi gelembung, dan penggabungan gelembung (Wang et al., 2018).

Microexplosion dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya diameter awal *droplet*, temperatur lingkungan, dan konsentrasi oksigen di lingkungan (Chao et al., 2019). Campuran *droplet* yang terdiri dari komponen dengan volatilitas yang tinggi dan rendah sehingga memiliki potensi yang tinggi untuk terjadinya atomisasi sekunder yang diikuti dengan pendidihan di dalam cairan *superheated*. Pembakaran *droplet* dari campuran biodiesel dan alkohol biasanya digunakan untuk mengamati fenomena microexplosion (Chao et al., 2019).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode penelitian eksperimental, yaitu menguji karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel minyak kelapa dengan katalis cangkang telur ayam.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dilabotarium konversi energi jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember. Penelitian ini berlangsung bulan Agustus 2023.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Pada penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

1. Gelas ukur

Gelas ukur berfungsi untuk tempat pencampuran dan wadah bahan bakar agar tidak salah dalam pengambilan sampel selama proses pengujian.

2. Suntikan

Suntikan ini berfungsi sebagai media untuk meneteskan bahan bakar yang di uji ke kawat *thermocouple*.

3. Laptop

Laptop berfungsi untuk menyimpan data temperature dari akusisi data pada *data logger* dan pengolahan data data hasil penelitian.

4. Kamera cannon M10

Kamera berfungsi sebagai mengambil gambar untuk memvisualisasi nyala api selama pengambilan data.

5. *Data logger*

Data logger berfungsi sebagai akusisi data untuk mencatat temperature *droplet* terhadap waktu selama pengujian dari pembacaan pada *thermocouple* yang kemudian diubah menjadi data digital dan disimpan pada laptop.

6. *Thermocouple*

Thermocouple berfungsi sebagai mengukur temperature *droplet* selama pengujian berlangsung yang terhubung dengan *data logger* sebagai media akusisi temperature.

7. *Power supply*

Power supply berfungsi sebagai sumber tegangan dan arus tertentu dari hasil konversi tegangan listrik PLN untuk disalurkan ke *coil heater* pada penelitian ini.

8. *Coil heater*

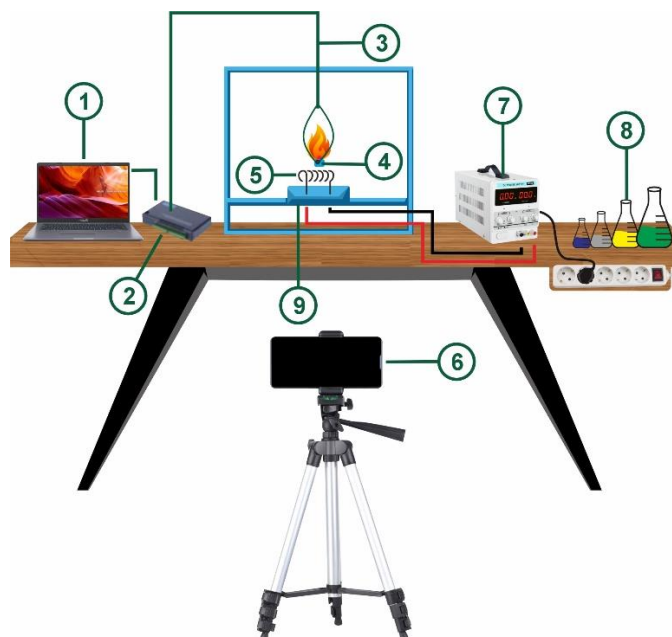
Coil heater berfungsi untuk memanaskan *droplet* pada campuran biodiesel minyak kelapa dan minyak kelapa yang berkatalis dengan cangkang telur ayam hingga titik nyala api.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut:

- Biodiesel minyak kelapa.
- Cangkang telur ayam.

3.4 Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.1 Skema alat penelitian.

Keterangan:

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. Laptop | 6. Kamera |
| 2. <i>Data logger</i> | 7. <i>Power supply</i> |
| 3. <i>Thermocouple</i> | 8. Bahan bakar |
| 4. <i>Thermocouple junction</i> | 9. Penyangga <i>coil heater</i> |
| 5. <i>Coil heater</i> | |

3.5 Variabel Penelitian

3.5.1 Variabel Bebas

1. Minyak kelapa dengan katalis cangkang telur ayam 2 %.
2. Minyak kelapa dengan katalis cangkang telur ayam 7 %.

3.5.2 Variabel Terikat

1. Temperatur pembakaran *droplet*.
2. Visualisasi nyala api pembakaran *droplet*.

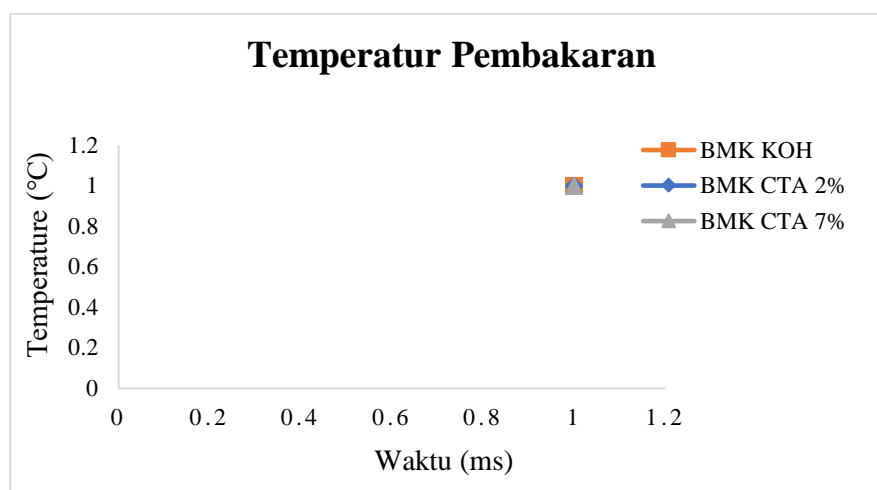
3.6 Metode Pengambilan Data

Metode dari pengambilan data pada penelitian ini meliputi sebagai berikut:

- Proses pembuatan *droplet* campuran minyak kelapa berkatalis cangkang telur ayam:
 - a. Minyak kelapa dicampur secara mekanik di dalam gelas ukur dengan katalis cangkang telur ayam dengan berat 2% dan 7% dari massa minyak kelapa dengan berat 100 g.
 - b. Masukkan campuran minyak kelapa dengan katalis cangkang telur ayam ke dalam suntikkan digunakan sebagai pembuat *droplet*.
 - c. Mengatur banyaknya *droplet* yang dikeluarkan dari suntikkan dengan meneteskan sebanyak 0,2 (ml).
- Prosedur pengambilan data:
 - a. Atur dan pasang semua alat-alat penelitian pada ruang uji pembakaran *droplet* sesuai dengan skema instalasi penelitian.

- b. Pasang kamera di depan ruang uji pembakaran *droplet* untuk melihat *droplet* dengan jarak 15 cm dan fokus hingga gambar ujung *thermocouple* dengan jelas di layar kamera.
- c. Hubungkan *thermocouple* ke *data logger* setelah itu hubungkan *data logger* ke laptop.
- d. Nyalakan laptop, kemudian mulai jalankan software *data logger* untuk membaca data analog dari *thermocouple* dan *data logger*.
- e. Bentuk *droplet* dari alat pembentuk *droplet* dan letakkan *droplet* pada ujung *thermocouple*.
- f. Ambil gambar *droplet* sebelum dibakar.
- g. Klik tombol start pada program PLX-DAQ version 2 yang ada pada laptop dan *record*.
- h. Tekan tombol rekam pada kamera bersamaan dengan menyalakan *coil heater* dengan menekan tombol nyala pada sklar.
- i. Matikan saklar sesaat setelah api menyala dan hentikan kamera ketika nyala api sudah mati.
- j. Klik stop pada program PLX-DAQ version 2 yang ada pada laptop lalu pilih *save*.
- k. Data yang terbaca pada program PLX-DAQ version 2 yang ada pada laptop kemudian disimpan dalam bentuk tabel dan grafik untuk kemudian dilakukan proses pengolahan data.
- l. Gambar yang terekam kamera diolah untuk memperoleh visualisasi nyala api setiap proses penyalaan api hingga api mati.
- m. Ulangi prosedur untuk setiap variasi pengujian.

3.7 Data Penelitian

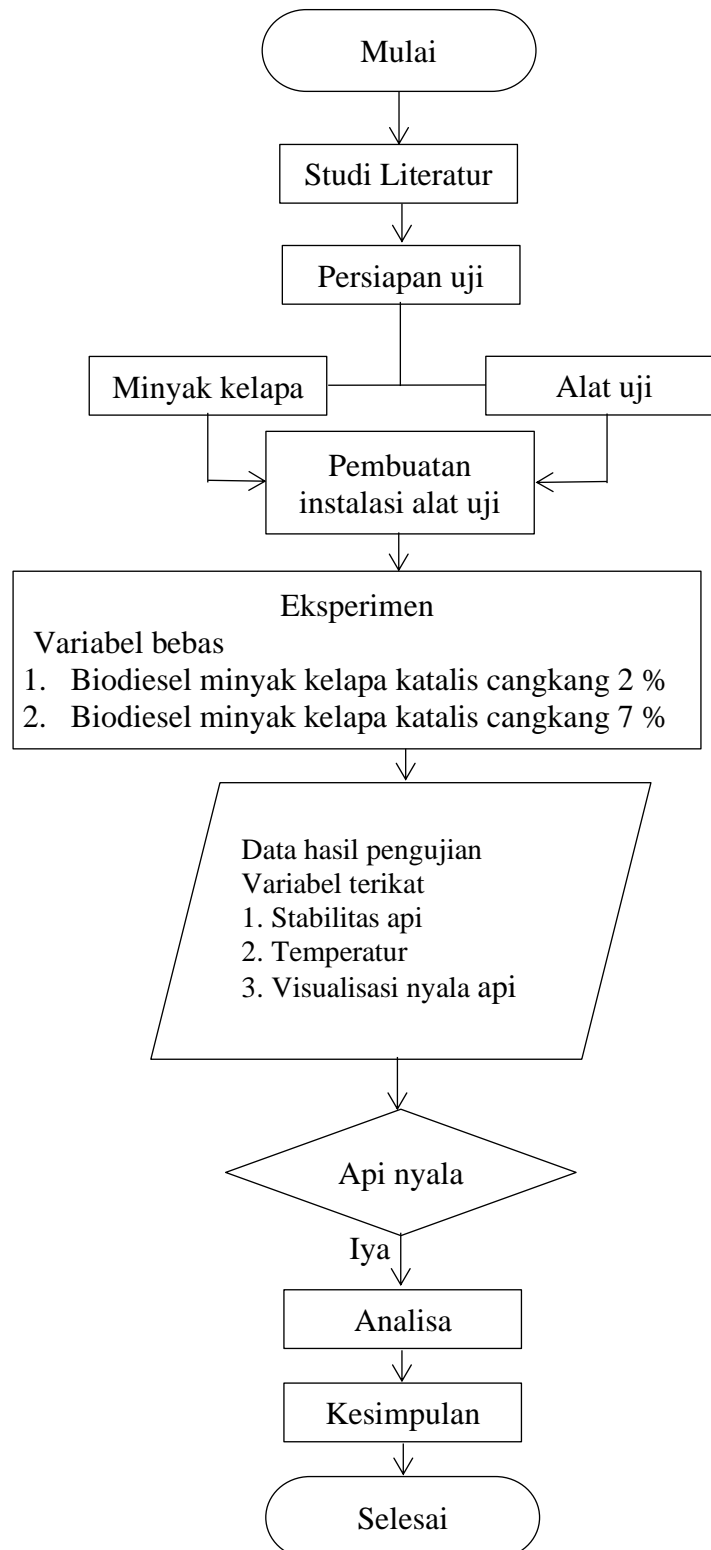


Gambar 3.2 Grafik temperatur pembakaran *droplet* biodiesel minyak kelapa variasi katalis terhadap waktu.

Perlakuan	Gambar 1	Gambar 2	Gambar 3	Gambar 4	Gambar ke-n
Tanpa Katalis					
Katalis 1					
Katalis 2					

Gambar 3.3 Visualisasi nyala api pembakaran *droplet* biodiesel minyak kelapa variasi katalis.

3.8 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang telah dilakukan pada pembakaran *droplet* biodiesel dari minyak kelapa dengan variasi katalis cangkang telur ayam yang diambil dengan video selama pembakaran *droplet* berlangsung. Hasil yang diteliti dari video tersebut diolah menjadi visualisasi nyala api. Temperatur yang dihasilkan selama pembakaran berlangsung secara otomatis di input pada software microsoft excel yang di modifikasi dengan software PLX-DAQ version 2 kemudian diolah menjadi grafik. Sebelum melakukan pengujian karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel minyak kelapa dengan katalis cangkang telur ayam, diperlukan data propertis biodiesel minyak kelapa terlebih dahulu.

4.1.1 Proses Pencampuran Katalis

1. Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi adalah reaksi untuk mengurangi asam lemak bebas yang terkandung pada minyak. Proses esterifikasi ini diawali dengan memanaskan dan mengaduk minyak sebanyak 100 ml di gelas beaker sampai suhu 55-60°C dengan dilakukan pengadukan pada 600 rpm dengan menggunakan magnetic stirrer. Methanol sebanyak 20% v/v minyak dicampur dengan asam sulfat H₂SO₄ 1% v/v minyak, lalu dicampurkan dengan minyak tanpa menghentikan pengadukan dengan menjaga suhu pada 55-60 °C selama 1 jam. Hasil esterifikasi dimasukkan ke corong pemisah selama ±8 jam pada suhu ruang sampai terbentuk 2 lapisan, yaitu lapisan metil ester (atas) dan lapisan air atau residu (bawah).

2. Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi berlangsung selama ±2 jam, temperature dijaga di suhu antara 60-65°C dengan menggunakan massa katalis KOH, 2%, dan 7% w/v minyak. Katalis CaO dicampurkan dengan methanol (50% dari v/v minyak), lalu diaduk sampai rata. Minyak sebanyak 100 g dipanaskan sampai suhu 48-50 °C. Larutan CaO dicampurkan dengan larutan dicampurkan dengan larutan methanol dengan minyak yang sudah dipanaskan ke dalam breaker glass, lalu dipanaskan diatas hot

plate selama 60 dan 90 menit dengan dilengkapi termometer, dan stirrer. Campuran minyak disaring dengan menggunakan kertas saring. Setelah dipanaskan pindahkan larutan ke corong pemisah selama 8 jam. Lapisan gliserol dipisahkan dengan lapisan metil ester. Metil ester dimurnikan dengan dicuci menggunakan aquades yang dipanaskan hingga suhu 50°C. Ulangi pencucian hingga air bekas cucian menjadi bening. Metil ester dioven selama 2 jam kemudian dilakukan pemurnian biodiesel.

Pemurnian biodiesel bertujuan untuk menghilangkan kandungan yang tidak diinginkan berupa gliserol, air, sabun, alcohol serta katalis yang tidak bereaksi. Metode yang digunakan adalah water washing dengan menggunakan aquadest. Pada penelitian ini dilakukan pencucian sebanyak 2 kali dengan menggunakan corong pemisah, dan didiamkan selama 8 jam. Hasil dari proses pencampuran reaksi dapat dilihat pada lampiran 7.

4.1.2 Data Sifat Fisika

Dalam penelitian ini menggunakan minyak kelapa yang telah dilakukan proses transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel. Maka dari itu sebelum mendapatkan data penelitian diperlukan data sifat fisika pada biodiesel minyak kelapa yang ada pada tabel 4.1. pada tabel tersebut telah memenuhi kualitas SNI 04-7128:2015.

Data sifat fisika minyak kelapa sebelum esterifikasi:

Parameter Uji Minyak Kelapa	SNI 7128:2015	Hasil Pengujian
Densitas pada (kg/m^3)	850-890	970,5
Asam lemak bebas (FFA) %	2%	0,1498
Angka asam mgKOH/g	2,3 – 6,0	0,6545

Data sifat fisika biodiesel minyak kelapa setelah transesterifikasi:

Parameter	SNI 7128:2015	Biodiesel minyak kelapa		
		KOH	2%	7%
Densitas pada (kg/m^3)	850-890	865	890	880

Viskositas (cSt)	2,3-6,0	4,396	5,196	5,036
Angka asam (mgNaOH/g)	Maks. 0,5	0,6545	0,561	0,748
Asam lemak bebas (%)	Maks 2	0,1498	0,1284	0,1712
Titik nyala api (°C)	Min. 40	191,85	302,1	410

Densitas merupakan kerapatan suatu bahan bakar yang telah mengalami tekanan. Densitas itu sendiri merupakan perbandingan berat jenis persatuan volume. Dari tiga biodiesel minyak kelapa yang berkatalis yang di uji, densitas biodiesel minyak kelapa katalis KOH 865 kg/m³, biodiesel minyak kelapa katalis cangkang telur ayam 2% 890 kg/m³ dan biodiesel minyak kelapa katalis cangkang telur ayam 7% 880 kg/m³. Sedangkan SNI densitas biodiesel yang diperbolehkan yaitu antara 850 – 890 kg/m³. Viskositas yaitu gesekan pada fluida, yang dialirkan pada pipa kapiler terhadap gaya gravitasi yang biasanya dinyatakan dalam waktu atau hambatan pada cairan untuk mengalir secara gravitasi. Pada umumnya standar viskositas minyak diesel yang diperbolehkan antara 2,3 - 6,0 cst.

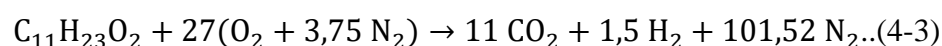
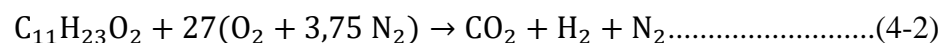
4.1.3 Pembakaran

Pada penelitian ini mendapatkan hasil dari saat proses pembakaran. Proses pembakaran akan mengalami semakin besar massa katalis akan memperlambat reaksi pembakaran dan semakin besar massa katalis maka semakin tinggi temperatur yang dihasilkan. Sebagai berikut rumus kimia biodiesel minyak kelapa sebelum dan saat reaksi pembakaran:

- a. Biodiesel minyak kelapa:



- b. Biodiesel minyak kelapa saat reaksi pembakaran:



4.1.4 Stabilitas Nyala Api

Pada saat pengujian karakteristik pembakaran *droplet* menghasilkan visualisasi nyala api yang berbeda pada setiap variasi persentase katalis cangkang telur ayam. Pada pembakaran *droplet*, parameter mengukur stabilitas nyala api dapat ditentukan menggunakan analisa yang meliputi warna nyala api, intensitas ledakan mikro dan umur nyala api. Nyala api yang stabil akan cenderung berwarna biru disekitar *droplet* dengan intensitas ledakan mikro yang sangat kecil sehingga menghasilkan umur nyala api yang lebih panjang. Sedangkan nyala api yang kurang stabil akan menghasilkan nyala api yang dominan kuning dengan intensitas ledakan mikro yang cukup besar sehingga umur nyala api menjadi lebih pendek. Jika kita tinjau pada Tabel 4.3 dan 4.4 yang menunjukkan intensitas ledakan mikro dan umur nyala api.

Tabel 4.3 Ledakan mikro variasi biodiesel minyak kelapa

Biodiesel Minyak Kelapa Katalis	Jumlah ledakan
Biodiesel minyak kelapa KOH	19
Biodisel minyak kelapa cangkang telur ayam 2%	13
Biodisel minyak kelapa cangkang telur ayam 7%	9

Table 4.4 Umur nyala api variasi biodiesel minyak kelapa

Biodiesel Minyak Kelapa Katalis	Umur nyala api
Biodiesel minyak kelapa KOH	1090
Biodisel minyak kelapa cangkang telur ayam 2%	1199
Biodisel minyak kelapa cangkang telur ayam 7%	1308

4.1.5 Temperatur

Hasil pengujian karakteristik pembakaran *droplet* dengan variasi tiga biodiesel minyak kelapa dengan satu biodiesel minyak kelapa katalis KOH sebagai pembanding kimia dan dua biodiesel minyak kelapa katalis cangkang telur ayam dengan persentase 2% dan 7% sebagai non kimia yang menghasilkan variasi temperatur yang berbeda pada setiap biodiesel minyak kelapa yang berkatalis.

Pengujian dilakukan sebanyak sekali percobaan dengan data hasil percobaan ditunjukkan Tabel 4.5. Proses pengambilan data per 109 ms supaya memudahkan menentukan *ignition delay*. *Thermocouple type-K* bekerja berdasarkan hukum *Seebeck* dimana ada 2 buah material logam berbeda jenis lalu disatukan dan diberi beda temperatur pada sambungannya (hot junction), maka akan menghasilkan electromotive (emf). Nilai emf tersebut dikenal juga sebagai koefisien *Seebeck* yang berbeda nilainya pada tiap jenis *thermocouple*. Koefisien *Seebeck* pada termokopel tipe K adalah $40\mu\text{V}/^\circ$ (Koestoer, 2004).

Table 4.5 Temperatur biodiesel minyak kelapa berkatalis

Waktu (ms)	BMK KOH	BMK CT 2% °C	BMK CT 7%
0	24,00	26,75	25,50
109	25,25	28,00	27,00
218	26,75	30,50	29,75
327	28,00	35,00	36,50
436	29,25	39,25	43,25
545	33,00	45,00	50,00
654	34,25	47,25	56,75
763	37,00	49,00	66,70
872	39,65	51,35	73,35
981	44,65	55,25	79,95
1090	47,50	67,50	86,50
1199	52,25	70,00	94,00
1308	59,25	74,30	99,75
1417	68,25	81,50	108,00
1526	74,15	96,50	116,75
1635	81,05	111,00	128,25
1744	87,90	119,80	137,00
1853	94,90	122,75	144,25
1962	101,80	128,50	151,50
2071	108,75	135,00	158,75
2180	145,00	141,25	166,00
2289	148,75	146,75	173,25
2398	152,50	152,25	180,50
2507	191,85	157,75	187,75
2616	240,00	163,25	195,00
2725	247,25	168,75	202,25
2834	254,75	174,25	209,50
2943	261,10	179,75	216,75

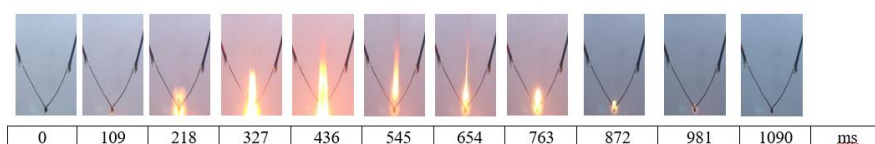
3052	268,00	190,00	224,00
3161	274,95	202,80	231,25
3270	290,25	215,50	238,50
3379	300,00	228,25	245,75
3488	305,95	238,80	253,00
3597	368,75	249,35	260,25
3706	280,00	259,90	267,50
3815	256,87	270,45	280,00
3924		281,00	292,50
4033		291,55	305,00
4142		302,10	312,65
4251		359,50	320,30
4360		379,25	327,95
4469		407,75	335,60
4578		494,50	343,25
4687		386,00	350,90
4796		323,50	410,30
4905		285,75	420,95
5014		228,75	431,55
5123			442,15
5232			452,75
5341			552,85
5450			593,00
5559			500,75
5668			460,50
5777			400,75
5886			360,00
5995			

4.2 Pembahasan

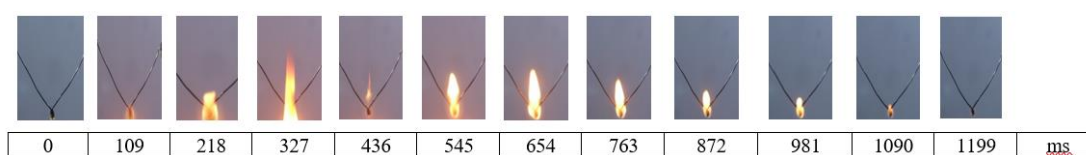
4.2.1 Visualisasi Nyala Api

Kestabilan nyala api pembakaran *droplet* dengan variasi biodiesel minyak kelapa dengan katalis KOH, cangkang telur ayam 2% dan cangkang telur ayam 7% ditunjukkan pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3. Untuk mendapatkan umur nyala api dilakukan pengamatan video dengan menggunakan software microsoft *clipchamp*. Visualisasi nyala api pada setiap variasi katalis akan berbeda. Data visualisasi nyala api yang digunakan adalah mulai api menyala hingga padam. Nyala api biodiesel minyak kelapa katalis KOH paling pendek padam pada 1090 ms sedangkan

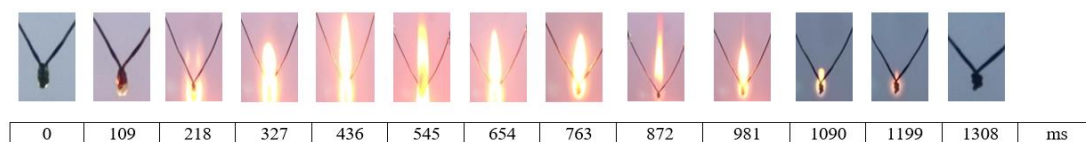
biodiesel minyak kelapa katalis cangkang telur ayam 2% padam pada 1199 ms dan biodiesel minyak kelapa katalis cangkang telur ayam 7% paling lama padam pada 1308 ms. Hal ini menunjukkan bahwa biodiesel minyak kelapa katalis KOH lebih mudah menguap dibandingkan dengan biodiesel katalis cangkang telur ayam. Ini karena pada viskositas yang lebih rendah, jarak antar molekul bahan bakar lebih lebar sehingga oksigen lebih mudah bereaksi dengan bahan bakar yang menyebabkan proses pembakaran terjadi lebih cepat dan nyala api kurang stabil.



Gambar 4.1 Visualisasi nyala api biodiesel minyak kelapa katalis KOH



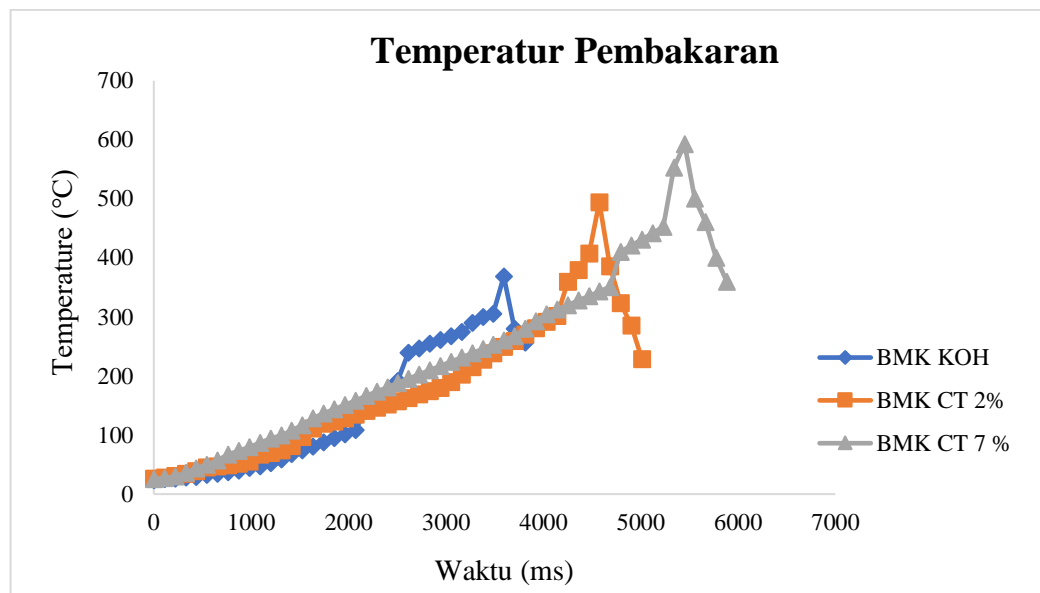
Gambar 4.2 Visualisasi nyala api biodiesel minyak kelapa katalis CTA 2%



Gambar 4.3 Visualisasi nyala api biodiesel minyak kelapa katalis CTA 7%

4.2.2 Karakteristik Temperatur Pembakaran *Droplet*

Temperatur *droplet* selama proses pembakaran masing-masing biodiesel minyak kelapa yang berkatalis ditunjukkan Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3. Biodiesel minyak kelapa dengan katalis cangkang telur ayam 7% menghasilkan temperatur yang paling tinggi kemudian diikuti biodiesel minyak kelapa dengan katalis 2% dan terendah yaitu biodiesel minyak kelapa yang berkatalis KOH. Temperatur pembakaran yang naik disebabkan oleh katalis yang berfungsi mempercepat reaksi pembakaran, sehingga hal ini disebabkan masing-masing intensitas katalis yang berbeda (Nanlohy et al., 2017). Saat proses oksidasi *droplet* menjadi cepat dan berdampak pada kenaikan temperatur.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh variasi katalis pada biodiesel minyak kelapa

Dari Gambar 4.4 data yang diperoleh dari biodiesel minyak kelapa berkatalis cangkang telur ayam memiliki pembakaran paling tinggi dibandingkan dengan biodiesel minyak kelapa berkatalis KOH. Penambahan kadar katalis cangkang telur ayam temperatur pembakaran cenderung semakin meningkat. Biodiesel minyak kelapa berkatalis cangkang telur ayam 7% mempunyai nilai temperatur paling tinggi dibanding yang lain, yaitu 593 °C. Sedangkan nilai temperatur paling rendah diperoleh pada biodiesel minyak kelapa berkatalis KOH yaitu sebesar 368,75 °C. Hal ini disebabkan karena temperatur pembakaran yang tinggi disebabkan oleh kemampuan katalis organik untuk mempercepat terjadinya reaksi sehingga tumbukan antar molekul yang bermuatan dan gerakan acak dari atom semakin cepat (Dwandaru & Janah, 2018).

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang pembakaran droplet pada biodiesel minyak kelapa dengan variasi persentase cangkang telur ayam 2% dan 7% dari berat minyak. Kesimpulan hasil penelitian sebagai berikut:

1. Penambahan katalis cangkang telur ayam mempengaruhi temperatur pada saat proses pembakaran, dengan semakin bertambahnya persentase katalis cangkang telur ayam maka akan semakin tinggi temperatur yang dihasilkan pada saat proses pembakaran yaitu 593 °C.
2. Terbukti bertambahnya katalis cangkang telur ayam maka visualisasi nyala api semakin stabil dan mendapatkan umur nyala api yang panjang yaitu 1308 ms. Perbedaan antara katalis kimia dan non kimia pada biodiesel minyak kelapa dimana katalis non kimia lebih menghasilkan visualisasi nyala api *droplet* berbeda.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih banyak mengenai penambahan pengaruh tekanan pada ruang uji pembakaran droplet.
2. Menggunakan alat-alat penelitian dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk variasi katalis non kimia untuk menghasilkan temperature dan visualisasi nyala api yang lebih bagus.

DAFTAR PUSTAKA

- Awogbemi, O., Inambao, F., & Onuh, E. I. (2020). Modification and characterization of chicken eggshell for possible catalytic applications. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05283>
- Borges, M. E., & Díaz, L. (2012). Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 5, pp. 2839–2849). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.071>
- Budiman, Arief dan Ratna Dewi Kusumaningtyas, Yano Surya Pradana, Ni'am Ayu Lestari. 2017. Biodiesel bahan baku, proses, dan teknologi. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Chao, C. Y., Tsai, H. W., Pan, K. L., & Hsieh, C. W. (2019). On the microexplosion mechanisms of burning droplets blended with biodiesel and alcohol. *Combustion and Flame*, 205, 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.04.017>
- Correia, L. M., Cecilia, J. A., Rodríguez-Castellón, E., Cavalcante, C. L., & Vieira, R. S. (2017). Relevance of the Physicochemical Properties of Calcined Quail Eggshell (CaO) as a Catalyst for Biodiesel Production. *Journal of Chemistry*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5679512>
- Dewi, D. C. (2015). *PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK JARAK(RICINUS COMMUNIS) DENGAN MICROWAVE*.
- Dwandaru, W. S. B., & Janah, N. M. (2018). *BUKU NANO MATERIAL*.
- Hafidh Bachtiar, H., Fachri, B. A., & Ilminafik, N. (2019). Flame Characteristics of Diffusion of Calophyllum inophyllum Methyl Ester on Mini Glass Tube. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences Journal Homepage*, 57, 40–47. www.akademiabaru.com/arfmts.html
- Hambali, Erliz dan Siti Mujdalipah, Armansyah Halomoan Tambunan, Abdul Waries Pattiwiri, Roy Hendroko. 2007. “Teknologi Bioenergi”. Jakarta Selatan: PT AgroMedia Pustaka.
- Han, K., Pang, B., Ma, X., Chen, H., Song, G., & Ni, Z. (2017). An experimental study of the burning characteristics of acetone–butanol–ethanol and diesel blend droplets. *Energy*, 139, 853–861. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.037>
- Helwani, Z., Ramli, M., Saputra, E., Bahrudin, B., Yolanda, D., Fatra, W., Idroes, G. M., Muslem, M., Mahlia, T. M. I., & Idroes, R. (2020). Impregnation of CaO from eggshell waste with magnetite as a solid catalyst (Fe₃O₄/CaO) for transesterification of palm oil off-grade. *Catalysts*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/catal10020164>

- Julianti, N. K., Wardani, T. K., Gunardi, I., & Roesyadi, A. (2014). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit RBD dengan Menggunakan Katalis Berpromotor Ganda Berpenyangga γ -Alumina (CaO/MgO/ γ -Al₂O₃) dalam Reaktor Fluidized Bed. *JURNAL TEKNIK POMITS*, Vol. 3.
- Karo, J. A. K., Husin, H., Nasution, F., Yani, F. T., Maliki, S., Prayuda, D. D., & Hasfita, F. (2020). Conversion of rubber seed oil into biodiesel with potassium oxide alumina supported by (K₂O/Al₂O₃) catalyst. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/980/1/012058>
- Knothe, G., & Razon, L. F. (2017). Biodiesel fuels. In *Progress in Energy and Combustion Science* (Vol. 58, pp. 36–59). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>
- Koestoer, R. A. (2004). *PENGUKURAN TEKNIK*.
- Mallah, T. A., & Sahito, A. R. (2020). Optimization of castor and neem biodiesel blends and development of empirical models to predicts its characteristics. *Fuel*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116341>
- Mata, T. M., Martins, A., Mata, T. M., & Martins, A. A. (2010). *Biodiesel Production Processes II Biodiesel Production Processes*. <https://www.researchgate.net/publication/280728855>
- Muanruksa, P., & Kaewkannetra, P. (2020). Combination of fatty acids extraction and enzymatic esterification for biodiesel production using sludge palm oil as a low-cost substrate. *Renewable Energy*, 146, 901–906. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.027>
- Nanlohy, H. Y., Wardana, I., Hamidi, N., Yuliati, L., Mesin, T., & Brawijaya Ji Mayjen Haryono, U. (2017). *KARAKTERISTIK PEMBAKARAN DROPLET MINYAK JARAK DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS PEMBAKARAN HOMOGEN*.
- Nanlohy, H. Y., Wardana, I. N. G., Hamidi, N., & Yuliati, L. (2018). Combustion characteristics of crude jatropha oil droplets using rhodium liquid as a homogeneous combustion catalyst. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 299(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/299/1/012090>
- Nanlohy, H. Y., Wardana, I. N. G., Yamaguchi, M., & Ueda, T. (2020). The role of rhodium sulfate on the bond angles of triglyceride molecules and their effect on the combustion characteristics of crude jatropha oil droplets. *Fuel*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118373>
- Nath Tiwari, O., Bhunia, B., Muthuraj, M., Kanti Bandyopadhyay, T., Ghosh, D., & Gopikrishna, K. (2020). Optimization of process parameters on lipid biosynthesis for sustainable biodiesel production and evaluation of its fuel characteristics. *Fuel*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117471>

- Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemitchai, A., & Jai-In, S. (2009). A comparative study of KOH/Al₂O₃ and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil. *Renewable Energy*, 34(4), 1145–1150. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.06.015>
- Nurhazanah, N., Sy, Y., Husin, H., Rosnelly, C. M., & Maulana, A. (2020). K₂O/NbOPO₄ solid acid catalyst for biodiesel production. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 796(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/796/1/012048>
- Nuryantini, A. Y., Sundari, C. D. D., Halimahtussa'diah, & Nuryadin, B. W. (2019). Synthesis and Characterization of Calcium Oxide Nanoparticles from Duck Eggshells using Ball Milling Methods. *Jurnal Kimia Valensi*, 5(2), 231–235. <https://doi.org/10.15408/jkv.v5i2.879>
- Pambudi, S., Ilminnafik, N., Junus, S., & Kustanto, M. N. (2021). Experimental study on the effect of nano additives γ Al₂O₃ and equivalence ratio to Bunsen flame characteristic of biodiesel from nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*). *Automotive Experiences*, 4(2), 51–61. <https://doi.org/10.31603/ae.4569>
- Raheem, A., Wan Azlina, W. A. K. G., Taufiq Yap, Y. H., Danquah, M. K., & Harun, R. (2015). Thermochemical conversion of microalgal biomass for biofuel production. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 49, pp. 990–999). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.186>
- Ramalingam, S., Murugesan, E., Ganesan, P., & Rajendiran, S. (2020). Characteristics analysis of julifora biodiesel derived from different production methods. *Fuel*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118579>
- Savitri, S., Nugraha, A. S., & Aziz, I. (2016). Pembuatan Katalis Asam (Ni/ γ -Al₂O₃) dan Katalis Basa (Mg/ γ -Al₂O₃) untuk Aplikasi Pembuatan Biodiesel dari Bahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.3104>
- Selfi Lobalohin, Saartje H. Noy, & Jeffij V. Hasinu. (2014). KERUSAKAN TANAMAN KELAPA (*Cocos nucifera*, L.) AKIBAT SERANGAN HAMA *Sexava* sp dan *Oryctes rhinoceros* DI KECAMATAN TELUK ELPAPUTIH KABUPATEN MALUKU TENGAH. *Jurnal Budidaya Pertanian*, Vol. 10, 35–40.
- Waluyo, B., Wardana, I. N. G., Yuliati, L., & Sasongko, M. N. (2018). The role of molecule cluster on the azeotrope and boiling points of isooctane-ethanol blend. *Fuel*, 215, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.103>
- Wang, Z., Wu, S., Huang, Y., Huang, S., Shi, S., Cheng, X., & Huang, R. (2018). Experimental investigation on spray, evaporation and combustion characteristics of ethanol-diesel, water-emulsified diesel and neat diesel fuels. *Fuel*, 231, 438–448. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.129>

Widyastuti, L. (2007). *REAKSI METANOLISIS MINYAK BIJI JARAK PAGAR MENJADI METIL ESTER SEBAGAI BAHAN BAKAR PENGGANTI MINYAK DIESEL*.

Zahan, K. A., & Kano, M. (2018). Biodiesel production from palm oil, its by-products, and mill effluent: A review. In *Energies* (Vol. 11, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en11082132>

LAMPIRAN

Lampiran. 1 Perhitungan Perbandingan Molar Metanol

Perhitungan perbandingan minyak dan metanol

Piknometer kosong (m_1) = 32 g

Piknometer + minyak (m_2) = 80,525

$$\rho \text{ minyak} = \frac{(m_2 - m_1)}{50} = 0,9705$$

Mr Metanol = 32 g/mol

ρ metanol = 0,792 g

V minyak = 100 ml

Perbandingan 1:6 (minyak : metanol)

- $m = \rho \cdot V$
 $m = 0,9705 \times 100 \text{ ml} = 97,05 \text{ g}$
- $n = \frac{m}{Mr} = \frac{97,05}{214} = 0,4535 \text{ mol}$
- Metanol : minyak = 6:1
 $6 \times 0,4535 = 2,7210 \text{ mol}$
- $m = 2,710 \times 32$
 $= 87,07289 \text{ g}$
- $v = \frac{m}{\rho} = \frac{87,07289}{0,792} = 109,94 \text{ ml}$

Lampiran. 2 Jumlah Katalis

Volume metanol = 109,94 mL

Volume minyak = 100 mL

Jumlah = 209,94 ml

Berat katalis = 2% x 209,94 ml = 4,1988 gr
 $= 7\% \times 209,94 \text{ ml} = 14,6958 \text{ gr}$

Lampiran. 3 Kadar FFA dan Bilangan Asam Minyak Kelapa

Pengukuran kadar FFA dan bilangan asam dilakukan dengan cara menimbang minyak sebanyak 3 gram kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Minyak tersebut ditambahkan dengan etanol 97% sebanyak 9 ml kemudian dipanaskan di suhu 45°C selama 10 menit setelah itu ditambahkan indikator PP sebanyak 3 tetes, lalu dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 M sampai berwarna pink dan bertahan selama 15 detik dan catat volume NaOH yang terpakai.

Data hasil pengujian kadar FFA dan bilangan asam minyak jelantah awal adalah sebagai berikut.

Katalis	Kadar FFA			Bilangan Asam		
	Berat Sampel (gram)	Volume Titran (mL)	Kadar FFA	Berat Sampel (gram)	Volume Titran (mL)	Bilangan Asam (mgNaOH/g r)
KOH	3	0,35	0,1498%	3	0,35	0,6545
2%	3	0,3	0,1284%	3	0,3	0,561
7%	3	0,4	0,1712%	3	0,4	0,748
	Rata - Rata		0,1498%	Rata - Rata		0,6545

Perhitungan kadar FFA dan bilangan asam dari hasil pengujian

a. Perhitungan kadar FFA

Pada penelitian ini menggunakan minyak kelapa yang sudah di sangrai dan di *degumming* dengan molekul 214

$$\begin{aligned} \text{Kadar FFA KOH} &= \frac{\text{Volume NaOH (ml)} \times M \times \text{BM bahan}}{10 \times \text{berat sampel}} \\ &= \frac{0,35 \times 0,1 \times 214}{5 \times 10} \times 100 \\ &= 0,1498\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar FFA 2\%} &= \frac{\text{Volume NaOH (ml)} \times M \times \text{BM bahan}}{10 \times \text{berat sampel}} \\ &= \frac{0,3 \times 0,1 \times 214}{59 \times 1000} \times 100 \\ &= 0,1284\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar FFA 7\%} &= \frac{\text{Volume NaOH (ml)} \times M \times \text{BM bahan}}{10 \times \text{berat sampel}} \\
 &= \frac{0,4 \times 0,1 \times 214}{10 \times 3.204} \times 100 \\
 &= 0,1712\%
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Bilangan Asam

$$\begin{aligned}
 \text{Bilangan Asam KOH} &= \frac{56,1 \times N \times \text{Volume NaOH (ml)}}{\text{massa sampel}} \\
 &= \frac{56,1 \times 0,1 \times 0,35}{3} \\
 &= 0,6545
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bilangan Asam 2 \%} &= \frac{56,1 \times N \times \text{Volume NaOH (ml)}}{\text{massa sampel}} \\
 &= \frac{56,1 \times 0,1 \times 0,3}{3} \\
 &= 0,561
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bilangan Asam 7\%} &= \frac{56,1 \times N \times \text{Volume NaOH (ml)}}{\text{massa sampel}} \\
 &= \frac{56,1 \times 0,1 \times 0,4}{3} \\
 &= 0,748
 \end{aligned}$$

Lampiran. 4 Densitas Metode Piknometer (ASTM D 1298)

Piknometer yang digunakan pada uji ini adalah piknometer 50 ml. Hal pertama yang dilakukan adalah menimbang piknometer kosong. Lalu memanaskan minyak kelapa sampai suhu 40°C. Masukkan minyak tersebut kedalam piknometer sampai penuh lalu timbang berat piknometer yang berisi minyak kelapa. Pengukuran densitas ini dilakukan dengan 3 kali pengulangan. Data hasil pengukuran densitas minyak kelapa sebagai berikut.

Katalis	Massa Pikno Kosong / m ₁ (gram)	Massa Pikno + Minyak / m ₂ (gram)	Volume Pikno (V)	Densitas (kg/m ³)
KOH	32	75,25	50	865
2%	32	76,50	50	890
7%	32	76	50	880
Rata – rata				878,3

Contoh perhitungan densitas minyak kelapa dari data yang diperoleh

$$\begin{aligned} \text{Densitas KOH} &= \frac{m_2 - m_1}{v} \\ &= \frac{76,50 - 32}{50} \\ &= 865 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas 2 \%} &= \frac{m_2 - m_1}{v} \\ &= \frac{76,50 - 32}{50} \\ &= 890 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas 7 \%} &= \frac{m_2 - m_1}{v} \\ &= \frac{76 - 32}{50} \\ &= 880 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Lampiran. 5 Viskositas Biodiesel

Pengujian viskositas minyak kelapa dilakukan di Laboratorium Analisis Pangan Politeknik Negeri Jember menggunakan viscometer. Hasil dari pengujian dapat diketahui viskositas dari minyak kelapa sebagai berikut:

$$\text{Cara perhitungan viskositas ostwald: } \eta = \eta_0 \frac{t \cdot \rho}{t_0 \cdot \rho_0}$$

$$\text{Viskositas KOH : } \eta = 0,95 \frac{5,5 \times 0,88}{1,05 \times 0,996} = 4,396 \text{ cSt}$$

$$\text{Viskositas 2\% : } \eta = 0,95 \frac{6,5 \times 0,88}{1,05 \times 0,996} = 5,196 \text{ cSt}$$

$$\text{Viskositas 7\% : } \eta = 0,95 \frac{6,3 \times 0,88}{1,05 \times 0,996} = 5,036 \text{ cSt}$$

Lampiran. 6 Biodiesel Minyak Kelapa Variasi Katalis



Lampiran.7 Dokumentasi Penelitian Proses Pencampuran



Lampiran. 8 Dokumentasi Instalasi Alat

