



# PEMBUATAN BIODIESEL DARI LIMBAH MINYAK GORENG: STUDI PERBANDINGAN BERBAGAI WAKTU REAKSI

Muhammad Idris<sup>a\*</sup>, Tino Hermanto<sup>a</sup>, Rahmad Syah<sup>a</sup>, Muhammad Husein<sup>a</sup>, Sapriadi Sitinjak<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Jl. Kolam no. 1 Medan Estate, Deli Serdang 20223, Indonesia

\*Corresponding authors at: [Muhammad\\_idris@staff.uma.ac.id](mailto:Muhammad_idris@staff.uma.ac.id) Tel.: +62812-8578-4814

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 31 Oktober 2023

Direvisi pada 25 Desember 2023

Disetujui pada 16 Januari 2024

Tersedia daring pada 02 Maret 2024

### Kata kunci:

Limbah minyak goreng, biodiesel, waktu reaksi, standar, karakteristik kualitas

### Keywords:

Waste cooking oil, biodiesel, reaction time, standar, quality characteristics

## ABSTRAK

Biodiesel berbasis minyak goreng limbah telah menarik perhatian sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Penelitian ini menganalisis pengaruh waktu reaksi terhadap karakteristik kualitas biodiesel, termasuk titik nyala, viskositas, densitas, bilangan oksidasi, bilangan asam, dan bilangan iodin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi memiliki dampak signifikan pada titik nyala, dengan nilai yang lebih tinggi mengindikasikan stabilitas termal yang lebih baik. Sementara itu, viskositas menunjukkan konsistensi, menandakan ketepatan dalam proses produksi biodiesel. Densitas biodiesel tetap stabil pada nilai target standar, menunjukkan konsistensi dalam produksi. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi densitas. Peningkatan bilangan oksidasi mengindikasikan pentingnya penanganan yang tepat untuk mengendalikan stabilitas oksidatif biodiesel. Meskipun bilangan asam cenderung bervariasi, penelitian ini menunjukkan bahwa waktu reaksi mungkin tidak secara signifikan mempengaruhi nilai tersebut. Bilangan iodin, penelitian mengungkapkan hubungan positif antara waktu reaksi dan bilangan iodin. Secara keseluruhan, temuan ini memberikan pemahaman yang komprehensif tentang karakteristik biodiesel, namun menunjukkan bahwa faktor-faktor kompleks juga memengaruhi sifat-sifat biodiesel secara keseluruhan. Oleh karena itu, analisis lebih lanjut diperlukan untuk memastikan kinerja optimal dan keamanan biodiesel dalam aplikasi praktis, sekaligus menekankan perlunya mempertimbangkan berbagai faktor yang memengaruhi produksi biodiesel secara keseluruhan. Temuan ini dapat membantu pengembangan lebih lanjut dalam produksi biodiesel yang efisien dan ramah lingkungan dari minyak goreng limbah.

## ABSTRACT

As a sustainable alternative energy source, biodiesel that is derived from used cooking oil has garnered a lot of attention. The purpose of this study is to investigate the impact that reaction time has on the quality characteristics of biodiesel. These characteristics include flash point, viscosity, density, oxidation number, acid number, and iodine number. There is a substantial relationship between reaction time and the flash point, as indicated by the findings of the research. Higher values suggest that the flash point is more stable to thermal fluctuations. On the other hand, viscosity exhibits uniformity, which indicates precision in the process of producing biodiesel. Although the density of biodiesel has remained consistent at the standard target value, this indicates that production has been consistent. It is necessary, however, to conduct additional research in order to comprehend the components that influence density. Because of the rise in the oxidation number, it is essential to handle biodiesel in the appropriate manner in order to maintain control over its oxidative stability characteristics. Despite the fact that the acid number has a tendency to change, the findings of this study indicate that reaction time may not have a substantial impact on this value. In terms of the iodine number, the findings of the research indicate that there is a positive correlation between reaction time and the iodine number. Taking everything into consideration, these findings not only offer a full understanding of the features of biodiesel, but they also suggest that the qualities of biodiesel are influenced by a variety of complex circumstances. Therefore, additional research is necessary to guarantee the highest possible level of performance and safety of biodiesel in practical applications, while also highlighting the importance of taking into account the many different aspects that influence the production of biodiesel as a whole. The results of this study have the potential to contribute to the advancement of biodiesel production from waste cooking oil that is both environmentally benign and efficiently efficient.

## 1. PENGANTAR

Pengolahan minyak goreng limbah menjadi biodiesel telah menjadi fokus utama dalam menangani dampak negatif pembuangan limbah tersebut. Di Indonesia, tingginya konsumsi minyak goreng menjadi dasar potensi penggunaan limbah tersebut sebagai bahan baku biodiesel. Temuan *International Council on Clean Transportation (ICCT)* 2021 menegaskan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara dengan konsumsi minyak goreng tertinggi di dunia (Kharina, dkk., 2021). Biodiesel dari minyak goreng limbah tidak hanya menyelesaikan masalah lingkungan, tetapi juga menjanjikan secara komersial. Produk ini dapat digunakan sebagai bahan bakar diesel tanpa perlu modifikasi mesin yang signifikan (Idris dkk., 2023). Keberlanjutan inovasi ini terlihat dari pengurangan pencemaran lingkungan melalui pemanfaatan limbah secara efisien (Adekanbi & Olugasa 2022). Penggunaan biodiesel dari minyak goreng limbah juga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, menyumbang pada mitigasi perubahan iklim (Malla & Bandh 2023). Proses efisien dan efektif dalam mengubah limbah menjadi biodiesel berkualitas memberikan keunggulan utama. Proses ini menggunakan metode transesterifikasi dengan menggunakan variasi waktu reaksi yang berbeda dengan tujuan untuk mencapai standar mutu biodiesel.

Pekerjaan ini sangat penting dalam pengembangan biodiesel dari minyak goreng limbah, menunjukkan bahwa limbah dapat diubah menjadi sumber energi yang ramah lingkungan melalui proses yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Solusi ini memberikan alternatif berkelanjutan bagi pengelolaan minyak goreng limbah, sejalan dengan upaya global dalam melestarikan lingkungan.

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Latar belakang dalam produksi biodiesel dari minyak goreng bekas menggarisbawahi potensi yang signifikan dari minyak goreng limbah tersebut sebagai sumber bahan baku untuk menghasilkan biodiesel (Fernández-Silva dkk., 2022). Penggunaan minyak goreng limbah ini memiliki peluang yang menjanjikan untuk menggantikan minyak Diesel dalam sektor transportasi dan industri, serta berpotensi memenuhi sekitar 32% dari kebutuhan biodiesel di Indonesia (EBTKE 2023). Proses konversi minyak goreng limbah menjadi biodiesel melibatkan beberapa tahap penting seperti pemurnian, penyaringan, netralisasi, dan proses pemurnian tambahan. Tantangan utama yang dihadapi meliputi tingginya kandungan asam lemak bebas dalam minyak goreng limbah, pengembangan teknologi yang efisien (Nomanbhay, dkk., 2018). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa titik nyala biodiesel belum memenuhi standar yang ditetapkan, yang kemungkinan disebabkan oleh komposisi katalisator yang belum optimal, sehingga titik nyala biodiesel berada di bawah standar (Politeknik Negeri Medan 2022). Dalam rangka meningkatkan efisiensi produksi biodiesel dari minyak goreng limbah, inovasi yang direncanakan adalah mengatur komposisi campuran dengan cermat. Tujuan dari upaya ini adalah untuk meningkatkan karakteristik menuju target standar kualitas dan efisiensi produksi biodiesel, mengurangi ketergantungan pada minyak bumi, dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub> di sektor transportasi dan industri (Amesho dkk., 2022).

### 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk meningkatkan karakteristik biodiesel menapaik standar mutu biodiesel dan mengurangi jumlah limbah minyak goreng limbah yang dibuang ke lingkungan. Dengan mengolah minyak goreng limbah menjadi biodiesel, limbah dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi yang berguna, sehingga mengurangi pencemaran lingkungan dan dampak negatifnya. Biodiesel juga mengurangi risiko tumpahan minyak goreng limbah yang dapat merusak lingkungan. Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil :Biodiesel adalah bahan bakar yang terbuat dari sumber-sumber nabati, seperti minyak goreng limbah. Dengan menggunakan biodiesel sebagai pengganti bahan bakar fosil, seperti Diesel, kita dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi yang tidak terbarukan dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim.

## 2. METODE

### 2.1. Prosedur Kerja Pembuatan Biodiesel

Pembuatan biodiesel berbasis minyak goreng limbah dilakukan di laboratorium pusat energi baru terbarukan Politeknik Negeri Medan. Adapun tahapan pembuatannya dimulai dari tahap degumming adalah proses penghilangan fosfatida dari minyak mentah guna meningkatkan stabilitas oksidasi. Minyak mentah mengandung getah yang perlu dihilangkan untuk produksi biodiesel. Proses degumming dilakukan dengan memanaskan minyak goreng sisa dan 2% vol % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 20% pada 60 oC selama 30 menit. Setelah filtrasi selama 2 jam, fosfatida terlihat di dasar labu. Minyak kemudian dicuci 2 kali dengan air suling pada 50 °C. Proses ini diilustrasikan pada gambar 1.a. proses degumming dan 1.b. proses pencucian.



(a)

(b)

**Gambar 1:** Proses *degumming* (a) dan proses pencucian (b)

Proses esterifikasi merupakan proses lanjutan setelah degumming dicampur dengan metanol (perbandingan 1:2) dan 0,75% vol % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Reaksi berlangsung selama 1,5 jam pada 60 °C, 1050 rpm. Metil ester terbentuk dengan kadar asam <2%. Produk diendapkan

untuk memisahkan gliserol dari metil ester. Gliserol dikeluarkan untuk mencegah gangguan dalam transesterifikasi. Tahap selanjutnya Pada tahap transesterifikasi, metil ester rendah asam diubah dengan katalis NaOH 0,5% dan metanol (perbandingan 1:2) pada 60 °C dengan waktu reaksi tiga variasi; 1200, 2400, dan 4800 detik. Pengendapan dilakukan setelah reaksi untuk memisahkan gliserol yang beratnya lebih besar. Gliserol dipisahkan dari reaktor setelah proses selesai. Hasil biodiesel dicuci dengan aquadest pada 45-60 °C untuk larutkan gliserol, alkohol, katalis basa, dan sabun. Pencucian dilakukan dua kali hingga pH normal. Proses selanjutnya proses evaporasi menghilangkan air dalam metil ester. Proses dilakukan selama 10 menit pada 95°C dengan sirkulasi panas. Ujung pipa sirkulasi ditempatkan di tengah permukaan cairan. Tahap akhir adalah tahap filtrasi, biodiesel disaring menggunakan filter berukuran 10 mikron. Minyak dimasukkan ke dalam kertas filter untuk menghilangkan partikel-partikel kasar.

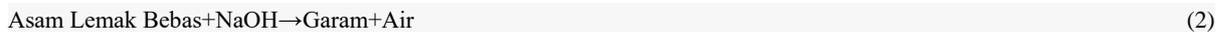
## 2.2. Metode Ilmiah

Pengukuran karakteristik biodiesel berbasis minyak goreng limbah melibatkan serangkaian langkah yang komprehensif. Berikut adalah langkah-langkah umum yang dapat dilakukan:

- a. Pengukuran Viskositas Kinematik  $\nu$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ): Gunakan viskometer untuk mengukur viskositas kinematik biodiesel pada suhu tertentu, secara matematika pengukuran viskositas kinematik dituliskan dalam persamaan 1,  $\mu$  merupakan viskositas absolut (Pa.s)  $\rho$  merupakan densitas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1)$$

- b. Pengukuran bilangan asam. A ((mgKOH/g) pada biodiesel merupakan langkah penting untuk mengetahui seberapa banyak asam lemak bebas yang terdapat dalam biodiesel. Metode yang umum digunakan untuk pengukuran ini adalah metode titrasi. Secara terori dapat ditulis dalam persamaan 2 dan 3. V adalah volume larutan alkali yang digunakan untuk menetralkan sampel (L), N adalah normalitas larutan alkali (mol/L), F adalah faktor konversi yang bergantung pada jenis asam yang diuji, m adalah massa sampel (g)



$$A = \frac{V \times N \times F}{m} \quad (3)$$

- c. Pengujian oksidasi adalah dengan cara mencatataktu yang diperlukan oleh sampel untuk mengalami oksidasi. Semakin lama waktu yang diperlukan, semakin tahan biodiesel terhadap oksidasi

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

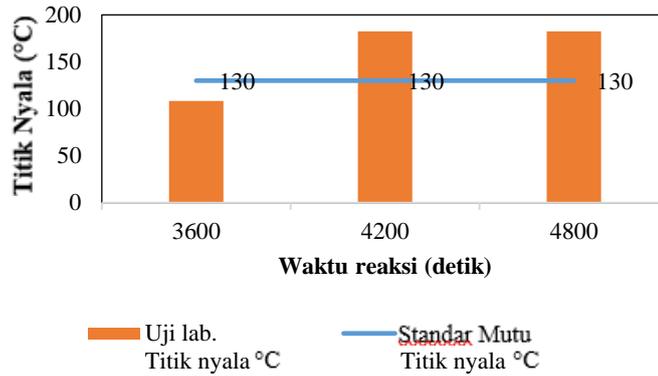
### 3.1. Titik nyala dan viskositas

Tabel 1 menampilkan hasil eksperimen yang dilakukan pada 3 variasi waktu reaksi yang berbeda dan gambar 2 merupakan trend pengaruh waktu reaksi terhadap titik nyala. Dalam setiap pengamatan, dicatat titik nyala ( $^{\circ}\text{C}$ ) dari bahan yang diteliti, berbanding standar mutu titik nyala yang ditetapkan, adalah  $130^{\circ}\text{C}$ . Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan variasi dalam titik nyala bahan pada berbagai waktu reaksi. Terlihat bahwa pada waktu reaksi 3600 detik hasil memiliki titik nyala yang mendekati target yang ditetapkan ( $130^{\circ}\text{C}$ ), sementara yang lain memiliki perbedaan yang lebih besar. Hasil ini mungkin mengindikasikan bahwa waktu reaksi memiliki pengaruh terhadap titik nyala bahan bakar ini. Titik nyala yang rendah dapat menyebabkan masalah pada kinerja mesin dan pembakaran yang tidak sempurna, mengurangi efisiensi dan meningkatkan emisi polutan seperti partikulat dan hidrokarbon. Di sisi lain, titik nyala yang tinggi dapat menyulitkan pengoperasian mesin pada suhu rendah, terutama di iklim dingin. Menurut penelitian sebelumnya, titik nyala di bawah standar mutu dapat meningkatkan emisi gas buang dan residu pembakaran, sementara titik nyala di atas standar mutu dapat mengurangi efisiensi mesin dan meningkatkan konsumsi bahan bakar, (Sarno and Iuliano 2019; Damanik, 2018)

Hasil pengujian diperoleh nilai titik nyala biodiesel berbasis minyak goreng limbah yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai titik nyala standar hal ini menunjukkan bahwa, nilai titik nyala yang lebih tinggi menunjukkan bahwa biodiesel tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap suhu tinggi tanpa terlalu mudah menguap atau terbakar. Ini mengindikasikan stabilitas termal yang lebih baik, yang sangat penting saat biodiesel disimpan, dikendalikan, atau digunakan dalam mesin yang menghasilkan panas tinggi, seperti mesin diesel. Stabilitas termal yang tinggi mengurangi risiko perubahan kimia dan degradasi, yang dapat mengurangi kualitas dan efisiensi biodiesel (Bayindirli, Celik, and Zan 2023).

**Tabel 1:** Hasil Pengujian Pengaruh Variasi Waktu Reaksi Terhadap Titik Nyala Berbanding Standar Mutu Biodiesel

Waktu reaksi (detik)	Titik nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	Standar mutu titik nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )
3600	108,5	130
4200	182,5	
4800	182,5	



Gambar 2: Korelasi reaksi waktu terhadap titik nyala berbanding standar mutu

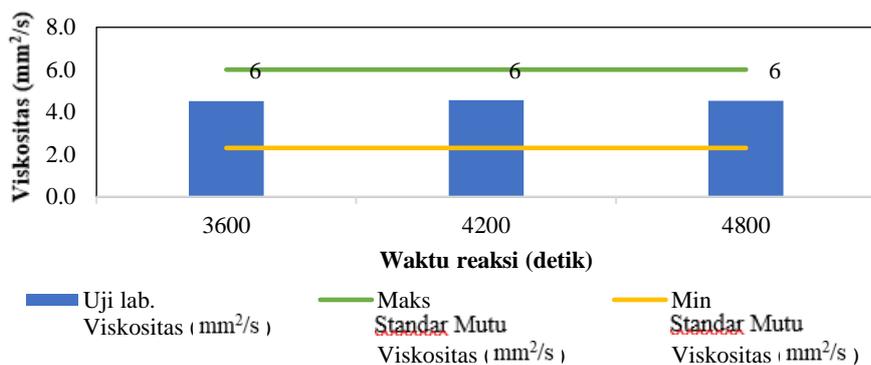
Nilai titik nyala yang lebih tinggi dapat membantu meminimalkan pembentukan uap bahan bakar pada suhu yang lebih rendah, sehingga dapat mengurangi emisi yang tidak terbakar dan partikel padat yang dilepaskan ke udara saat pembakaran. Ini berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan dan peningkatan kualitas udara. Namun, penting untuk diingat bahwa sifat-sifat biodiesel tidak hanya ditentukan oleh nilai titik nyala saja, melainkan juga oleh berbagai faktor lainnya seperti komposisi kimia, viskositas, densitas, dan sifat pembakaran. Oleh karena itu, dampak positif ini perlu dipertimbangkan dalam konteks keseluruhan sifat biodiesel untuk memastikan kinerja optimal dan keamanan dalam aplikasi praktis (El-Araby dkk., 2018).

Namun, penting untuk diingat bahwa sifat-sifat biodiesel tidak hanya ditentukan oleh nilai titik nyala saja, melainkan juga oleh berbagai faktor lainnya seperti komposisi kimia, viskositas, densitas, dan sifat pembakaran. Oleh karena itu, dampak positif ini perlu dipertimbangkan dalam konteks keseluruhan sifat biodiesel untuk memastikan kinerja optimal dan keamanan dalam aplikasi praktis (El-Kasaby and Nemit-Allah 2013). Tabel 2 dan gambar 3 menunjukkan hasil penelitian tentang viskositas biodiesel berbasis minyak goreng limbah pada berbagai waktu reaksi. Viskositas diukur dalam satuan mili meter persegi per detik ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ), yang juga dapat diartikan sebagai unit kinematik viskositas. Viskositas adalah ukuran dari seberapa tebal atau kental suatu cairan dan sejauh mana cairan tersebut tahan terhadap aliran. Dalam konteks biodiesel, viskositas adalah sifat penting karena dapat memengaruhi kinerja bahan bakar dalam aliran melalui saluran bahan bakar, penyemprotan bahan bakar dalam ruang bakar, dan efisiensi pembakaran. Dari tabel 2, dapat diamati bahwa viskositas biodiesel pada semua waktu reaksi berada dalam kisaran  $4,5 \text{ mm}^2/\text{s}$  hingga  $4,6 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Selain itu, target viskositas yang diinginkan berada dalam rentang  $2,3 \text{ mm}^2/\text{s}$  hingga  $6,0 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Dengan kata lain, viskositas biodiesel yang dihasilkan dalam penelitian ini berada pada rentang nilai standar yang sudah ditetapkan.

Tabel 2: Hasil Pengujian Pengaruh Variasi Waktu Reaksi Terhadap Viskositas Berbanding Standar Mutu Biodiesel

Waktu reaksi (detik)	Viskositas ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )	Standar mutu Viskositas ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )
3600	4,5	2,3-6,0
4200	4,6	
4800	4,5	

Viskositas adalah ukuran dari seberapa tebal atau kental suatu cairan dan sejauh mana cairan tersebut tahan terhadap aliran. Dalam konteks biodiesel, viskositas adalah sifat penting karena dapat memengaruhi kinerja bahan bakar dalam aliran melalui saluran bahan bakar, penyemprotan bahan bakar dalam ruang bakar, dan efisiensi pembakaran. Dari tabel 2, dapat diamati bahwa viskositas biodiesel pada semua waktu reaksi berada dalam kisaran  $4,5 \text{ mm}^2/\text{s}$  hingga  $4,6 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Selain itu, target viskositas yang diinginkan berada dalam rentang  $2,3 \text{ mm}^2/\text{s}$  hingga  $6,0 \text{ mm}^2/\text{s}$ . Dengan kata lain, viskositas biodiesel yang dihasilkan dalam penelitian ini berada pada rentang nilai standar yang sudah ditetapkan.



Gambar 3: Korelasi reaksi waktu terhadap viskositas berbanding standar mutu

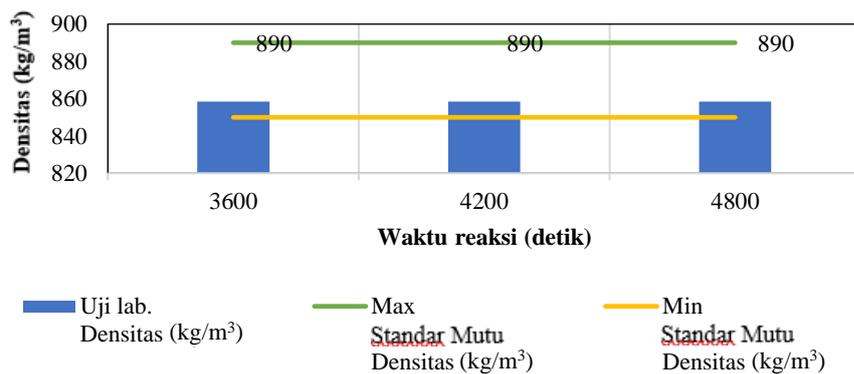
Korelasi antara waktu reaksi dan viskositas biodiesel dapat dijelaskan sebagai berikut, Konsistensi dalam Waktu Reaksi: Data menunjukkan bahwa viskositas biodiesel cenderung stabil pada semua waktu reaksi yang diuji (3600; 4200 dan 4800 detik). Ketika viskositas tetap konsisten atau hanya sedikit bervariasi dalam rentang waktu yang diuji, hal ini bisa menunjukkan bahwa faktor waktu reaksi mungkin tidak memiliki dampak yang signifikan terhadap viskositas dalam kerangka eksperimen ini. Pencapaian target viskositas sesuai dengan mutu standar, Data menunjukkan bahwa viskositas biodiesel pada setiap waktu reaksi telah mencapai atau berada dalam rentang target viskositas yang ditetapkan (2,3 mm<sup>2</sup>/s hingga 6,0 mm<sup>2</sup>/s). Ini menunjukkan bahwa proses produksi biodiesel pada rentang waktu reaksi yang diuji telah menghasilkan viskositas yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Namun, perlu dicatat bahwa korelasi ini bersifat deskriptif berdasarkan data yang diberikan. Analisis lebih lanjut mungkin diperlukan untuk memahami lebih dalam tentang faktor-faktor yang dapat memengaruhi viskositas biodiesel, seperti komposisi kimia minyak goreng limbah, reaksi kimia yang terjadi selama proses, dan parameter suhu.

### 3.2. Densitas dan Bilangan Oksidasi

Penelitian ini mencatat data pada berbagai waktu reaksi dalam produksi biodiesel, dengan mengukur densitas biodiesel yang dihasilkan dalam satuan kilogram per meter kubik (kg/m<sup>3</sup>). Berikut adalah hasil pengukuran densitas biodiesel pada setiap waktu reaksi, sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 3 dan diilustrasikan pada gambar 4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam rentang waktu reaksi yang diujikan, densitas biodiesel yang dihasilkan cenderung stabil di sekitar 858,5 kg/m<sup>3</sup>. Hasil densitas tersebut berada dalam kisaran target yang telah ditetapkan standar mutu antara 850 kg/m<sup>3</sup> hingga 890 kg/m<sup>3</sup> (Rao and Chary 2018).

**Tabel 3:** Hasil Pengujian Pengaruh Variasi Waktu Reaksi Terhadap Densitas Berbanding Standar Mutu Biodiesel

Waktu reaksi (detik)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Target densitas (kg/m <sup>3</sup> )
3600	858,5	850-890
4200	858,5	
4800	858,5	



**Gambar 4:** Korelasi reaksi waktu terhadap viskositas berbanding standar mutu

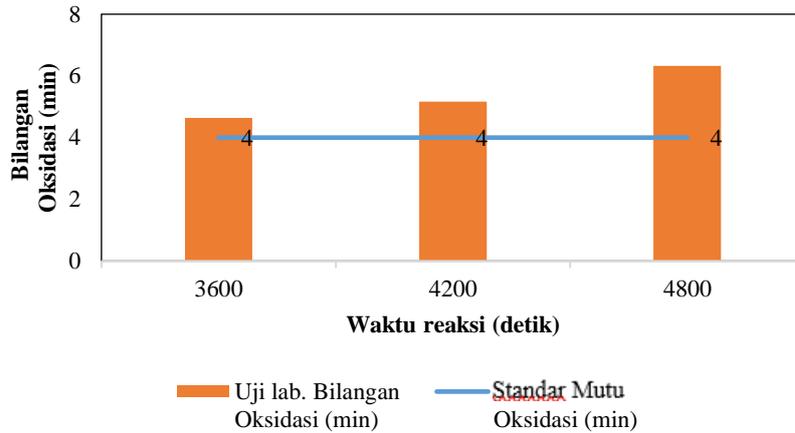
Tabel 4 dideskripsikan pada gambar 5 menunjukkan hasil pengujian korelasi antara waktu reaksi dan bilangan oksidasi dalam produksi biodiesel. Bilangan oksidasi adalah ukuran dari sejauh mana suatu zat atau bahan dapat teroksidasi (mengalami reaksi kimia dengan oksigen). Bilangan oksidasi yang lebih tinggi dapat mengindikasikan tingkat kerusakan atau degradasi bahan yang lebih tinggi. Bilangan oksidasi digunakan untuk mengukur sejauh mana biodiesel tahan terhadap reaksi oksidasi, yang dapat terjadi akibat paparan udara dan panas. Semakin tinggi bilangan oksidasi, semakin mudah biodiesel mengalami oksidasi dan degradasi. Oleh karena itu, dalam produksi biodiesel, tujuan utama adalah untuk meminimalkan bilangan oksidasi agar biodiesel tetap stabil dan berkualitas baik selama penyimpanan dan penggunaan (Nahas dkk., 2023).

**Tabel 4:** Hasil Pengujian Pengaruh Variasi Waktu Reaksi Terhadap Bilangan Oksidasi Berbanding Standar Mutu Biodiesel

Waktu reaksi (detik)	Bilangan Oksidasi (min)	Standar mutu Oksidasi (min)
3600	4,64	4
4200	5,17	
4800	6,32	

Dari tabel 4 yang diberikan, dapat diamati bahwa bilangan oksidasi biodiesel cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu reaksi. Perubahan bilangan oksidasi ini dapat dijelaskan sebagai berikut, kenaikan Bertahap; data menunjukkan bahwa bilangan oksidasi biodiesel meningkat secara bertahap dari waktu reaksi 3600 – 4800 detik, dengan kenaikan yang cukup signifikan. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa korelasi antara waktu reaksi dan bilangan oksidasi dalam penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan bilangan oksidasi seiring bertambahnya waktu reaksi. Hasil ini dapat mengindikasikan bahwa reaksi kimia yang terjadi selama proses produksi biodiesel memiliki dampak pada stabilitas oksidatif biodiesel. Peningkatan bilangan oksidasi yang diukur mungkin terkait dengan pembentukan senyawa oksidatif akibat paparan oksigen dan panas selama waktu reaksi yang lebih lama. Oleh karena itu, perlu dilakukan

analisis lebih lanjut untuk memahami faktor-faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan bilangan oksidasi dan potensi langkah-langkah perbaikan yang diperlukan untuk mengendalikan stabilitas oksidatif biodiesel.



Gambar 5: Pengaruh reaksi waktu terhadap bilangan asam berbanding standar mutu

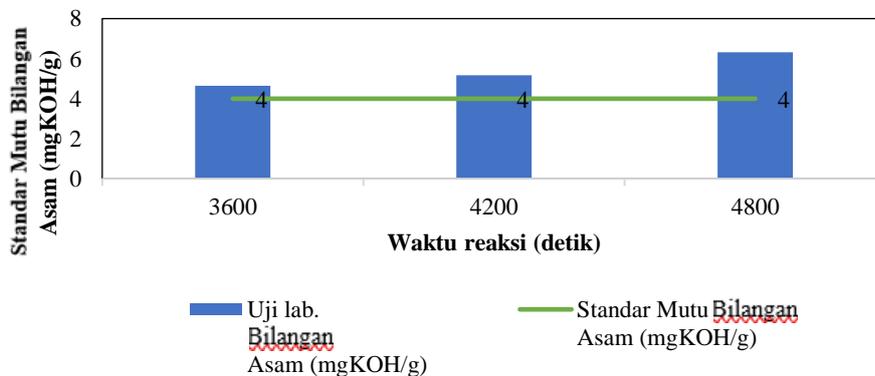
3.3. Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Bilangan Asam dan Bilangan Iodin

Hasil penelitian yang menunjukkan pengaruh waktu reaksi terhadap bilangan asam biodiesel berbasis minyak goreng limbah. Bilangan asam adalah ukuran kuantitatif dari jumlah asam lemak bebas dalam biodiesel, diukur dalam miligram KOH per gram (mgKOH/g). Target bilangan asam adalah nilai yang diinginkan atau diharapkan untuk biodiesel, dalam hal ini 0,40 mgKOH/g. Untuk menganalisis pengaruh waktu reaksi terhadap bilangan asam biodiesel, dapat dilihat variasi bilangan asam yang dihasilkan pada berbagai waktu reaksi. Berdasarkan data yang diberikan pada tabel 5 dan gambar 6, sebagai berikut.

Tabel 5: Hasil Pengujian Pengaruh Variasi Waktu Reaksi Terhadap Bilangan Asam Berbanding Standar Mutu Biodiesel

Waktu reaksi (detik)	Bilangan Asam (mgKOH/g)	Standar mutu Bilangan Asam (mgKOH/g)
3600	0,21	
4200	0,27	0,40
4800	0,17	

Data tersebut menjelaskan bahwa bilangan asam biodiesel berfluktuasi dalam kisaran nilai yang relatif rendah (antara 0,17 hingga 0,27 mgKOH/g) sepanjang rentang waktu reaksi yang diamati (3600 – 4800 detik). Secara ilmiah, dapat disampaikan tentang pengaruh waktu reaksi terhadap pembentukan atau degradasi asam lemak bebas dalam biodiesel. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tidak ada tren linier yang jelas antara waktu reaksi dan bilangan asam. Dari hasil tersebut beberapa hal dapat diamati bahwa, pada kondisi tertentu, waktu reaksi yang lebih lama dapat memberikan lebih banyak waktu bagi reaksi transesterifikasi untuk berlangsung. Ini dapat mengurangi jumlah asam lemak bebas dalam biodiesel, karena reaksi ini cenderung mengkonversi asam lemak bebas menjadi ester yang lebih stabil (Cordero-Ravelo and Schallenberg-Rodriguez 2018).



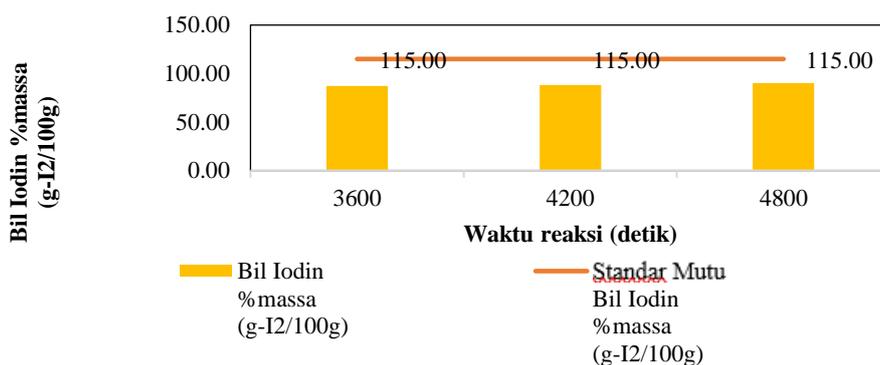
Gambar 6: Pengaruh reaksi waktu terhadap bilangan asam berbanding standar mutu

Korelasi waktu reaksi terhadap bilangan asam membentuk keseimbangan reaksi; meskipun reaksi transesterifikasi cenderung berjalan menuju pembentukan ester dan gliserol, ada juga reaksi samping yang dapat membentuk asam lemak bebas. Jika reaksi samping ini lebih dominan daripada reaksi utama, maka waktu reaksi yang lebih lama mungkin tidak menghasilkan penurunan yang signifikan dalam bilangan asam (Nahas dkk., 2023). Dampak nilai bilangan asam biodiesel berbasis minyak goreng limbah yang lebih rendah dari standar yang ditentukan dapat dijelaskan dengan berbagai perspektif ilmiah. Bilangan asam yang rendah menunjukkan bahwa biodiesel

memiliki jumlah asam lemak bebas yang lebih sedikit, yang pada dasarnya diinginkan karena dapat mengindikasikan kualitas yang lebih baik (Maleki dkk., 2023). Tabel 6 merupakan hasil pengujian korelasi waktu reaksi terhadap bilangan iodin dan gambar 7 merupakan hasil visualisasinya. Dari hasil pengujian tersebut, tampak bahwa ada penelitian mengenai pengaruh waktu reaksi terhadap bilangan iodin dari biodiesel berbasis minyak goreng limbah. Bilangan iodin adalah ukuran yang mengindikasikan sejauh mana minyak atau lemak dapat mengikat iodin dan mengukur tingkat tak jenuh (kemampuan untuk melakukan reaksi dengan unsaturation) dalam minyak atau lemak. Bilangan iodin diukur dalam gram iodin ( $\text{g-I}_2/\text{g}$ ). dapat dianalisis pengaruh waktu reaksi terhadap bilangan iodin berdasarkan data dalam tabel 6:

**Tabel 6:** Hasil Pengujian Pengaruh Variasi Waktu Reaksi Terhadap Bilangan Asam Berbanding Standar Mutu Biodiesel

Waktu reaksi (menit)	Bil Iodin %massa ( $\text{g I}_2/\text{g}$ )	Standar mutu. Iodin %massa ( $\text{g I}_2/\text{g}$ )
60	87,20	115,00
70	88,30	
80	90,30	



**Gambar 7:** Pengaruh reaksi waktu terhadap bilangan iodin berbanding standar mutu

Hasil pengujian menunjukkan bahwa, bilangan iodin biodiesel berbasis minyak goreng limbah bervariasi sepanjang waktu reaksi. Hasil ini menunjukkan korelasi waktu reaksi dengan bilangan iodin, dimana peningkatan waktu reaksi berbanding lurus dengan peningkatan bilangan iodin.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada berbagai aspek biodiesel berbasis minyak goreng limbah, dapat diambil beberapa kesimpulan penting. Dari analisis yang dilakukan terhadap pengaruh waktu reaksi terhadap titik nyala, viskositas, densitas, bilangan oksidasi, bilangan asam, dan bilangan iodin, beberapa temuan signifikan dapat disimpulkan. Pertama, penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap titik nyala biodiesel. Titik nyala yang lebih tinggi menunjukkan stabilitas termal yang lebih baik, yang dapat menghindari masalah seperti pre-ignition dan membantu mencegah bahaya kebakaran saat biodiesel terpapar panas atau api. Namun, perlu diingat bahwa sifat-sifat biodiesel tidak hanya ditentukan oleh titik nyala saja, melainkan oleh berbagai faktor lainnya seperti komposisi kimia dan sifat pembakaran. Kedua, viskositas biodiesel yang dihasilkan dalam penelitian ini telah mencapai target yang ditetapkan, menunjukkan konsistensi dalam waktu reaksi. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor waktu reaksi mungkin tidak memiliki dampak signifikan terhadap viskositas dalam kerangka eksperimen ini. Ketiga, densitas biodiesel cenderung stabil di sekitar nilai target yang telah ditetapkan standar mutu, menunjukkan konsistensi dalam produksi biodiesel. Namun, perlu diperhatikan bahwa analisis lebih lanjut mungkin diperlukan untuk memahami faktor-faktor yang dapat memengaruhi densitas biodiesel. Keempat, peningkatan bilangan oksidasi biodiesel seiring bertambahnya waktu reaksi mengindikasikan bahwa reaksi kimia yang terjadi selama proses produksi memiliki dampak pada stabilitas oksidatif biodiesel. Oleh karena itu, penanganan yang tepat perlu dipertimbangkan untuk mengendalikan stabilitas oksidatif biodiesel. Kelima, hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan asam biodiesel cenderung berfluktuasi dalam kisaran nilai yang relatif rendah sepanjang rentang waktu reaksi yang diamati. Meskipun waktu reaksi yang lebih lama mungkin tidak menghasilkan penurunan yang signifikan dalam bilangan asam, hal ini mungkin disebabkan oleh keseimbangan reaksi transesterifikasi dan reaksi samping yang membentuk asam lemak bebas. Terakhir, pengaruh waktu reaksi terhadap bilangan iodin menunjukkan korelasi positif antara waktu reaksi dan bilangan iodin, dengan peningkatan waktu reaksi berbanding lurus dengan peningkatan bilangan iodin. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan gambaran yang komprehensif tentang pengaruh waktu reaksi terhadap berbagai parameter kualitas biodiesel berbasis minyak goreng limbah. Namun, untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam, analisis lebih lanjut diperlukan untuk mempertimbangkan faktor-faktor kompleks yang memengaruhi sifat-sifat biodiesel secara keseluruhan. Hal ini penting untuk memastikan kinerja optimal dan keamanan biodiesel dalam aplikasi praktis.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi atas hibah dalam Program Bantuan Biaya Luaran Prototipe 2023 dengan nomor kontrak 192/E5/PG.02.00.PM/2023, khususnya untuk proyek biodiesel dari minyak goreng limbah. Hibah ini memperkuat penelitian energi terbarukan dan berdampak positif bagi lingkungan. Dukungan tim Kementerian dalam memberikan sumber daya dan bimbingan teknis sangat berarti dalam mengatasi tantangan produksi biodiesel berkelanjutan. Komitmen Kementerian dalam mendorong riset dan teknologi berkelanjutan adalah inspirasi. Semoga kerjasama ini terus

diperkuat untuk menciptakan inovasi berkelanjutan demi masa depan yang lebih baik. Terima kasih atas kepercayaan dan kesempatan yang diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adekanbi, M L., & Temilola T. O. (2022). Utilizing Cashew Nut Shell Liquid for the Sustainable Production of Biodiesel: A Comprehensive Review. *Cleaner Chemical Engineering* 4, 100085.
- Amesho, K T.T. (2022). Kinetics Studies of Sustainable Biodiesel Synthesis from Jatropha Curcas Oil by Exploiting Bio-Waste Derived CaO-Based Heterogeneous Catalyst via Microwave Heating System as a Green Chemistry Technique. *Fuel* 323, 123876.
- Bayindirli, Cihan, Mehmet Celik, M, & Zan R. (2023). Optimizing the Thermophysical Properties and Combustion Performance of Biodiesel by Graphite and Reduced Graphene Oxide Nanoparticle Fuel Additive. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 37, 101295.
- Cordero-Ravelo, Virginia, & Julieta Schallenberg-Rodriguez. (2018). Biodiesel Production as a Solution to Waste Cooking Oil (WCO) Disposal. Will Any Type of WCO Do for a Transesterification Process? A Quality Assessment. *Journal of Environmental Management* 228, 117–29.
- Damanik, N. (2018). A Review on the Engine Performance and Exhaust Emission Characteristics of Diesel Engines Fueled with Biodiesel Blends. *Environmental Science and Pollution Research* 25(16), 15307–25.
- EBTKE, Kementerian ESDM Dirjed. (2023). Direktoret Jendral Energi Baru Terbarukan Dan Koservasi Energi (EBTKE).Pdf 1, <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/03/09/2824/peluang.dan.tantangan.pemanfaatan.biodiesel.berbasis.minyak.jelantah>.
- El-Araby, R. (2018). Study on the Characteristics of Palm Oil–Biodiesel–Diesel Fuel Blend. *Egyptian Journal of Petroleum* 27(2), 187–94.
- El-Kasaby, Mohammed, & Medhat A. Nemit-Allah. (2013). Experimental Investigations of Ignition Delay Period and Performance of a Diesel Engine Operated with Jatropha Oil Biodiesel. *Alexandria Engineering Journal* 52(2), 141–49.
- Fernández-Silva, S. D. (2022). Potential Valorization of Waste Cooking Oils into Sustainable Bio-Lubricants. *Industrial Crops and Products* 185, 0–3.
- Idris, M. (2023). Engine Performance Using Blended Fuels of Biodiesel and Eco Diesel.” *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering* 120 (1), 107–23.
- Kharina, Anastasia, Chris Malins, & Stephanie Searle. (2021). Biofuels Policy in Indonesia: Overview and Status Report. *The International Council on Clean Transportation: Washington, DC, USA* (August), 14.
- Maleki, B. (2023). A Novel Biomass Derived Activated Carbon Mediated AC@ZnO/NiO Bifunctional Nanocatalyst to Produce High-Quality Biodiesel from Dairy Industry Waste Oil: CI Engine Performance and Emission. *Chemical Engineering Journal* 467, 143399.
- Malla, Fayaz Ahmad, & Suhaib A. Bandh. (2023). “Biofuels and Sustainable Development Goals. *Environmental Sustainability of Biofuels*: 13–26.
- Nahas, L. (2023). Highly Efficient Scallop Seashell-Derived Catalyst for Biodiesel Production from Sunflower and Waste Cooking Oils: Reaction Kinetics and Effect of Calcination Temperature Studies. *Renewable Energy* 202, 1086–95.
- Nomanbhay, Saifuddin, Refal Hussein, and Mei Yin Ong. (2018). “Sustainability of Biodiesel Production in Malaysia by Production of Bio-Oil from Crude Glycerol Using Microwave Pyrolysis: A Review. *Green Chemistry Letters and Reviews* 11(2), 135–57.
- Politeknik Negeri Medan. (2022). Laporan Hasil Uji Titik Nyala, Densitas Dan Viskositas. Medan.
- Rao, P. Venkateswara, & D. Prabhakara Chary. (2018). “Characteristics Comparison of Biodiesel-Diesel Blend (B20) Fuel with Alcohol Additives. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science* 5(8), 128–32.
- Sarno, Maria, and Mariagrazia Iuliano. (2019). “Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Green Processing and Synthesis* 8(1), 828–36.