

**STUDI EKSPERIMENTAL TITIK NYALA DAN VISKOSITAS
BIODIESEL DIPRODUKSI DARI MINYAK GORENG
LIMBAH**

SKRIPSI

**OLEH:
MUHAMMAD HUSSEIN
198130049**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 16/5/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)16/5/24

STUDI EKSPERIMENTAL TITIK NYALA DAN VISKOSITAS DIPRODUKSI DARI MINYAK GORENG LIMBAH

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

Oleh:
MUHAMMAD HUSSEIN
198130049

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2024**

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Studi Eksperimental Titik Nyala Dan Viskositas
Biodiesel Diproduksi Dari Minyak Goreng Limbah
Nama Mahasiswa : Muhammad Hussein
NIM : 198130049
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


(Muhammad Idris, S.T., M.T)

Pembimbing




(Eng. Supriatno, ST,MT)

Dekan




(Ka. Prodi, ST,MT)

Ka. Prodi

Tanggal Lulus: 26 Maret 2024

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai sorma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

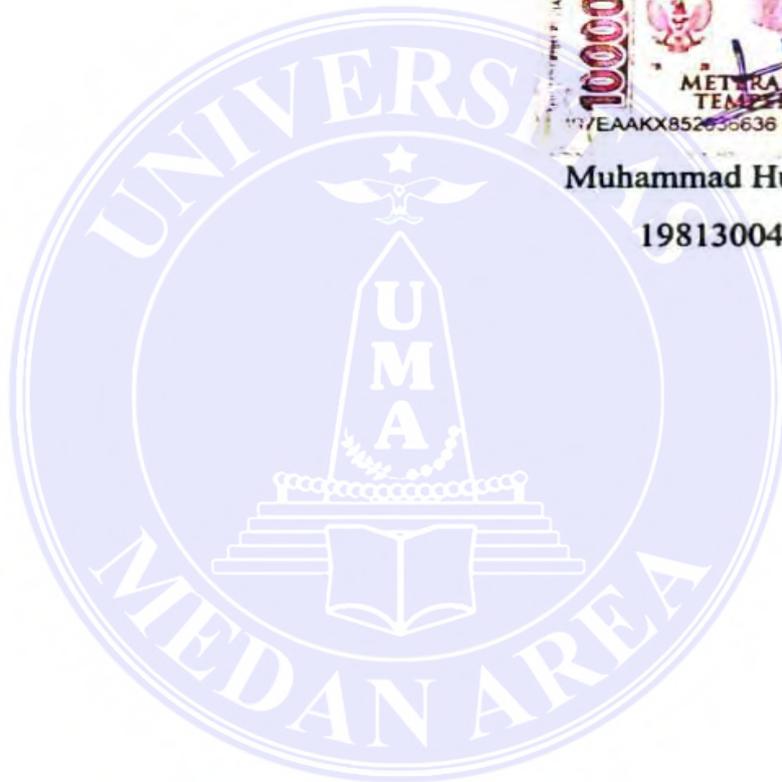
Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 26 Maret 2024



Muhammad Hussein

198130049



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Hussein

NPM : 198130049

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-Exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Studi Eksperimental Titik Nyala Dan Viskositas *Biodiesel* Diproduksi Dari Minyak Goreng limbah”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan,

Pada Tanggal : 26 Maret 2024

Yang menyatakan

(Muhammad Hussein)

ABSTRAK

Biodiesel merupakan bahan yang sangat potensial untuk menggantikan bahan bakar solar. Bahan bakunya dapat diperbaharui dan bersifat ramah lingkungan. Minyak goreng bekas dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Kadar asam lemak bebas yang tinggi dalam minyak goreng bekas memerlukan pretreatment (esterifikasi) dalam proses pembuatan biodiesel. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan dua tahap reaksi yaitu esterifikasi dan dilanjutkan dengan tahap transesterifikasi. Tujuan penelitian ini adalah Untuk mengetahui hasil dari variasi waktu reaksi 60, 70, 80, 90, 100 min pada Titik Nyala dan Untuk mengetahui hasil dari variasi waktu reaksi 60, 70, 80, 90, 100 min pada Viskositas . Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah minyak goreng limbah. Penelitian ini menggunakan proses esterifikasi dan transesterifikasi dengan mereaksikan katalis dan metanol kemudian dicampurkan dengan minyak goreng limbah secara bersamaan. Variasi konsentrasi katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah metanol 1:2 dan 0.5% NaOH dari jumlah minyak goreng limbah. Kemudian hasil transesterifikasi diendapkan selama kurang lebih 10 menit. Hasil pengendapan biodiesel dan gliserol dipisahkan, setelah itu biodiesel dicuci menggunakan aquades dengan suhu 50°C dan diuapkan pada suhu 90-100°C. Hasil pengujian titik nyala pada konsentrasi katalis metanol 1:2 dan 0.5% NaOH adalah 60 menit 108,5°C, 70 menit 182,5°C, 80 menit 182,5°C, 90 menit 148,5°C, dan 100 menit 184,5°C. dan hasil pengujian viskositas waktu reaksi 60 menit 4,5, 70 menit 4,6, 80 menit 4,5, 90 menit 4,5, dan 100 menit 4,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil dari titik nyala dan viskositas telah sesuai dengan standard mutu biodiesel dan layak digunakan ESDM.

Kata Kunci: Biodiesel, Katalis Natrium Hidroksida, metanol, Minyak goreng limbah

ABSTRACT

Biodiesel is a very potential material to replace diesel fuel. Its raw material can be renewable and environmentally friendly. Used cooking oil can be used as a raw material for biodiesel production. The high free fatty acid content in used cooking oil requires pretreatment (esterification) in the biodiesel production process. Therefore, this study conducted two reaction steps, namely esterification and followed by transesterification. The aim of this research is to determine the outcomes of variations in reaction times of 60, 70, 80, 90, and 100 minutes on the Flash Point and to ascertain the results of reaction time variations of 60, 70, 80, 90, and 100 minutes on Viscosity. The raw material used in biodiesel production is waste cooking oil. This study employs esterification and transesterification processes by reacting catalyst and methanol, then simultaneously mixing them with waste cooking oil. The variations in catalyst concentration used in this research are methanol 1:2 and 0.5% NaOH of the total amount of waste cooking oil. The transesterification results are then precipitated for approximately 10 minutes. The precipitated biodiesel and glycerol are separated, after which the biodiesel is washed using distilled water at a temperature of 50°C and evaporated at a temperature of 90-100°C. The flash point test results for methanol 1:2 and 0.5% NaOH catalyst concentrations are 108.5°C for 60 minutes, 182.5°C for 70 minutes, 182.5°C for 80 minutes, 148.5°C for 90 minutes, and 184.5°C for 100 minutes. The viscosity test results for reaction times of 60 minutes: 4.5, 70 minutes: 4.6, 80 minutes: 4.5, 90 minutes: 4.5, and 100 minutes: 4.5. The research findings indicate that the flash point and viscosity results comply with biodiesel quality standards and are suitable for use in the energy and mineral resources sector.

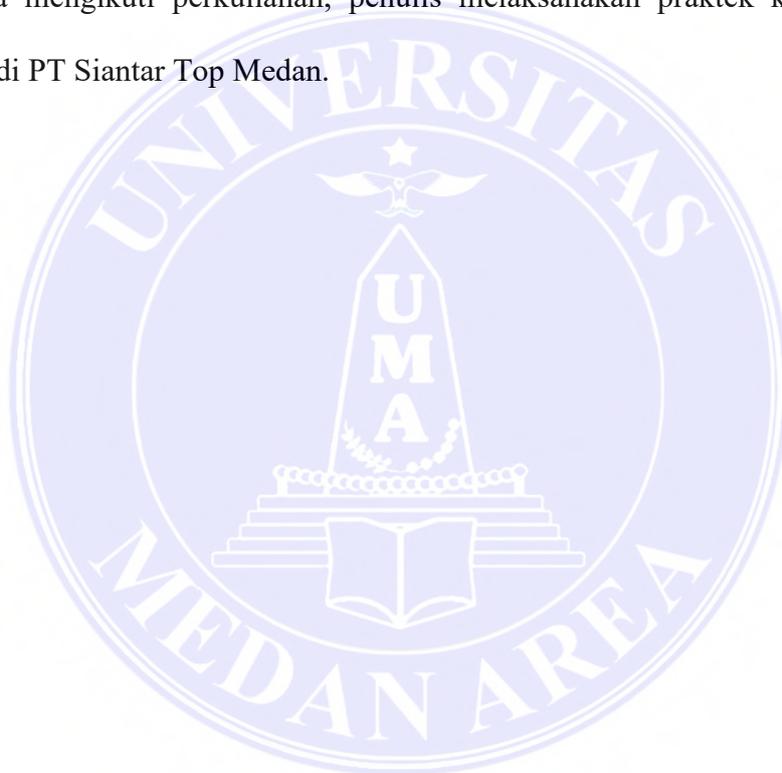
Keywords: Biodiesel, Methanol Sodium Hydroxide Catalytic, Refrigerated Oil Waste

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Binjai Pada tanggal 20 Mei 1999 dari ayah Syafrianto dan ibu Dariana Penulis merupakan Anak Pertama dari 3 bersaudara.

Tahun 2017 Penulis lulus dari SMK Tunas Pelita Binjai dan pada tahun 2019 terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis melaksanakan praktek kerja lapangan (PKL) di PT Siantar Top Medan.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ALLAH SWT Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karunianya sehingga skripsi ini berhasil diselesaikan. Tema dalam penelitian ini adalah konversi energy dengan judul “Studi Eksperimental Titik Nyala Dan Viskositas *Biodiesel* Diproduksi Dari Minyak Goreng Limbah”.

Terimakasih penulis sampaikan kepada bapak Muhammad Idris, ST, MT. selaku dosen pembimbing penulis, yang telah banyak memberikan saran dan masukan kepada penulis selama proses pengerjaan penelitian ini. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada rekan-rekan satu tim dan teman-teman seangkatan yang telah membantu penulis selama melaksanakan penelitian. Ungkapan terimakasih juga disampaikan kepada ayah ibu, serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Medan, 26 Maret 2024

Penulis



Muhammad Hussein

DAFTAR ISI

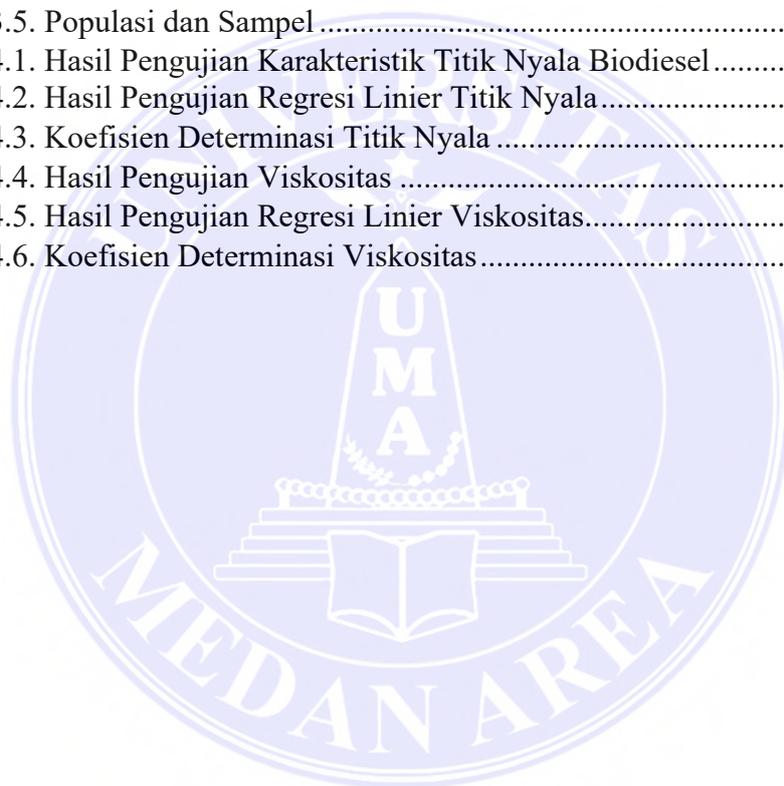
STUDI EKSPERIMENTAL TITIK NYALA DAN VISKOSITAS DIPRODUKSI DARI MINYAK GORENG LIMBAH	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Hipotesis Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Minyak Goreng Limbah (MGL)	7
2.2 Proses Transesterifikasi.....	9
2.2.1 Metanol	10
2.2.2 Katalis	11
2.3 Degumming.....	12
2.4 Esterifikasi.....	13
2.5 Biodiesel.....	14
2.5.1 Sifat Baku Mutu Diesel	16
2.5.2 Sifat-Sifat Penting Biodiesel.....	18
2.6 Uji Regresi	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	24
3.1.1 Waktu Penelitian	24
3.1.2 Tempat Penelitian	24
3.2 Bahan Dan Alat	25
3.2.1 Bahan	25
3.2.2 Alat.....	26
3.3 Metode Penelitian.....	28
3.4 Populasi dan Sampel	29
3.5 Prosedur kerja.....	30
3.5.1 Prosedur Pembuatan Biodiesel.....	30
3.5.2 Prosedur Pengujian Biodiesel	31

3.5.3 Diagram Alir Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Hasil	34
4.1.1 Hasil pengujian titik nyala	34
4.1.2 Hasil regresi pengaruh waktu terhadap titik nyala	36
4.1.3 Hasil pengujian viskositas	37
4.1.4 Hasil regresi pengaruh waktu terhadap viskositas	39
4.2 Pembahasan	41
4.2.1 Titik nyala	41
4.2.2 Viskositas	42
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Simpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR LAMPIRAN	45
DAFTAR PUSTAKA	46



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat-sifat minyak jelantah	8
Tabel 2.2. Komposisi Asam Lemak Minyak Jelantah	8
Tabel 2.3. Sifat Sifat Dan Kima Metanol.....	11
Tabel 2.4. Standar dan Mutu Bahan Bakar Nabati Jenis Biodiesel 2019	16
Tabel 2.5. European biodiesel standard (EN)	17
Tabel 2.6. Tabel Biodiesel Standar ASTM	18
Tabel 3.1. Waktu Kegiatan Penelitian.....	24
Tabel 3.2. Bahan Pembuatan Biodiesel.....	25
Tabel 3.3. Alat Pembuatan Biodiesel	26
Tabel 3.4. Komposisi Pembuatan Biodiesel	29
Tabel 3.5. Populasi dan Sampel	29
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Titik Nyala Biodiesel	34
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Regresi Linier Titik Nyala.....	36
Tabel 4.3. Koefisien Determinasi Titik Nyala	37
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Viskositas	38
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Regresi Linier Viskositas.....	40
Tabel 4.6. Koefisien Determinasi Viskositas	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis Homogen.....	12
Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian.....	33
Gambar 4.1. Grafik Waktu Reaksi vs Titik Nyala.....	35
Gambar 4.2. Grafik Waktu reaksi vs Viskositas.....	38



DAFTAR NOTASI

ml NaOH	:	jumlah ml NaOH untuk titrasi (l)
N	:	normalitas larutan NaOH (mol/l)
M	:	massa sampel (kg)
BM NaOH	:	bobot molekul NaOH (kg/mol)
v titran	:	volume titran blanko (mL)
v titran	:	volume titran (mL)
m lemak	:	massa lemak (gram)
N tiosulfat	:	natrium tiosulfat (N)
Bs	:	bilangan sabun (mg KOH/g biodiesel)
Vb	:	volume HCl untuk titrasi blanko (l)
Vc	:	volume HCl untuk titrasi sampel (l)
N	:	normalitas larutan HCl N
M	:	berat sampel biodiesel (kg)
ρ_{bd}	:	massa jenis biodiesel (kg/m ³)
M	:	massa sampel biodiesel (kg)
V	:	volume (m ³)
μ_{bd}	:	Viskositas biodiesel (m ² /s)
K	:	Koefisien bola baja <i>stainless</i> (mPa.s.m ³ /kg.s)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Sheet Hasil Pengujian Titik Nyala dan Viskositas 45



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini pertumbuhan penduduk dan ekonomi meningkatkan kebutuhan energi di dunia, khususnya di Indonesia. Sumber daya energi yang tersedia saat ini, terutama cadangan minyak, sangat terbatas di bagian dunia tertentu dan menurun dengan cepat karena perkembangan yang pesat. Menipisnya cadangan minyak menyebabkan munculnya sumber energi alternatif, termasuk biodiesel (Sinaga et al., 2014)

Seiring dengan meningkatnya penggunaan minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui, timbul permasalahan yang perlu diatasi dengan cara melakukan pencarian sumber energi alternatif terbarukan. Faktanya minyak merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui, namun untuk mengkonversi minyak bumi tersebut menjadi energi dibutuhkan waktu jutaan atau bahkan milyaran tahun untuk berubah menjadi minyak. Konsumsi minyak yang meningkat menyebabkan penipisan cadangan minyak bumi di seluruh dunia (Indra Darmawan & Susila, 2013).

Produksi mesin diesel di seluruh dunia memiliki dampak yang signifikan, meskipun penggunaan bahan bakar diesel terbatas, ada opsi untuk menggunakan biodiesel dalam mesin diesel. Biodiesel adalah jenis bahan bakar yang ramah lingkungan, tidak beracun, dan memiliki kadar belerang yang rendah (Idris et al., 2023).

Biodiesel adalah ester asam lemak yang diperoleh dari minyak nabati atau hewani dengan cara transesterifikasi atau esterifikasi dan dapat dijadikan sebagai bahan bakar solar. Potensi yang dihasilkan dari biodiesel tidak diragukan lagi sebagai alternatif pengganti bahan bakar solar. Karena biodiesel berasal dari bahan baku minyak nabati dan hewani, yang dapat diperbaharui untuk produksi reguler, mudah didapat, dan memiliki harga yang relatif stabil (Aziz, 2010)

Penggunaan mesin diesel memiliki efek yang dapat membahayakan bagi lingkungan dan kesehatan manusia akibat emisi gas buang dari mesin petro diesel. Biodiesel yang berasal dari berbagai sumber minyak nabati dan hewani saat ini menjadi solusi terbaik untuk mitigasi pencemaran udara yang semakin hari semakin meningkat (Saravanan et al., 2018)

Penelitian terhadap bahan bakar alternatif khususnya biodiesel dengan kualitas pembakaran yang baik dan emisi gas buang yang rendah sangat dianjurkan. Bahan baku yang biasa digunakan untuk produksi biodiesel adalah minyak nabati dan minyak nabati yang termasuk dalam kategori *edible* dan *nonedible*, dibandingkan dengan minyak lainnya, produksi minyak jelantah sangat penting, terutama di Indonesia yang ketersediaan minyak jelantah sangat tinggi dan biaya produksi biodiesel relatif rendah (Kolakoti & Satish, 2020).

Dengan meningkatnya konsumsi minyak goreng, potensi minyak jelantah juga meningkat secara signifikan. Selama ini, minyak jelantah sudah berkali-kali digunakan dalam pengolahan makanan. Menggunakan minyak jelantah dalam pengolahan makanan berbahaya bagi kesehatan dan dapat menyebabkan kanker. Adapun cara lain untuk mengurangi limbah minyak jelantah adalah dengan

mengolah minyak jelantah menjadi sumber energi terbarukan seperti biodiesel (Haryanto et al., 2015)

Minyak jelantah sangat mudah ditemukan di negara- negara padat penduduk seperti Indonesia, India, dan Cina, minyak yang dimasak oleh ibu rumah tangga umumnya dibuang begitu saja sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan sertan limbah minyak jelantah dari hotel dan restoran biasanya dibuang begitu saja yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan dan berakibat fatal bagi kehidupan selanjutnya. Untuk mengubah minyak jelantah menjadi sumber energi yang bermanfaat, dan membantu mengurangi ketergantungan impor dan meningkatkan lapangan kerja lokal.

Proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dilakukan melalui transesterifikasi minyak nabati dan metanol. Proses transesterifikasi adalah reaksi kimia dimana gugus gliserol dari molekul minyak nabati (trigliserida) diganti dengan molekul monoalkohol seperti metanol. Reaksi ini dapat dilakukan dengan mencampurkan minyak nabati dan NaOH dalam metanol sehingga menghasilkan produk biodiesel (Andalia & Pratiwi, 2018).

Katalis adalah zat yang mempercepat laju reaksi dan menurunkan energi aktivasi, tetapi zat tersebut tidak sepenuhnya bereaksi. Ketika reaksi selesai, massa katalis akan sama dengan yang ditambahkan pada awalnya. Zat yang menghambat reaksi disebut *inhibitor*. Dalam reaksi kimia, katalis bukanlah peserta tetap dalam reaksi, sehingga diasumsikan tidak ikut dalam reaksi. Secara umum, ada tiga jenis katalis yang digunakan dalam reaksi kimia, yaitu katalis homogen, katalis heterogen, dan biokatalis (*Enzim*), dan *Autokatalis*. Pada penelitian ini penulis membahas katalis homogen karena katalis homogen lebih unggul dari jenis katalis

lain untuk proses trasterifikasi biodiesel. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki bentuk yang sama dengan reaktan. Katalis homogen bertindak sebagai mediator dalam reaksi kimia. Katalis homogen yang digunakan antara lain NaOH, KOH, ZA, ZA kering, ZKOH, dan Z-KOH kering.

Salah satu bahan baku yang bisa digunakan untuk produkis *biodiesel* adalah minyak goreng limbah (MGL). MGL adalah minyak goreng yang telah berulang kali digunakan untuk menggoreng makanan sehingga menurunkan kualitas dan kandungan asam lemak bebas (FFA) yang tinggi (Elma, 2016). MGL adalah massa limbah yang dihasilkan oleh rumah tangga, pedagang kaki lima, restoran dan industri makanan. Penggunaan MGL sebagai bahan baku *biodiesel* dapat membawa manfaat ekonomi dan lingkungan, yaitu:

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan penelitian eksperimental tentang pengaruh berbagai variabel proses terhadap sifat fisik *biodiesel* terutama yang terbuat dari MGL, khususnya pada *viskositas*, titik nyala dan titik beku.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana variasi waktu reaksi dalam rentang 60, 70, 80, 90, dan 100 menit memengaruhi hasil Titik Nyala?
- b) Bagaimana variasi waktu reaksi dalam rentang 60, 70, 80, 90, dan 100 menit memengaruhi hasil Viskositas?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- a) Untuk mengetahui hasil dari variasi waktu reaksi 60, 70, 80, 90, 100 menit pada Titik Nyala.
- b) Untuk mengetahui hasil dari variasi waktu reaksi 60, 70, 80, 90, 100 menit pada Viskositas.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis ini didasarkan pada asumsi bahwa waktu reaksi akan mempengaruhi tingkat oksidasi tingkat keasaman dalam proses produksi biodiesel. Bahwa ada korelasi antara waktu reaksi dan tingkat oksidasi dan nilai asam biodiesel. Oleh karena itu, variasi waktu reaksi yang berbeda akan menghasilkan biodiesel dengan tingkat oksidasi yang berbeda pula, maka:

- a) H_0 =Nilai rata-rata karakteristik biodiesel sama dengan standard
- b) H_1 =Nilai rata-rata karakteristik biodiesel tidak sama dengan standard
- c) Taraf signifikan, $\alpha = 5 \%$
- d) Uji statistic
- e) Kriteria H_0 jika nilai $p\text{-value} < 0,05$

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

- a) Memberikan informasi dan data ilmiah tentang pengaruh berbagai variabel proses terhadap sifat fisik biodiesel yang terbuat dari MGL, terutama pada *viskositas*, titik nyala dan titik beku.

- b) Memberikan masukan dan rekomendasi mengenai kondisi proses yang optimal untuk menghasilkan biodiesel dari MGL dengan karakteristik fisik yang sesuai dengan mutu bahan baku bakar diesel.
- c) Berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berkaitan dengan produksi biodiesel dari limbah.
- d) Memberikan solusi alternatif terhadap permasalahan energi dan lingkungan yang dihadapi masyarakat dan negara.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Minyak Goreng Limbah (MGL)

Minyak Goreng Limbah (MGL) merupakan minyak yang berasal dari sisa minyak penggorengan bahan makanan. Minyak goreng limbah maupun minyak nabati yang baru tersusun atas gliserida yang mempunyai rantai karbon panjang, yaitu ester antara gliserol dengan asam karboksilat. Perbedaan minyak goreng limbah dengan minyak nabati yang baru terletak pada komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuhnya. Minyak goreng limbah memiliki kandungan asam lemak jenuh lebih besar dari minyak nabati yang baru. Hal ini disebabkan pada proses penggorengan terjadi perubahan rantai takjenuh pada senyawa penyusunnya. Komposisi asam lemak takjenuh minyak goreng limbah adalah 30% sedangkan asam lemak jenuh 70% (Sudarmadji. S. dkk, 2007).

Jika ditinjau dari komposisi kimianya, minyak goreng limbah atau minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogen, yang terjadi selama proses penggorengan. Zat karsinogen dapat menimbulkan berbagai keluhan dan penyakit seperti menimbulkan penyakit kanker, penyakit jantung, dan menghambat atau menurunkan kecerdasan generasi berikutnya.

Minyak goreng limbah memiliki kandungan peroksida yang tinggi, hal ini bias terjadi salah satunya disebabkan oleh pemanasan yang melebihi standar. Standar proses penggorengan normalnya berada dalam kisaran suhu 177 – 221⁰C. Sedangkan kebanyakan orang justru menggunakan minyak goreng pada suhu antara 200-300⁰C.

Pada suhu seperti ini, ikatan rangkap Penggunaan minyak goreng limbah jelas sangat tidak baik untuk kesehatan. Menurut para ahli kesehatan, minyak goreng hanya boleh digunakan dua sampai empat kali menggoreng (Winarno, 1997). Karena setiap dipakai minyak akan mengalami penurunan mutu. Sifat-sifat minyak jelantah dapat dilihat pada table 2.1. dibawah ini.

Tabel 2.1. Sifat-sifat minyak jelantah

No	Sifat Fisik Minyak Jelantah	Sifat Kimia Minyak Jelantah
1	Warna coklat kekuning-kuningan	Hidrolisa, minyak akan diubah menjadi asam lemak bebas dan gliserol
2	Berbau tengik	Proses oksidasi berlangsung bila terjadi kontak antara sejumlah oksigen dengan minyak
3	Terdapat Endapan	Proses hidrogenasi bertujuan untuk menumbuhkan ikatan rangkap darirantai karbon asam lemak pada minyak

Di Indonesia minyak goreng merupakan komoditi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Dengan demikian sisa pakainya, disadari atau tidak, dapat mengotori lingkungan, yang pada akhirnya dapat mengganggu kesehatan dan lingkungan. Minyak jelantah sebagai limbah akan menjadi bahan yang bermanfaat jika diolah untuk penggunaan yang lain. Potensi yang cukup besar untuk dikembangkan adalah menjadi bahan bakar biodiesel karena memiliki asam lemak yang tinggi. Komposisi asam lemak minyak jelantah dari minyak goreng sawit ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Komposisi Asam Lemak Minyak Jelantah

No	Kriteria	Nilai	Satuan
1	Asam Palmitat	21,47	m%
2	Asam Stearat	13	m%
3	Asam Oleat	28,64	m%
4	Asam Linoleat	13,58	m%
5	Asam Linoleneat	1,59	m%
6	Asam Miristat	3,21	m%

2.2 Proses Transesterifikasi

Metode yang paling umum untuk mengubah minyak goreng bekas menjadi biodiesel adalah transesterifikasi. Transesterifikasi adalah suatu metode perubahan suatu ester menjadi ester lain ketika minyak nabati di reaksikan dengan metanol dalam pengawetan katalis untuk menghasilkan metil ester serta biodiesel dan sejumlah gliserin. Reaksi transesterifikasi bertujuan untuk menurunkan viskositas minyak atau lemak agar dapat memenuhi spesifikasi sebagai bahan bakar. Terdapat berbagai metode reaksi transesterifikasi melalui berbagai variasi bahan baku, jenis alkohol, katalis, temperatur reaksi, waktu reaksi, jenis reaktor dan proses pemisah.

Biodiesel diperoleh dari reaksi minyak tanaman (trigliserida) dengan alkohol yang menggunakan katalis basa pada suhu dan komposisi tertentu, sehingga di hasilkan dua zat yang disebut alkil ester (umumnya metil ester atau sering disebut biodiesel) dan liserol, proses reaksi ini disebut transesterifikasi (Ma & Hanna, 1999). Transesterifikasi merupakan suatu proses penggantian alkohol dari suatu gugus ester (trigliserida) dengan ester lain atau mengubah asam-asam lemak kedalam bentuk ester sehingga menghasilkan alkil ester. Proses tersebut dikenal sebagai proses alkoholisis (Fukuda et al., 2001).

Proses alkoholisis ini merupakan reaksi biasanya berjalan lambat namun dapat dipercepat dengan bantuan suatu katalis. Selain itu transesterifikasi didefinisikan sebagai reaksi pembentukan metal atau etilester dengan mereaksikan komponen minyak yaitu trigliserida dengan alkohol (methanol atau etanol) dibantu dengan katalis basa atau asam. Hasil sampingan dari transesterifikasi adalah gliserin. Reaksi transesterifikasi tidak akan berjalan selama masih terkandung asam lemak bebas di atas 7%. Oleh karena itu, dalam pembuatan

biodiesel harus melalui dua tahap reaksi. Tahap pertama untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dan tahap kedua untuk mengkonversi trigliserida menjadi metilester (biodiesel).

Transesterifikasi adalah suatu reaksi yang menghasilkan ester dimana salah satu pereaksinya juga merupakan senyawa ester. Jadi disini terjadi pemecahan senyawa trigliserida dan migrasi gugus alkil antara senyawa ester. Ester yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi ini disebut biodiesel.

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi bolak balik yang relatif lambat. Untuk mempercepat jalannya reaksi dan meningkatkan hasil, proses dilakukan dengan pengadukan yang baik, penambahan katalis dan pemberian reaktan berlebih agar reaksi bergeser ke kanan. Pemilihan katalis dilakukan berdasarkan kemudahan penanganan dan pemisahannya dari produk. Untuk itu dapat digunakan katalis asam, basa dan penukar ion. Transesterifikasi menghasilkan metil ester asam lemak (FattyAcids MethylEsters/FAME) atau biodiesel dan gliserol sebagai produk samping. Katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi adalah basa/alkali (Hikmah & Zuliyana, 2015).

2.2.1 Metanol

Metil alkohol atau metanol atau sering juga disebut karbinol merupakan larutan polar yang larut dalam air, alkohol, ester dan pelarut organik lainnya. Metanol mempunyai rumus molekul CH_3OH adalah alkohol alifatik sederhana. Reaksinya ditentukan oleh gugus hidroksil fungsional, sedangkan reaksi terjadi oleh gugus $\text{C}-\text{O}$ atau $\text{O}-\text{H}$.

Metanol merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada "keadaan atmosfer" metanol berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak

berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan daripada etanol). Penggunaan metanol sebesar 85% digunakan sebagai bahan baku serta bahan pelarut sintetis. Dalam hal ini metanol direaksikan dengan trigliserida akan menghasilkan metilester. Metanol merupakan jenis alkohol yang paling disukai dalam pembuatan biodiesel karena metanol (CH_3OH) mempunyai keuntungan lebih mudah bereaksi lebih stabil dibandingkan dengan etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Metanol memiliki satu ikatan karbon sedangkan etanol memiliki dua ikatan karbon, sehingga metanol lebih mudah memperoleh pemisahan gliserol. Keberadaan metanol dalam proses transesterifikasi adalah untuk memutuskan hubungan gliserin dengan zat asam lemak (Perry et al., 1997). Adapun sifat fisik dan kimia dari metanol dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3. Sifat Sifat Dan Kima Metanol

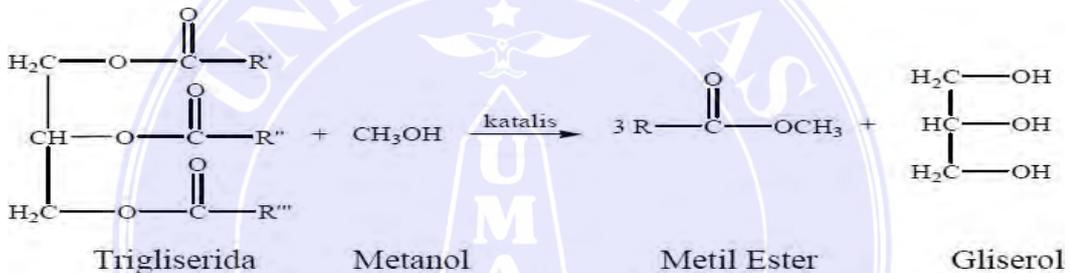
No	Karakteristik	Nilai
1	Massa molar	32.04 kg/mol
2	Wujud cairan	tidak berwarna
3	<i>Spesific gravity</i>	0.7918
4	Titik leleh	-97 °C, -142.9 °F (176 K)
5	Titik didih	64.7 °C, 148.4 °F (337.8 K)
6	Kelarutan dalam air	sangat larut
7	Keasaman (pKa)	~ 15.5

2.2.2 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat suatu laju reaksi dan menurunkan energi aktivasi, namun zat tersebut tidak habis bereaksi. Ketika reaksi selesai, maka akan mendapatkan massa katalis yang sama seperti pada awal yang di tambahkan. Zat yang menghambat berlangsungnya reaksi disebut inhibitor. Dalam suatu reaksi kimia, katalis tidak ikut bereaksi secara tetap sehingga dianggap tidak ikut bereaksi.

Secara umum, katalis yang digunakan dalam reaksi kimia ada tiga jenis, yaitu katalis homogen, katalis heterogen, biokatalis (Enzim), dan Auto katalis.

Penelitian akan membahas katalis homogen karena katalis homogen lebih baik daripada jenis katalis lainnya untuk proses transesterifikasi biodiesel. Katalis homogen adalah katalis yang wujudnya sama dengan wujud reaktannya. Dalam reaksi kimia, katalis homogen berfungsi sebagai zat perantara (fasilitator). Beberapa jenis katalis homogen yang telah digunakan antara lain NaOH, KOH, ZA, ZA kering, ZKOH, dan Z-KOH kering. Pada penelitian ini penulis memilih NaOH atau natrium hidroksida, terjadi reaksi dibawah ini:



Gambar 2.1. Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis Homogen

2.3 Degumming

Degumming merupakan pre-treatment yang bertujuan untuk memisahkan gum (getah atau lendir) berupa fosfolipid, protein, karbohidrat, dan resin (polimer). Selain itu, degumming ini juga bertujuan untuk mengurangi ion logam (Fe^{3+} , Cu^{2+}), memudahkan proses pemurnian selanjutnya, dan memperkecil terjadinya loss pada minyak.

Proses degumming ini dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pemanasan, penambahan asam fosfat, penambahan natrium hidroksida, hidrasi, dan penggunaan pereaksi khusus seperti asam format, natrium klorida, dan natrium

fosfat. Secara garis besar, terdapat dua jenis proses degumming, yaitu: water degumming yang dilakukan dengan penambahan air pada suhu minyak 60- 90°C yang diikuti proses pemisahan dengan gaya sentrifugal dan acid degumming yang dilakukan untuk pospatida yang tidak dapat dihilangkan melalui pemanasan, terdapat penambahan larutan asam (asam sitrat atau asam fosfat) dan sejumlah metanol. Proses degumming dengan menambahkan asam fosfat adalah proses yang paling banyak dilakukan dalam industri.

Asam fosfat dan sitrat biasa digunakan pada proses degumming karena dapat mengikat logam berat. Asam fosfat sebagai degumming agent sangat baik digunakan dalam proses pemurnian minyak kelapa. Jika dosis asam fosfat yang digunakan terlalu tinggi, kandungan senyawa fosfat dalam minyak juga tinggi sehingga tidak bisa dihilangkan pada proses bleaching. Konsentrasi asam fosfat yang digunakan adalah 85%. Tujuan penambahan asam fosfat adalah untuk mengendapkan phosphatide yang bersifat nonhydratable menjadi hydratable sehingga dapat dipisahkan dari minyak melalui proses pencucian (Hasibuan & Made Ayu Yudawati, 2013).

2.4 Esterifikasi

Esterifikasi merupakan reaksi untuk membentuk senyawa ester. Ester-ester organik banyak digunakan di industri, yaitu sebagai solven, bahan parfum, bahan aroma buatan, dan prekursor bahan-bahan farmasi. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi yang berjalan lambat sehingga membutuhkan katalis untuk menunjang kecepatan reaksi. Maka dari itu banyak penelitian dilakukan untuk mempelajari kinetika reaksi, baik dengan katalis homogen maupun heterogen. Katalis homogen

yang biasa digunakan dalam industri adalah asam sulfat. Ion H^+ dari asam sulfat sebagai asam kuat mendorong asam karboksilat untuk terprotonasi sehingga reaksi dapat terjadi. Oleh karena itu asam sulfat memiliki aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis heterogen seperti resin atau zeolit.

Reaksi esterifikasi adalah reaksi bolak-balik sehingga konversi dibatasi oleh konversi kesetimbangan, umumnya mengambil perbandingan komposisi pereaksi dengan jumlah alkohol berlebihan dengan maksud memperbesar konversi kesetimbangan. Untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk, dilakukan berbagai cara, yaitu dengan menggunakan reaktan yang berlebih (excess), menghilangkan air dari campuran dengan menambahkan benzene sebagai cosolvent dan mendistilasi campuran azeotrop air dan benzene, serta mengatur suhu reaksi esterifikasi hingga kesetimbangan bergeser ke arah produk (Fakhry & Rahayu, 2016).

2.5 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel yang diproduksi dari minyak tumbuhan atau lemak hewan. Penggunaan biodiesel dapat dicampur dengan petroleum diesel (solar). Biodiesel mudah digunakan, bersifat biodegradable, tidak beracun, dan bebas dari sulfur dan senyawa aromatik. Selain itu biodiesel mempunyai nilai flashpoint (titiknyala) yang lebih tinggi dari petroleum diesel sehingga lebih aman jika disimpan dan digunakan karena bahan bakunya yang berasal dari minyak nabati sehingga dapat diperbaharui, dapat dihasilkan secara periodik dan mudah diperoleh (Kolakoti et al., 2021). Selain itu harganya relatif stabil dan produksinya mudah disesuaikan dengan kebutuhan.

Biodiesel juga merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan, tidak mengandung belerang sehingga dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh hujan asam (*rainacid*).

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari sumber terbarukan (renewable), dengan komposisi ester asam lemak dari minyak nabati antara lain: minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak biji kapuk, dan masih ada lebih dari 30 macam tumbuhan Indonesia yang potensial untuk dijadikan biodiesel (Jain & Sharma, 2010). Biodiesel memiliki beberapa keunggulan diantaranya efisiensi pembakaran dan angka setana yang lebih tinggi daripada bahan bakar diesel turunan minyak bumi. Biodiesel memiliki kandungan senyawa sulfur dan aromatik yang lebih rendah daripada bahan bakar diesel sehingga emisi gas berbahaya hasil pembakarannya lebih rendah daripada emisi bahan bakar diesel turunan minyak bumi.

Biodiesel juga dapat terdegradasi secara alami. Lebih dari 90% biodiesel dapat terdegradasi secara biologis selama 21 hari. Biodiesel adalah monoalkilester yang diperoleh dari reaksi esterifikasi atau transesterifikasi asam-asam lemak rantai panjang dan alkohol dengan bantuan katalis asam dan basa. Biodiesel bersifat ramah lingkungan karena memiliki emisi pembakaran yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel berbasis petroleum. Selain itu, bahan baku pembuatan biodiesel dapat diperoleh dari limbah, seperti minyak goreng bekas.

Secara umum biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbaru seperti minyak

sayur atau lemak hewan. Biodiesel dimanfaatkan untuk menggantikan peran energi fosil yang tidak dapat terbarukan dan meninggalkan lebih banyak emisi Gas Rumah Kaca sehingga menurunkan kualitas lingkungan.

Biodiesel tidak mengandung nitrogen atau senyawa aromatik dan hanya mengandung kurang dari 155 ppm (part permillion) sulfur. Biodiesel mengandung 11% oksigen dalam persen berat yang keberadaannya mengakibatkan berkurangnya kandungan energi namun menurunkan kadar emisi gas buang yang berupa karbon monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), partikulat dan jelaga. Kandungan energi biodiesel 110% lebih rendah bila dibandingkan dengan solar, sedangkan efisiensi bahan bakar biodiesel lebih kurang dapat dikatakan sama dengan solar, yang berarti daya dan torsi yang dihasilkan proporsional dengan kandungan nilai kalor pembakarannya.

Kandungan asam lemak dalam minyak nabati yang merupakan bahan baku dari biodiesel menyebabkan bahan bakar biodiesel sedikit kurang stabil dibandingkan dengan solar, kestabilan yang tidak stabil dapat meningkatkan kandungan asam lemak bebas, menaikkan viskositas, terbentuknya gums, dan terbentuknya sedimen yang dapat menyumbat saringan bahan bakar

2.5.1 Sifat Baku Mutu Diesel

Suatu teknik pembuatan biodiesel hanya akan berguna apabila produk yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi (syarat mutu) yang telah ditetapkan dan berlaku di daerah pemasaran biodiesel tersebut. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.4 (ESDM, 2019).

Tabel 2.4. Standar dan Mutu Bahan Bakar Nabati Jenis Biodiesel 2019.

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m ³	850 – 890
2	Viskositas 40 °C	m ² /s	2,3 – 6,0

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
3	Angka Setana	Min	51
4	Titik Nyala (mangkok tertutup)	°C, min	130
5	Korosi Lempeng Tembaga		nomor 1
6	Residu karbon dalam percontoh asli; atau dalam 10% ampasdistilasi	%-massa, maks	0,05 0,3
7	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360
8	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02
9	Belerang	mg/kg, maks	10
10	Fosfor	mg/kg, maks	4
11	Angka Asam	mg-KOH/g, maks	0,4
12	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
13	Gliserol total	%-massa, maks	0,24
14	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5
15	Angka iodium	%-massa (g-I ₂ /100 g), Maks	115
16	Kestabilan oksidasi Periode induksi metode rancimat atau	Menit	600
17	Periode induksi metode petro Oksi	Menit	45
18	Monogliserida	%-massa, maks	0,55
19	Warna	Maks	3
20	Kadar air	Ppm, maks	350

Ada beberapa parameter biodiesel lainnya seperti standar amerika (ASTM) dan standar eropa (EN) berikut ini standar kedua parameter tersebut dapat dilihat pad tabel 2.5.

Tabel 2.5. European biodiesel standard (EN)

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Densityat15°C	kg/m ²	860-900
2	Viskositas 40°C	mm ² /s	3,5-5,0
3	Flashpoint	°C	120
4	Sulfurcontent	mg/kg	10.0
5	Carbonresidue	%(m/m)	0.30
6	Sulfated ash content	%(m/m)	0.02
7	Watercontent	mg/kg	500
8	Total contaminaion	mg/kg	24
9	Oxidative stability, 110 ⁰ c	Hours	4.0
10	Acidvalue	mg KOH/g	0,50
11	Iodinevalue	gI/100g	130
12	Linolenicacidcontent	%(m/m)	12

No	Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
13	Methanolcontent	%(m/m)	0.20
14	Monoglyceridecontent	%(m/m)	0.80
15	Diglyceridecontent	%(m/m)	0.20
16	Triglyceridecontent	%(m/m)	0.20
17	Freeglycerine	%(m/m)	0.02
18	Totalglycerine	%(m/m)	0.25
19	Alkalimetals(Na+K)	mg/kg	5.0
20	Earthalkalimetals(Ca+Mg)	mg/kg	5.0
21	Phosphoruscontent	mg/kg	10.0

Berikut ini standar parameter ASTM pada biodiesel, dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6. Tabel Biodiesel Standar ASTM

No	Parameter Uji	Satuan min/maks	Persyaratan
1	Density at 15°C	kg/m ³	890
2	DistillationT90	°C	360
3	Sulfatedash	%(m/m)	0,20
4	Viskositas 40°C	mm ² /s	3,5-5,0
5	Flashpoint	°C	120
6	Estercontent	%(m/m)	96,5
7	Phosphorus	mg/kg	10
8	Acidvalue	mgKOH/g	0,80
9	Totalcontamination	mg/kg	24
10	Freeglycerol	%(m/m)	0,02

2.5.2 Sifat-Sifat Penting Biodiesel

a) Bilangan Asam

Pengukuran bilangan asam dilakukan dengan cara titrasi menggunakan larutan NaOH 0.025 N. Angka asam biodiesel dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ bilangan asam} = \frac{\text{ml NaOH} \times N \times \text{BM NaOH}}{M \times 1000} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

ml NaOH : jumlah ml NaOH untuk titrasi (l)

N : normalitas larutan NaOH (mol/l)

M : massa sampel (kg)

BM NaOH : bobot molekul NaOH (kg/mol)

b) Bilangan Iodin

Tingkat tidak jenuhan atau banyaknya ikatan rangkap asam-asam lemak penyusun biodiesel ditunjukkan melalui bilangan iod. Banyaknya senyawa asam lemak tak jenuh meningkatkan ferpormansi biodiesel pada temperature rendah karena senyawa ini memiliki titik leleh (Melting Point) yang lebih rendah.

Biodiesel yang memiliki bilangan iod yang tinggi akan mengakibatkan polimerisasi dan pembentukan deposit pada injector noozle dan cincin piston pada saat mulai pembakaran Berdasarkan standar biodiesel Indonesia nilai maksimum bilangan Iod yang diperbolehkan untuk biodiesel yaitu 115gram Iod/100 gram. Bilangan iodin dapat ditentukan dengan persamaan (2.2).

$$\text{Bil. iod} = \frac{\text{vol titran (ml)}(\text{blanko-sampel})}{\text{massa lemak (g)}} \times N \text{ natrium tiosulfat} \times 12,691 \dots (2.2)$$

dimana:

$$v \text{ titran blanko} = 7 \text{ L}$$

$$v \text{ titran sampel} = 2 \text{ L}$$

$$m \text{ lemak} = 0,5 \text{ Kg}$$

$$N \text{ natrium tiosulfat} = 0,1 \text{ N}$$

c) Angka Sentana

Bilangan setana menunjukkan seberapa cepat bahan bakar mesin diesel yang dapat diinjeksikan keruang bahan bakar agar terbakar secara spontan. Struktur hidrokarbon penyusun minyak mempengaruhi bilangan setana pada biodiesel. Semakin rendah bilangan cetana maka semakin rendah pula kualitas penyalaan karena memerlukan suhu yang lebih tinggi. Semakin tinggi angka setana, semakin

cepat pembakaran semakin baik efisiensi termodinamisnya. Angka setana yang tinggi berpengaruh signifikan terhadap waktu singkat yang diperlukan antara bahan bakar diinjeksikan dengan inisiasi sehingga menyebabkan start yang baik dan suara yang halus pada mesin. Angka setana yang lebih tinggi akan memastikan start yang baik dan meminimalkan pembentukan asap putih.

Untuk menghitung nilai angka setana menggunakan Calculated Cetane Index (CCI) untuk memperkirakan cetane number. Terdapat dua metode pengujian cetane number, ASTM D 976 dan D 4737, keduanya berdasarkan ASTM D 86 distillation dan density.

Untuk menghitung CCI, langkah-langkah yang diperlukan adalah sebagai berikut pada persamaan (2.3);

- a) Tetapkan distillation range sesuai prosedur analisis distillation range – ASTM D 86
- b) Tetapkan API sesuai prosedur analisis ASTM D 1298
- c) Hitung CCI dengan persamaan sebagai berikut;

$$CCI = 45.2 + (0.0892)(T_{10N}) + [0.131 + (0.901)(B)][T_{50N}] + [0.0523 - (0.420)(B)][T_{90N}] + [0.00049][T_{10N}]^2 - (T_{90N})^2 + (107)(B) + (60)(B)^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

CCI = Calculated Cetane Index dengan persamaan empat variabel,

D = Density pada 15⁰C, g/mL ditetapkan dengan metoda uji ASTM D 1289 atau D 4052,

DN = D - 0.85,

B = [e^{(-3.5)(DN)}]-1,

T10 = 10% recovery temperature, ⁰C,

T10N = T10 – 215,

$T_{50} = 50\%$ recovery temperature, $^{\circ}\text{C}$,

$T_{50N} = T_{50} - 260$

$T_{90} = 90\%$ recovery temperature, $^{\circ}\text{C}$, dan

$T_{90N} = T_{90} - 310$.

d) Kadar Air

Kadar air dalam minyak sangat berpengaruh pada kualitas minyak. Semakin kecil kadar air yang terdapat dalam minyak maka semakin baik kualitas minyak, hal ini dapat mengurangi kemungkinan terjadinya reaksi hidrolisis yang dapat menyebabkan kenaikan kadar asam lemak bebas. Kandungan air dalam bahan bakar juga menyebabkan turunnya panas pembakaran, berbisa dan bersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur karena akan membentuk asam.

e) Titik Nyala (Flash Point)

Titik nyala (flash point) adalah suhu terendah dimana suatu bahan bakar tersebut mudah terbakar ketika bereaksi dengan udara. Titik nyala yang sangat tinggi dapat menyebabkan detonasi yaitu ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ruang pembakaran. Hal ini juga dapat meningkatkan risiko berbahaya pada saat penyimpanan.

f) Densitas

Densitas atau Massa jenis menunjukkan perbandingan massa persatuan volume, karakteristik ini berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel persatuan volume bahan bakar. Kerapatan suatu fluida (ρ) dapat didefinisikan sebagai massa per satuan volume. Massa jenis biodiesel (\tilde{n}_{bd}) diukur dengan metode paling sederhana menggunakan piknometer dan dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4).

$$\tilde{n}_{bd} = m / v \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana :

\tilde{n}_{bd} = massa jenis biodiesel (kg/m^3)

m = massa sampel biodiesel (kg)

v = volume (m^3)

g) Viskositas

Viskositas (kekentalan) merupakan sifat yang menunjukkan resistensi fluida terhadap alirannya, karena gesekan di dalam bagian cairan yang berpindah dari suatu tempat ke tempat yang lain mempengaruhi pengatoman bahan bakar dengan injeksi kepada ruang pembakaran, akibatnya terbentuk endapan pada mesin. Viskositas yang tinggi akan mengakibatkan kecepatan aliran akan lebih lambat sehingga proses derajat atomisasi bahan bakar akan terlambat pada ruang bakar. Viskositas biodiesel diukur menggunakan *falling ball viscometer* dan di tentukan menggunakan persamaan (2.4).

$$\lambda_{bd} = K (\tilde{n}_{bola} - \tilde{n}_{bd}) t \dots\dots\dots (2.5)$$

λ_{bd} = Viskositas biodiesel (m^2/s)

K = Koefisien bola baja *stainless* ($\text{mPa.s.m}^3/\text{kg.s}$)

\tilde{n}_{bola} = Massa jenis bola baja (kg/m^3)

\tilde{n}_{bd} = Masa jenis biodiesel (kg/m^3)

t = Waktu aliran bola (s)

2.6 Uji Regresi

Kegunaan uji regresi adalah untuk memprediksi variable terikat Y jika variable bebas X diketahui. Regresi dapat dianalisis karena didasari oleh hubungan fungsional atau hubungan kasual variable bebas X terhadap variable

bebas Y. perbedaan mendasar uji korelasi dengan uji regresi adalah, uji regresi selalu menyertakan uji korelasi, sementara uji korelasi belum tentu ditindaklanjuti dengan uji regresi. Uji korelasi yang tidak ditindaklanjuti dengan uji regresi biasanya memiliki variable-variabel yang tidak memiliki kedekatan fungsional atau kausal (sebab akibat).

Persamaan regresi sederhana dirumuskan sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a + bX \dots \dots \dots (2.6)$$

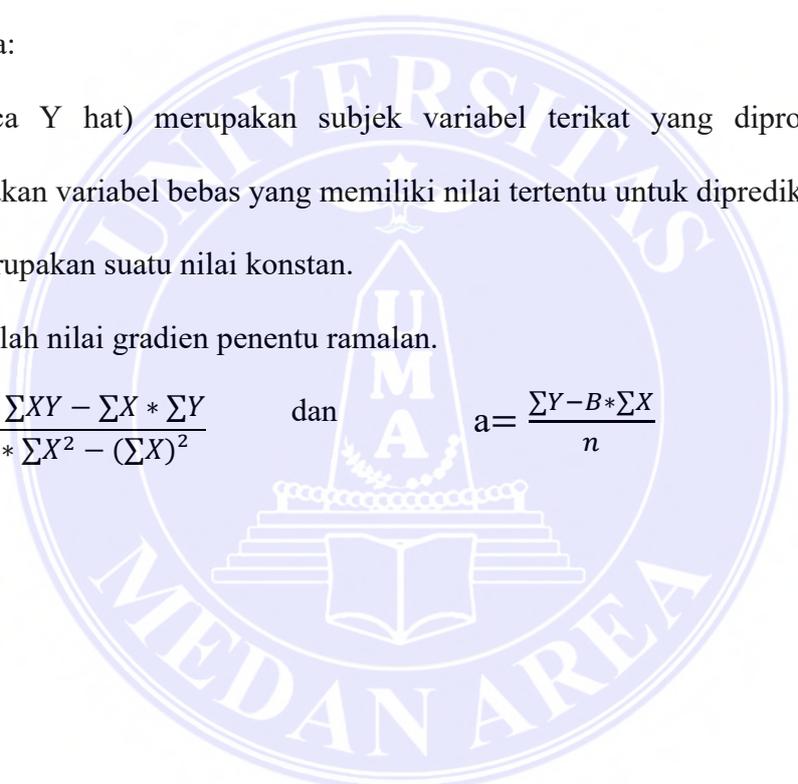
Dimana:

\hat{Y} (baca Y hat) merupakan subjek variabel terikat yang diproyeksikan, X merupakan variabel bebas yang memiliki nilai tertentu untuk diprediksikan.

a = merupakan suatu nilai konstan.

b = adalah nilai gradien penentu ramalan.

$$b = \frac{n * \sum XY - \sum X * \sum Y}{n * \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad \text{dan} \quad a = \frac{\sum Y - B * \sum X}{n}$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama 4 bulan dengan agenda aktivitas penelitian dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Waktu Kegiatan Penelitian

Aktifitas	2024															
	Bulan I				Bulan II				Bulan III				Bulan IV			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pengajuan Judul	■															
Penulisan Proposal		■	■													
Seminar Proposal				■												
Proses Penelitian					■	■	■	■								
Pengolahan Data									■	■	■	■				
Penyelesaian Laporan													■	■		
Seminar Hasil															■	■
Evaluasi dan persiapan Sidang															■	■
Sidang Sarjana																■

3.1.2 Tempat Penelitian

Aktivisas penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Laboratorium Energi Baru Terbarukan (EBT) Politeknik Negri Medan.

3.2 Bahan Dan Alat

3.2.1 Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam pembuatan biodiesel ini dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Bahan Pembuatan Biodiesel

No	Nama Bahan	Gambar	Keterangan
1	Minyak Goreng Limbah (MGL)		Limbah minyak goreng menjadi bahan utama dalam pembuatan biodiesel dalam penelitian ini. Minyak goreng yang digunakan diambil dari sisa-sisa rumah makan dan restoran.
2	H ₃ PO ₄		Larutan H ₃ PO ₄ (asam fosfat) merupakan larutan yang digunakan dalam proses degumming (pemisahan getah).
3	H ₂ SO ₄		Larutan H ₂ SO ₄ (asam sulfat) merupakan larutan yang digunakan dalam proses esterifikasi dalam pembuatan biodiesel.
4	NaOH		Natrium hidroksida, juga dikenal sebagai soda api, merupakan senyawa ionik yang berbentuk padatan putih. Dalam penelitian ini, natrium hidroksida digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel.
5	Metanol		Metanol atau juga disebut dengan metilalkohol adalah bentuk alkohol paling sederhana, yang berbentuk cairan ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar dan beracun. Pada penelitian ini methanol berfungsi sebagai campuran dengan katalis pada proses

No	Nama Bahan	Gambar	Keterangan
6	Aquades		Trasenterifikasi dalam pembuatan biodiesel. Aquades atau air destilasi adalah air yang dihasilkan melalui proses penyulingan atau destilasi untuk menghilangkan sebagian besar zat-zat terlarut. Dalam pencucian biodiesel, aquades digunakan untuk menghilangkan sisa katalis yang masih menempel pada biodiesel.

3.2.2 Alat

Alat – alat yang digunakan dalam pembuatan biodiesel ini dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. Alat Pembuatan Biodiesel

No	Nama Alat	Gambar	Keterangan
1	Timbangan digital		Timbangan digital digunakan untuk menghitung berat zat kimia yang berbentuk bubuk, seperti natrium hidroksida (NaOH).
2	Gelas ukur		Gelas ukur berskala digunakan untuk mengukur bahan kimia larutan methanol (CH ₃ OH) dan limbah minyak goreng (WCO) dan air.
3	Hot Plate Magnetic Stirrer		<i>Hot Plate Magnetic Stirrer</i> berperan dalam memanaskan dan mengaduk katalis metanoksida (metanol dan natrium hidroksida) sebelum larutan metanoksida dicampurkan dengan limbah

No	Nama Alat	Gambar	Keterangan
			minyak goreng di dalam reaktor berlapis ganda.
4	Double jacketed glass reactor		Alat <i>Double jacketed glass reactor</i> dalam penelitian ini berfungsi untuk pencampuran, reaksi, distilasi dan filtrasi dalam produksi biodiesel.
5	Corong		Corong digunakan untuk mentransfer biodiesel atau metanol dari satu botol ke botol lain dengan cara yang efisien dan tanpa adanya tumpahan atau kebocoran.
6	Sparator (tabung pemisah)		Tabung pemisah atau separator digunakan untuk memisahkan biodiesel dari gliserol, serta berperan dalam memisahkan biodiesel dari air destilasi saat proses pencucian biodiesel.
7	Evaporator rotari		Evaporator Rotari atau rotavap digunakan untuk menghilangkan residu larutan metanoksida (metanol dan natrium hidroksida) yang tidak terpisah ketika dipisahkan menggunakan dengan cara menguapkannya alat pemisah.
8	Kertas saring		Kertas saring memiliki fungsi untuk menyaring residu makanan dari limbah minyak goreng serta berperan dalam menyaring sisa katalis selama proses transesterifikasi

No	Nama Alat	Gambar	Keterangan
9	Sarung tangan		Sarung tangan berfungsi sebagai perlindungan untuk tangan dari bahan kimia yang dapat menyebabkan luka bakar atau iritasi kulit selama proses pembuatan biodiesel.
10	Aquastil Water Destilasi		Aquastil water destilasi merupakan alat yang digunakan untuk mendapatkan air murni melalui proses penyulingan.
11	Pensky Martens Flash Point		<i>Pensky Martens Flash Point</i> digunakan untuk mengukur titik nyala (flash point) biodiesel menggunakan metode ASTM D93.
12	Stabinger vicometer SVM 3001		Alat pengujian ini berfungsi untuk mengukur viskositas dan densitas biodiesel menggunakan metode ASTM D455.
13	ECH Triator		ECH Triator merupakan alat pengujian yang berfungsi untuk menentukan bilangan asam serta bilangan iodin.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan yaitu dengan cara experiment. variable dalam penelitian ini yaitu katalis yang terdiri dari natrium hidroksida (NaOH) dan larutan metanol (CH₃OH). Table komposisi dari pembuatan biodiesel bisa dilihat pada table 3.4.

Tabel 3.4. Komposisi Pembuatan Biodiesel

No	WCO	NaOH	Metanol
1	L	%	
2	0.3	0,5	1:2

3.4 Populasi dan Sampel

Dalam konteks teknis analisis dan metode pengujian pengaruh reaksi waktu terhadap angka setana pada pembuatan biodiesel berbasis minyak goreng limbah, populasi dan sampel dapat dijelaskan sebagai berikut (tabel Populasi ini mencakup semua kemungkinan kombinasi waktu reaksi yang mungkin digunakan dalam pembuatan biodiesel berbasis minyak goreng limbah). Sampel ini terdiri dari beberapa sampel biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan waktu reaksi yang berbeda. Tabel pupolasi dan sampel bisa dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3.5. Populasi dan Sampel

No	Waktu reaksi	Titik nyala	viskositas
1	60	-	-
2	70	-	-
3	80	-	-
4	90	-	-
5	90	-	-

Teknis analisis dan metode pengujian pengaruh reaksi waktu terhadap bilangan oksidasi dan bilangan asam, sampel-sampel ini akan diuji menggunakan metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Hasil dari pengujian sampel akan memberikan pemahaman tentang pengaruh reaksi waktu terhadap kedua parameter tersebut. Namun, penting untuk diingat bahwa kesimpulan yang ditarik dari sampel-sampel tersebut harus diterapkan dengan hati-hati ke dalam populasi secara keseluruhan.

3.5 Prosedur kerja

3.5.1 Prosedur Pembuatan Biodiesel

- a) Sediakan minyak goreng limbah sebanyak 0,9 kg untuk proses degumming menggunakan alat DJR (Double Jacket Reaktor) dengan campuran 2% H_3PO_4 dari minyak yang di degumming selama 30 min.
- b) Setelah itu masukkan ke tabung pemisah selama 15 min.
- c) Setelah proses degumming dilanjutkan proses esterifikasi yaitu dengan menambahkan bahan kimia H_2SO_4 0,75% dari minyak yang ingin digunakan, proses esterifikasi menggunakan alat DJR (double Jacket Reaktor) selama 30 min.
- d) Setelah itu masukkan kedalam tabung pemisah selama 30 min.
- e) Kemudian dilanjutkan ke proses transesterifikasi dimana ditambahkan bahan metanol 1:2 dan NaOH sebanyak 0,5% dan dilakukan menggunakan alat DJR (Double Jacket Reaktor) pada putaran 1050 rpm, suhu $60^{\circ}C$ dan waktu sesuai variasi yang di inginkan.
- f) Setelah selesai kemudian minyak dimasukkan ke tabung pemisah kurang lebih 15 min.
- g) Dilanjutkan proses pencucian menggunakan aquades dengan cara di injeckkan dan minyak di aduk dengan pelan-pelan supaya tidak terjadi penyabunan.
- h) Setelah itu biarkan hingga aquades turun selama kurang lebih 5 min dan kemudian minyak goreng limbah di masukkan kedalam evaporator.
- i) Proses penguapan dengan alat evaporator dimana menggunakan sisa-sisa dari aquadest dan metanol.

- j) Kemudian minyak disaring menggunakan kertas saring untuk menghilangkan sisa-sisa bahan kimia yang melekat dari minyak proses pembuatan biodiesel.

3.5.2 Prosedur Pengujian Biodiesel

1) Pengujian dengan *Pensky Martens Flash Point Tester*

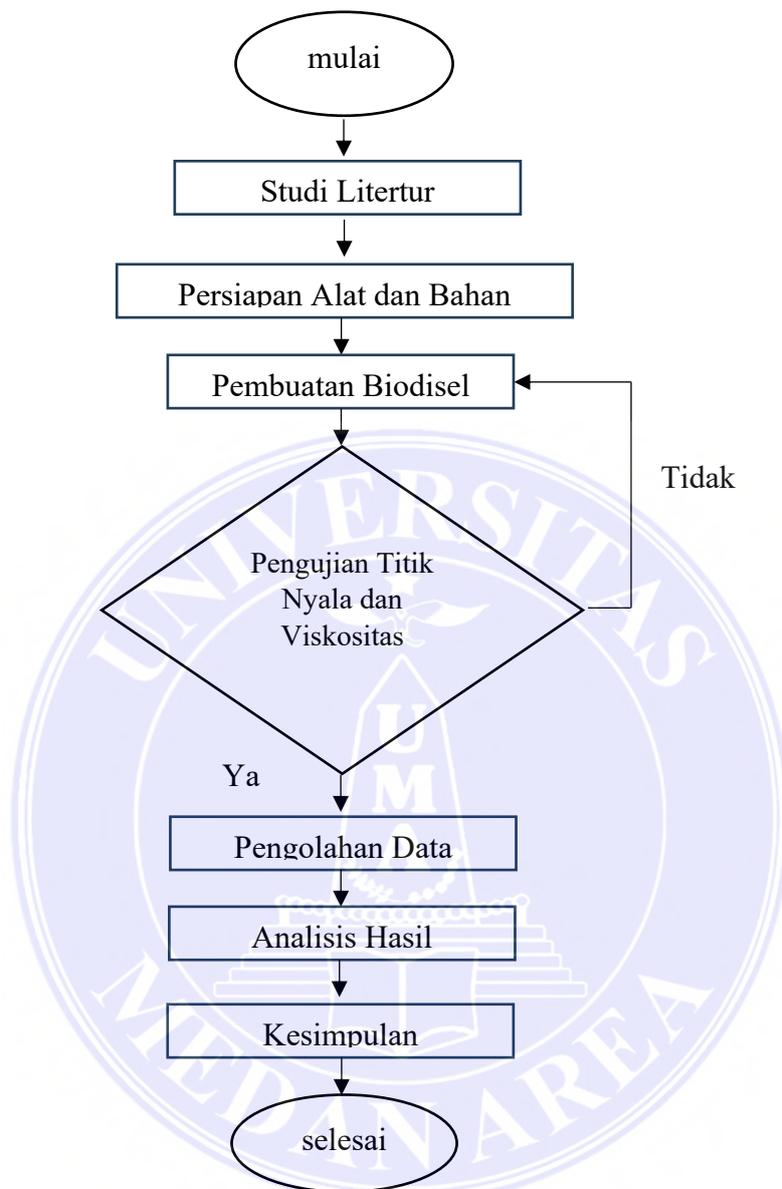
- a) Langkah awal yaitu menekan tombol “On/Of”.
- b) Berikutnya menyiapkan sampel untuk diuji, setelah itu sampel dimasukan kedalam gelas reaktor banyak 70 ml, setelah itu tutup gelas reaktor dengan penutup.
- c) Berikutnya masukkan “*multi detector*” kedalam lubang gelas reaktor
- d) Setelah itu pilih main menu, lalu klik “Test Run” ubah sampel “Name” ubah ELFP 200⁰C.
- e) Berikutnya ubah program “ASTM D93 setelah itu klik enter dan klik “RUN”.

2) Pengujian dengan *Stabinger Viscometer SVM 3001*

- a) Langkah awal yaitu menekan tombol “On/Of”.
- b) Berikutnya menyiapkan sampel untuk di uji, selanjutnya di injeksikan kedalam mesin secara perlahan.
- c) Berikutnya tekan “*Method*” di layer utama.
- d) Setelah itu pilih untuk di uji setelah itu tekan “OK”.
- e) Berikutnya tekan “*Quick Setting*” untuk memberikan nama sampel, mengubah metode pengukuran, dan pengelompokan grup sampel.
- f) Lalu tekan “Start” supaya mulai pengukuran.
- g) Apabila ada peringatan “Refill after prewetting” kemudian injeksikan kembali sampel sebanyak 1 ml. Lalutekan “OK”.

- h) Selanjutnya tunggu sampai proses “*Measuring*” selesai, apabila selesai dapat diberitanda dengan “*Finished*”.
 - i) Berikutnya pilih “*Measured*” untuk dapat melihat data hasil pengukuran.
 - j) Lalu pilih data yang di tampilkan setelah itutekan “*Details*” untuk dapat melihat hasil data pengujian.
- 3) Pengujian Angka Iodin
- a) Siapkan larutan natrium tiosulfat.
 - b) Berikutnya siapkan larutan reaksi iodin monochloride, dan larutkan iodin monochloride dengan asam asetatglasialn.
 - c) Berikutnya siapkan larutan kalium yodium.
 - d) Selanjutnya siapkan larutan magnesium asetat.
 - e) Berikutnya pindahkan sampel kedalam Erlenmeyer Volumetric Flask dan diberi stopper.
 - f) Selanjutnya tambahkan asam a setatglasial, larutan reaksi dan juga larutan katalis.
 - g) Selanjutnya menutup *Erlenmeyer volumetric flask* dengan menggunakan stopper.
 - h) Selanjutnya mencampurkan larutan selama lima menit.
 - i) Selanjutnya letakkan ujung elektroda dan burette dalam sampel kemudian aduk dengan sangat baik.
 - j) Berikutnya lakukan titrasi tanpa sampel dalam materi yang sama.

3.5.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Hasil Pengujian Titik Nyala dengan variasi waktu memenuhi target titik nyala kecuali waktu reaksi 60 menit yaitu 108,5 °C dimana, target titik nyala adalah 130 °C. Dengan variasi Waktu (70,80,90, 100) menit masing masing (182.5; 182.5; 148.5; 184.5) °C memenuhi standar target titik nyala.
2. Hasil Pengujian Viskositas di dapatkan setelah di lakukan proses pengujian pada karakteristik bilangan iodine diperoleh berdasarkan variasi waktu reaksi 60 menit 4.5 m²/s, 70 menit 4.6 m²/s, waktu reaksi 80 ,90,dan 100 menit mendapatkan hasil yang sama yaitu 4.5 m²/s.

5.2 Saran

Disadari bahwa pada penelitian ini masih ada beberapa kekurangan maka untuk mengembangkan dan memperbaiki penelitian selanjutnya, tentunya disarankan agar perlu dilakukan beberapa macam uji karakteristik biodiesel yang lainnya, untuk meyakinkan bahwa biodiesel hasil dari campuran minyak goreng dan minyak biji mimba ini dapat digunakan sebagai bahan bakar diesel. Uji kualitas lainnya tersebut yakni kadar abu, cetane number, kadar sulfur, kadar karbon, kadar air, uji korosi, belerang, dan uji lainnya.

DAFTAR LAMPIRAN

LAPORAN HASIL UJI TITIK NYALA DAN VISKOSITAS BIODIESEL MINYAK JELANTAH
No : 18/EBT/EN/2023

Nama : Muhammad Hussein
 Perusahaan/ Instituti : Universitas Medan Area
 Jenis Sampel : Biodiesel Minyak Jelantah

Nama : Muhammad Hussein
 Perusahaan/ Instituti : Universitas Medan Area
 Jenis Sampel : Biodiesel Minyak Jelantah

Tabel 1. Hasil Uji Titik Nyala dan Viskositas Biodiesel Minyak Jelantah

Properties	Unit	ASTM and EN standard			Biodiesel Minyak Jelantah					
		ASTM D6751	Standard method	EN 14214	Standard method	60 menit	70 menit	80 menit	90 menit	100 menit
Viscosity 40 °C	mm ² /s	1,9-6,0	D445	3,5-5,0	EN ISO 3104	4,513	4,552	4,526	4,536	4,523
Flash point	°C	130 (min)	D93	120 (min)	EN ISO 22719	108,5	182,5	182,5	148,5	184,5

Diuji Oleh

 Bela Nurulita, S.T.

Tanggal:

Lampiran 1. Data Sheet Hasil Pengujian Titik Nyala dan Viskositas

DAFTAR PUSTAKA

- Andalia, W., & Pratiwi, I. (2018). Kinerja Katalis NaOH dan KOH ditinjau dari Kualitas Produk Biodiesel yang dihasilkan dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Tekno Global*, 7(1), 32–36.
- Aziz, I. (2010). Uji Performance Mesin Diesel Menggunakan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Kimia VALENSI*, 1(6). <https://doi.org/10.15408/jkv.v1i6.241>
- ESDM, K. (2019). *189 K 2019_Kepdirjen EBTKE tentang Standar dan Mutu BBN Jenis Biodiesel sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri.pdf*.
- Fakhry, M. N., & Rahayu, S. S. (2016). Pengaruh Suhu pada Esterifikasi Amil Alkohol dengan Asam Asetat Menggunakan Asam Sulfat sebagai Katalisator. *Jurnal Rekayasa Proses*, 10(2), 64. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.33339>
- Fukuda, H., Kondo, A., & Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), 405–416. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(01\)80288-7](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(01)80288-7)
- Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., & Prabawa, S. (2015). Produksi Biodiesel Dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Dan Karakteristik Biodiesel. *Jurnal Agritech*, 35(02), 234. <https://doi.org/10.22146/agritech.13792>
- Hasibuan, S., & Made Ayu Yudawati, N. (2013). lum inophyllum L.) Physicochemical and Antibacterial Properties karakteristik fisikokimia dan anti bakteri hasil purifikasi minyak biji nyamplung (Calophyl of Degummed Calophyllum inophyllum L. Seed Oil). *Agritech*, 33(3). <https://doi.org/10.22146/agritech.9553>
- Herizal, & Rahman, M. (2008). Optimalisasi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel dengan Katalis NaOH. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi, Vol 42, No 3 (2008)*, 61–66.
- Hikmah, M. N., & Zuliyana, D. (2015). Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) Dari Minyak Dedak Dan Metanol Estrans. *Jurnal Teknik Kimia*, 3(6), 1–43.
- Idris, M., Husin, I., Hermawan, I., Novalia, U., Batubara, R. D., Pambudi, N. A., & Sarifudin, A. (2023). Engine Performance Using Blended Fuels of Biodiesel and Eco Diesel. *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, 120(1), 107–123. <https://doi.org/10.32604/ee.2023.019203>
- Indra Darmawan, F., & Susila, I. W. (2013). proses produksi biodiesel dari minyak jelantah dengan metode pencucian dry-wash sistem I Wayan Susila. *Mahasiswa Universitas Negeri Surabaya*, 02, 80–87.
- Jain, S., & Sharma, M. P. (2010). Prospects of biodiesel from Jatropha in India: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 763–771. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.005>
- Kolakoti, A., & Satish, G. (2020). Biodiesel production from low-grade oil using heterogeneous catalyst: an optimisation and ANN modelling. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 00(00), 1–13. <https://doi.org/10.1080/14484846.2020.1842298>
- Kolakoti, A., Setiyo, M., & Waluyo, B. (2021). Biodiesel Production from Waste

- Cooking Oil: Characterization, Modeling and Optimization. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 1(1), 22–30. <https://doi.org/10.31603/mesi.5320>
- Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: a review. *Journal Series #12109, Agricultural Research Division, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska–Lincoln*. *Bioresource Technology*, 70(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(99)00025-5)
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (1997). 10. Transport and Storage of Fluids. In *Perry's chemical engineers' handbook 7th edition*.
- Saravanan, A. P., Mathimani, T., Deviram, G., Rajendran, K., & Pugazhendhi, A. (2018). Biofuel policy in India: A review of policy barriers in sustainable marketing of biofuel. *Journal of Cleaner Production*, 193, 734–747. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.033>
- Sinaga, S. V., Haryanto, A., & Triyono, S. (2014). Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah [Effects of Temperature and Reaction Time on the Biodiesel Production Using Waste Cooking Oil]. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3(1), 27–34.
- Siswani, E. D., Kristianingrum, S., & Suwardi. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Jelantah pada Berbagai Waktu dan Suhu. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 103–112.
- Sudarmadji. S. dkk. (2007). Analisis bahan makanan dan pertanian. Liberty.
- Winarno, F. G. (1997). *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama.
- Wiyata, I. Y. (2021). Pembuatan Biodiesel Minyak Goreng Bekas dengan Memanfaatkan Limbah Cangkang Telur Bebek sebagai Katalis CaO. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 2(1), 69–74. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpv/article/view/11346>