



Evaluasi Sifat Fisik Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Variasi Metanol untuk Optimasi Kinerja Peralatan Konstruksi dan Sistem Elektronika

Surya Dharma^a, Rihat Sebayang^b, Rahmawaty^b, Idham Kamil^c, Efri Debby Ekinola Ritonga^d, Ulfa Hasnita^e, Yetty Meuthia Hasibuan^f, Riadini Wanty Lubis^g, Husin Ibrahim^b, Jovian Zefanya Richard Chrisardo Silalahi^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^bProgram Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^cProgram Studi Teknologi Rekayasa Perancangan dan Fabrikasi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^dProgram Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^eProgram Studi Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 2015, Indonesia

^fProgram Studi Teknik Industri Universitas Harapan Medan, Jalan HM Joni no 70C, Medan 20217, Indonesia

^gJurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Muchtar Basri, Medan, 20238, Indonesia

*Korespondensi penulis: suryadharma@polmed.ac.id (surya) Tel.: +62813-6131-3004

Sorotan

- Pengembangan biodiesel
- Pengembangan energi baru terbarukan
- Pengembangan Bidang Teknologi

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 03 November 2025

Direvisi pada 24 November 2025

Disetujui pada 01 Desember 2025

Tersedia daring pada 03 Desember 2025

Kata kunci:

Minyak jelantah, biodiesel, transesterifikasi, metanol, standar kualitas bahan bakar.

Keywords:

Waste cooking oil, biodiesel, transesterification, methanol, fuel quality standards.

ABSTRAK

Minyak jelantah merupakan limbah rumah tangga yang dapat mencemari lingkungan apabila dibuang sembarangan. Salah satu cara pemanfaatan limbah tersebut adalah dengan mengonversinya menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perbandingan metanol terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah. Rasio metanol yang digunakan adalah 30:70, 40:60, dan 50:50 (v/v), dengan penambahan katalis basa KOH sebesar 1% dan suhu reaksi dijaga pada 60 °C. Parameter yang dianalisis mencakup viskositas kinematik, titik nyala, bilangan asam, dan densitas, yang seluruhnya diuji pada suhu 40 °C dan dibandingkan dengan standar kualitas bahan bakar ASTM D6751 dan EN 14214. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio metanol 50:50 menghasilkan biodiesel dengan kualitas paling unggul, dengan viskositas 3,75 mm²/s, flash point 109,2 °C, bilangan asam 0,34 mgKOH/g dan densitas sebesar 881 kg/m³. Dengan demikian, rasio tersebut dianggap paling optimal untuk menghasilkan biodiesel berbahan minyak jelantah yang memenuhi standar kualitas bahan bakar internasional, sehingga layak digunakan secara luas dan berkelanjutan.

A B S T R A C T

Waste cooking oil or used frying oil (commonly known as minyak jelantah), is a type of household waste that can cause environmental pollution if improperly disposed of. One effective way to utilize this waste is by converting it into biodiesel through the transesterification process. This study aims to evaluate the effect of the methanol-to-oil ratio on the characteristics of biodiesel produced from minyak jelantah. The methanol-to-oil ratios used were 30:70, 40:60, and 50:50 (v/v), with 1% KOH as the base catalyst and the reaction temperature maintained at 60 °C. The analyzed parameters included kinematic viscosity, flash point, acid value, and density, all measured at 40 °C and compared with the ASTM D6751 and EN 14214 biodiesel quality standards. The results showed that the 50:50 methanol ratio yielded the highest-quality biodiesel, with a viscosity of 3.75 mm²/s, flash point of 109.2 °C, acid value of 0.34 mgKOH/g, and density of 881 kg/m³. Therefore, this ratio is considered the most suitable for producing biodiesel from minyak jelantah that meets international fuel quality standards.

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang terdiri atas metil atau etil ester dari asam lemak. Senyawa ini umumnya dihasilkan melalui proses transesterifikasi minyak nabati dengan metanol atau etanol (dikenal sebagai metanolisis atau etanolisis), atau melalui proses esterifikasi asam lemak bebas menggunakan metanol. Menurut definisi yang dikemukakan oleh Wikipedia, biodiesel merupakan bahan bakar yang bersumber dari minyak nabati maupun hewani yang berasal dari sumber daya terbarukan [1].

Indonesia menempati posisi teratas dalam pemanfaatan biodiesel secara global, dengan penerapan standar nasional B35, yaitu campuran 35% biodiesel dan 65% solar. Keberhasilan implementasi program biodiesel di Indonesia sangat dipengaruhi oleh sejumlah aspek penting, termasuk ketersediaan bahan baku, tingkat permintaan, kebijakan dan regulasi pemerintah, aspek ekonomi, serta dampak terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara menyeluruh pelaksanaan program biodiesel di Indonesia dengan mengacu pada data empiris serta hasil-hasil kajian ilmiah terkini [2].

Produksi biodiesel dari minyak jelantah (waste cooking oil/WCO) telah menjadi strategi yang bernilai secara ekonomi dan ramah lingkungan untuk menjawab tantangan energi terbarukan global serta berkontribusi terhadap pembangunan masyarakat berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian yang sistematis dan mendalam terhadap penelitian terkait produksi biodiesel berbasis WCO guna memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai perkembangannya [3, 4]. Bahan bakar ramah lingkungan semakin mendapat perhatian seiring dengan meningkatnya risiko pemanasan global dalam beberapa tahun terakhir. Dalam konteks ini, biodiesel memiliki keunggulan yang signifikan sebagai salah satu alternatif energi terbarukan. Biodiesel dapat diproduksi melalui berbagai metode dari minyak nabati. Proses produksinya melibatkan pencampuran minyak organik dengan basa dan alkohol, yang

kemudian diubah menjadi bahan bakar diesel (DF) [5]. Proses konversi minyak jelantah menjadi biodiesel melibatkan serangkaian tahapan, antara lain penyaringan (filtrasi), perlakuan kimia awal untuk menghilangkan kontaminan, serta reaksi transesterifikasi guna menghasilkan biodiesel yang sesuai untuk digunakan pada mesin berbahan bakar diesel.

Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan dalam proses produksi biodiesel, antara lain metode superkritis, co-solvent, static mixer, reactive distillation, membran, reaksi ekstraktif, transesterifikasi in-situ, iradiasi ultrasonik, serta penggunaan gelombang mikro (microwave). Namun, dalam penelitian ini, penulis menerapkan pendekatan baru dalam pembuatan biodiesel dengan memanfaatkan minyak jelantah sebagai bahan baku utama. Metode yang digunakan didasarkan pada pemanfaatan semburan udara panas untuk meningkatkan sekaligus menjaga kestabilan suhu selama proses transesterifikasi, yakni pada rentang suhu 60-70 °C [6, 7].

Transesterifikasi merupakan proses yang terjadi ketika trigliserida komponen utama dalam minyak nabati maupun lemak hewani bereaksi dengan alkohol primer seperti metanol, dengan bantuan katalis (misalnya kalium metoksida atau natrium metoksida), sehingga menghasilkan ester alkil dari asam lemak yang terkandung di dalamnya [8]. Trigliserida sendiri merupakan senyawa gliserida yang teresterifikasi dengan asam lemak rantai panjang. Biodiesel dapat diproduksi dari berbagai jenis bahan baku yang memiliki kadar asam lemak bebas (Free Fatty Acids/FFAs) yang berbeda-beda, namun kandungan FFA dalam trigliserida merupakan faktor penting dalam proses produksi biodiesel [9]. Selama proses produksi biodiesel, gliserol akan terbentuk sebagai produk samping [1].

Metode ini menunjukkan potensi besar karena memanfaatkan bahan mentah yang mudah diperoleh serta berbiaya rendah. Selain itu, metode ini mampu mengurangi dampak negatif dari pembuangan minyak jelantah terhadap lingkungan dan sekaligus menghasilkan bahan bakar yang ramah lingkungan. Untuk menilai kinerja dari metode ini, biodiesel yang dihasilkan akan dianalisis dan dibandingkan dengan standar kualitas bahan bakar diesel yaitu ASTM D6751 dan EN 14214. Analisis ini mencakup parameter seperti kekentalan (viscosity), titik nyala (flash point), massa jenis (density), dan angka keasaman (acid number) untuk menentukan mutu biodiesel yang dihasilkan.

2. Metode

2.1. Persiapan Bahan Baku

Langkah awal dalam proses produksi biodiesel ini dimulai dengan menyiapkan minyak goreng bekas (minyak jelantah) sebagai bahan baku utama. Sebelum digunakan, minyak ini perlu melalui proses penyaringan awal guna menghilangkan kontaminan fisik seperti sisa makanan, jelaga, serta partikel padat yang terlarut. Tahapan ini dikenal sebagai proses pengendapan dan

penyaringan kotoran, dan bertujuan untuk memastikan kebersihan minyak sehingga tidak mengganggu reaksi transesterifikasi selanjutnya.

2.2. Degumming

Proses degumming bertujuan untuk menghilangkan senyawa fosfatida (gum), lendir, dan berbagai kontaminan polar lainnya yang masih terdapat dalam minyak goreng bekas atau minyak jelantah. Tahapan ini dilakukan dengan menambahkan asam lemah berupa asam fosfat (H_3PO_4) sebanyak 2% (v/v) ke dalam minyak. Reaksi antara asam dan kotoran polar akan membentuk endapan yang dapat dipisahkan melalui sentrifugasi atau penyaringan, sehingga dihasilkan minyak yang lebih murni dan siap untuk tahap transesterifikasi.

$$\begin{aligned} H_3PO_4 &= 1 \% \times 20.000 \text{ mL} \\ &= 200 \text{ mL} \end{aligned} \quad (1)$$

Selanjutnya, sebanyak 40 mL asam fosfat (H_3PO_4) ditambahkan ke dalam minyak jelantah yang telah melalui tahap penyaringan. Campuran ini kemudian diaduk menggunakan reaktor yang dilengkapi dengan sistem pengaduk, pada suhu 60 °C dengan kecepatan putar sebesar 800 rpm selama 30 menit. Setelah proses pencampuran selesai, campuran minyak dan asam dipindahkan ke dalam labu pemisah dan dibiarkan diam selama 2 jam agar proses pemisahan fase terjadi secara sempurna.

2.3. Transesterifikasi

Pada tahap ini, minyak jelantah atau minyak goreng bekas yang telah melalui proses degumming direaksikan dengan metanol dan katalis basa berupa kalium hidroksida (KOH). Proses transesterifikasi ini hanya dapat dilakukan apabila kadar asam lemak bebas (FFA) dalam minyak berada di bawah 5%, sehingga mencegah terjadinya pembentukan sabun yang dapat mengganggu efisiensi reaksi.

Percobaan transesterifikasi dilakukan dengan mencampurkan minyak jelantah dengan larutan beberapa variasi metanol-KOH, di mana rasio metanol terhadap volume minyak divariasikan sebesar 30% (v/v), 40% (v/v), dan 50% (v/v). Proses pencampuran ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio metanol terhadap konversi trigliserida menjadi metil ester (biodiesel).

$$\begin{aligned} \text{Metanol : } 1. 30 \% \times 20.000 \text{ mL} &= 6.000 \text{ mL} \\ 2. 40 \% \times 20.000 \text{ mL} &= 8.000 \text{ mL} \\ 3. 50 \% \times 20.000 \text{ mL} &= 10.000 \text{ mL} \end{aligned} \quad (2)$$

Minyak goreng bekas yang telah melalui tahap degumming kemudian dimasukkan ke dalam reaktor dan dicampurkan dengan 10.000 mL metanol serta larutan katalis basa (KOH) yang telah dipersiapkan sebelumnya. Proses transesterifikasi dilaksanakan selama 30 menit dengan bantuan motor pengaduk yang diatur pada kecepatan 800 rpm untuk memastikan homogenitas campuran. Selama proses berlangsung, suhu reaksi dijaga konstan pada 60 °C, yang

merupakan suhu optimal untuk memfasilitasi konversi trigliserida menjadi metil ester (biodiesel). Proses transesterifikasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 1. Variasi metanol transesterifikasi

No	Methanol (%)	Putaran (rpm)	Temperature (°C)	Katalis (%)	Waktu (menit)
1	30:70	800	60	1%	30 menit
2	40:60	800	60	1%	30 menit
3	50:50	800	60	1%	30 menit

2.4. Pencucian

Setelah proses transesterifikasi selesai, campuran reaksi dipindahkan ke dalam separating funnel (labu pemisah) untuk dilakukan proses pemurnian awal. Campuran kemudian didiamkan selama beberapa menit agar terjadi pemisahan secara gravitasi antara dua fase, yaitu fase bawah yang terdiri dari gliserol, sisa metanol, dan katalis, serta fase atas yang merupakan biodiesel mentah.

Selanjutnya, dilakukan proses pencucian (washing) terhadap biodiesel mentah dengan cara menambahkan aquadest (air suling) yang telah dipanaskan hingga suhu 40–50 °C. Pencucian bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa kontaminan yang larut dalam air seperti metanol, katalis, sabun, dan gliserol residu.

2.5. Pengeringan

Setelah proses pencucian selesai, dilakukan tahap pemisahan gliserol dari biodiesel secara menyeluruh. Biodiesel mentah kemudian menjalani proses pengeringan untuk menghilangkan sisa air (*aquadest*) dan metanol yang masih terlarut. Proses ini dilakukan dengan menggunakan rotary evaporator, pada suhu 75 °C, tekanan 95 mbar, dan selama 30 menit. Penggunaan *rotary evaporator* memungkinkan penguapan pelarut secara efisien di bawah tekanan rendah, sehingga diperoleh biodiesel murni yang siap untuk dianalisis atau digunakan lebih lanjut.

2.6. Penyaringan

Tahap akhir dalam proses produksi biodiesel adalah penyaringan, yang bertujuan untuk memastikan bahwa produk biodiesel yang dihasilkan telah bebas dari partikel halus, sisa kotoran, atau residu padat lainnya yang mungkin masih tersisa setelah proses sebelumnya. Penyaringan dilakukan dengan menggunakan kertas saring yang berpori halus, sehingga hanya biodiesel murni yang dapat melewati media penyaring. Proses ini penting untuk menjamin kemurnian dan kestabilan biodiesel sebelum diuji atau disimpan [10]. Bagian ini menyajikan metode atau teknik penelitian yang digunakan, alat-alat dan bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian, teknik sampling, dan cara analisis data secara rinci. Jika penelitian menggunakan bahan kimia ditulis lengkap dengan merk, kadar, dan kemurniannya (contoh: HCl 37% (Merk)). Dan alat yang digunakan dalam penelitian dituliskan tipe dan mereknya, contohnya *infra-red spectrophotometer prestige*.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap masing-masing variasi perbandingan metanol yang diuji, diperoleh data mengenai karakteristik biodiesel yang dihasilkan. Data tersebut menunjukkan pengaruh jumlah metanol terhadap parameter-parameter tertentu dalam proses transesterifikasi. Hasil lengkap dari pengujian ini disajikan dalam Tabel berikut.

Tabel 2. Tabel hasil uji coba

Methanol	Properti	Satuan	Biodiesel				Hasil Analisis
			ASTM D6751	Standar Uji	EN 14214	Standar Uji	
30:70	Viskositas Kinematik	mm ² /s	1,9-6,0	D445	3,5-5,0	EN ISO 3104	4,92
40:60		40°C					4,78
50:50							4,67
30:70							101,5
40:60	Flash Point	°C	100-170	D93	101 (min)	EN ISO 22179	135,0
50:50							159,2
30:70							0,481
40:60	Bilangan Asam	mgKOH/g	0,5 (maks)	D664	0,5 (maks)	EN ISO 22179	0,445
50:50							0,423
30:70							798
40:60	Densitas	kg/m ³	850-890	D4052	860-900	EN ISO 3675	823
50:50							859

3.2. Pembahasan

Penelitian ini menganalisis karakteristik biodiesel hasil transesterifikasi minyak jelantah dengan variasi rasio metanol 30:70, 40:60, dan 50:50. Parameter utama yang diamati ialah viskositas kinematik, *flash point*, bilangan asam, dan densitas. Semua hasil diuji pada suhu 40 °C dan mengacu pada standar ASTM D6751 dan EN 14214 [11]. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi rasio metanol 50:50 memberikan performa terbaik dalam seluruh aspek pengujian.

3.2.1. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik menggambarkan kekentalan biodiesel, yang sangat mempengaruhi efisiensi sistem bahan bakar, khususnya injeksi dan aliran di dalam mesin [12]. Hasil uji menunjukkan nilai sebagai berikut:

1. 30:70 → 4,92 mm²/s
2. 40:60 → 4,72 mm²/s
3. 50:50 → 4,67 mm²/s (terendah dan terbaik)

Semua nilai berada dalam batas standar ASTM (1,9–6,0 mm²/s) dan EN 14214 (3,5–5,0 mm²/s). Namun, rasio 50:50 memberikan viskositas terendah, yang berarti bahan bakar lebih encer dan mendekati karakteristik solar, sehingga lebih cocok digunakan dalam mesin diesel modern.

3.2.2. Flash Point

Flash point merupakan indikator suhu minimum dimana uap bahan bakar dapat menyala, berkaitan dengan tingkat keamanan dalam penyimpanan dan penggunaan [13]. Nilai hasil pengujian adalah:

1. 30:70 → 101,5 °C
2. 40:60 → 135,0 °C
3. 50:50 → 159,2 °C (tertinggi dan paling aman)

Semua hasil dari pengujian tersebut melebihi standar minimum (ASTM ≥ 100°C, EN ≥ 101 °C), namun pada variasi rasio 50:50 menghasilkan flash point tertinggi, dapat dikatakan bahwa kandungan metanol sisa paling sedikit dan kestabilan bahan bakar paling baik terhadap risiko terbakar.

3.2.3. Bilangan Asam

Bilangan asam memaparkan jumlah asam lemak bebas (FFA) yang tersisa dalam biodiesel. Nilai tinggi berisiko menimbulkan korosi pada mesin [14]. Dapat dilampirkan sebagai berikut:

1. 30:70 → 0,481 mgKOH/g
2. 40:60 → 0,445 mgKOH/g
3. 50:50 → 0,423 mgKOH/g (terendah dan paling stabil)

Batas maksimum menurut standar ASTM dan EN adalah 0,5 mgKOH/g. Nilai terendah diperoleh pada rasio 50:50, yang berarti konversi FFA ke metil ester berlangsung optimal, sehingga biodiesel lebih stabil terhadap oksidasi dan lebih ramah terhadap komponen mesin.

3.2.4. Densitas

Densitas merujuk massa jenis bahan bakar, yang berhubungan langsung dengan nilai energi per volume [15]. Berikut hasil yang dapat dilampirkan:

1. 30:70 → 798 kg/m³
2. 40:60 → 823 kg/m³
3. 50:50 → 859 kg/m³ (tertinggi dan paling efisien)

Rentang standar yang berlaku adalah 850–890 kg/m³ (ASTM) dan 860–900 kg/m³ (EN 14214). Rasio 50:50 menghasilkan nilai densitas tertinggi, yang dapat dikatakan kandungan energi lebih besar dalam setiap liternya, mendukung efisiensi bahan bakar secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil pengujian, rasio metanol 50:50 memberikan kinerja paling optimal pada seluruh parameter kualitas biodiesel. Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian terbaru yang menegaskan bahwa rasio metanol:oil merupakan variabel krusial dalam menentukan mutu biodiesel. Berdasarkan penelitian [16] menyatakan bahwa variasi rasio alkohol-minyak sangat mempengaruhi parameter utama biodiesel seperti viskositas, densitas, dan stabilitas oksidatif, terutama ketika menggunakan bahan baku dengan komposisi trigliserida yang bervariasi seperti minyak jelantah. Hal serupa juga diungkapkan pada penelitian [17], yang menemukan bahwa peningkatan rasio metanol berbanding lurus dengan efisiensi konversi trigliserida menjadi metil ester. Pada parameter viskositas, hasil penelitian ini menunjukkan nilai 4,92 mm²/s (30:70), 4,72 mm²/s (40:60), dan 4,67 mm²/s pada rasio 50:50. Nilai viskositas yang cenderung menurun akibat meningkatnya rasio metanol mendukung temuan [18], yang melaporkan bahwa biodiesel dari minyak limbah cenderung memiliki viskositas lebih rendah dan stabil ketika kelebihan metanol dapat memaksimalkan konversi esterifikasi dan transesterifikasi. Hal ini penting karena viskositas yang lebih rendah mendekati karakteristik solar dan meningkatkan performa injeksi serta pembakaran pada mesin diesel modern.

Pada aspek flash point, rasio 50:50 menghasilkan nilai tertinggi yaitu 159,2°C, menunjukkan kandungan metanol sisa yang lebih minim. Hasil ini sejalan dengan laporan penelitian [19] yang menyatakan bahwa flash point tinggi merupakan indikator kualitas biodiesel yang aman, stabil, serta bebas dari residu alkohol yang berlebihan.

Sementara itu, bilangan asam yang menurun seiring peningkatan rasio metanol – dari 0,481 mgKOH/g (30:70) menjadi 0,423 mgKOH/g (50:50) sejalan dengan penelitian [20], yang menegaskan bahwa proses transesterifikasi yang optimal akan menurunkan kadar FFA akibat konversi efektif menuju metil ester, sehingga mengurangi potensi korosi mesin dan meningkatkan umur pakai komponen.

Pada parameter densitas, biodiesel yang dihasilkan memiliki peningkatan signifikan yaitu 798 kg/m³, 823 kg/m³, hingga 859 kg/m³ pada rasio 50:50. Nilai densitas ini sangat konsisten dengan data penelitian [18], yang melaporkan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari minyak limbah umumnya memiliki densitas berkisar antara 0,86–0,88 g/cm³ dan memenuhi standar EN 14214. Hal ini mengindikasikan bahwa rasio 50:50 memberikan kandungan energi per volume lebih tinggi, sehingga mendukung efisiensi pembakaran.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menguatkan temuan-temuan terbaru bahwa optimasi rasio metanol memainkan peran penting dalam menentukan kualitas biodiesel, terutama pada bahan baku minyak jelantah yang memiliki komposisi FFA dan trigliserida yang beragam. Hasil ini sekaligus menunjukkan bahwa biodiesel dari minyak limbah dapat memenuhi standar internasional sepanjang kondisi proses terkontrol dengan baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan rangkaian pengujian terhadap biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah dengan tiga variasi rasio metanol (30:70, 40:60, dan 50:50) pada suhu acuan 40 °C, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

- 1). Rasio metanol 50:50 dapat dibuktikan bahwa dapat memberikan hasil karakteristik paling unggul dibandingkan dengan dua rasio lainnya. Hal ini dapat dilihat dari viskositas yang paling rendah (4,67 mm²/s), flash point tertinggi (159,2 °C), bilangan asam terendah (0,423 mgKOH/g), serta densitas tertinggi (859 kg/m³), menjadikannya formulasi variasi rasio yang paling ideal.
- 2). Seluruh parameter hasil pengujian telah sesuai dengan batas kualitas yang ditetapkan oleh standar ASTM D6751 dan EN 14214, yang dapat dikatakan bahwa proses transesterifikasi berhasil menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang dapat diterima secara internasional.
- 3). Meningkatkan rasio metanol dalam reaksi transesterifikasi memberikan dampak positif terhadap mutu biodiesel, khususnya dalam menurunkan kadar asam lemak bebas dan meningkatkan keamanan penyimpanan melalui flash point yang lebih tinggi.

Kontribusi Penulis

Setiap peneliti dalam artikel ini memiliki kontribusi dalam pelaksanaan penelitian dan pembuatan artikel yang meliputi penyusun draf awal manuskrip, pelaksana eksperimen, pengolah dan penganalisis data, penyunting, serta pembimbing penelitian.

Konflik Kepentingan

Setiap penulis menyatakan bahwa tidak memiliki konflik kepentingan finansial atau hubungan pribadi yang dapat memengaruhi penelitian dalam manuskrip ini.

Ucapan Terimakasih

Penulis dengan penuh rasa syukur menyampaikan penghargaan dan mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial yang diberikan melalui dana Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dan Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia dengan No Kontrak 3227/D6/DV.03.00/2024.

Daftar Pustaka

- [1] M. Al Balushi, "Towards Zero-Waste Biodiesel Production: Purification of Methanol Recovery," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2024, vol. 1401, no. 1, p. 012010: IOP Publishing.

- [2] S. S. Wirawan, M. D. Solikhah, H. Setiapraja, and A. Sugiyono, "Biodiesel implementation in Indonesia: Experiences and future perspectives," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, p. 113911, 2024.
- [3] M. Suzihaque, H. Alwi, U. K. Ibrahim, S. Abdullah, and N. Haron, "Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 63, pp. S490-S495, 2022.
- [4] B. Wahyudi, T. Rizki, dan R. Wahyu P, "Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi," 2020.
- [5] H. Hosseinzadeh-Bandbafha, A.-S. Nizami, S. A. Kalogirou, V. K. Gupta, Y.-K. Park, A. Fallahi, A. Sulaiman, M. Ranjbari, H. Rahnama, M. Aghbashlo, W. Peng, and M. Tabatabaei, "Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161, p. 112411, 2022.
- [6] D. Ariyani, E. Megawati, Y. Yuniarti, dan A. Mukminin, "Uji Karakteristik Hasil Transesterifikasi Dari Ekstrak Biji Ketapang (*Terminalia catappa* Linn) Terhadap Pengaruh Variasi Waktu Dengan Katalis KOH," *Majamecha*, vol. 6, no. 1, pp. 112-119, 2024.
- [7] D. A. Wulandari, Wardoyo, E. A. Syaefuddin, A. D. Indrawan, F. Sholehudin, N. R. Dhiyaulhaq, R. Setianto, and E. Melando, "Pengolahan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel Sebagai Upaya Pemberdayaan Masyarakat Pesisir," in *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2023, vol. 4, pp. SNPPM2023ST-316-SNPPM2023ST-324.
- [8] Naseef, H. H. and R. H. Tulaimat, "Transesterification and esterification for biodiesel production: A comprehensive review of catalysts and palm oil feedstocks," *Energy Conversion and Management: X*, vol. 26, art. no. 100931, Apr. 2025. doi: 10.1016/j.ecmx.2025.100931
- [9] S. Mohite, S. Kumar, A. Pal, and S. Maji, "Biodiesel Production from High Free Fatty Acid Feed Stocks through Transesterification," *Proceedings of the International Conference on Advanced Research and Innovation (ICARI)*, 2015.
- [10] A. Ernes et al., "Biodiesel production from sardine frying oil via microfiltration pretreatment," *JAAST*, vol. 3, no. 2, pp. 289–298, 2019.
- [11] M. Canakci and H. Sanli, "Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties," *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 35, no. 5, pp. 431–441, 2008, doi: 10.1007/s10295-008-0337-6.
- [12] G. Sánchez-Rodríguez, J. Domenzain-González, F. J. Verónico-Sánchez, H. I. Pérez-López, A. Zúñiga-Moreno, dan O. Elizalde-Solis, "Density and Viscosity in Biodiesel + Diesel Mixtures from Recycled Feedstocks," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 7, art. no. 3812, 2025, doi: 10.3390/app15073812.
- [13] S. Boichenko, A. Yakovlieva, S. O. Zubenko, and I. Shkilniuk, "Physical, Chemical, and Performance Properties of Biodiesel Fuels: A Comparative Study of Lipid-Based Feedstocks," *Energies*, vol. 18, no. 16, art. no. 4274, Aug. 2025, doi: 10.3390/en18164274.
- [14] X. P. Nguyen and H. N. Vu, "Corrosion of the metal parts of diesel engines in biodiesel-based fuels," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 8, no. 2, pp. 119–132, Jun. 2019, doi: 10.14710/ijred.8.2.119-132.
- [15] M. S. Adhani, "Korelasi Sifat Fisik Biodiesel Campuran Jatropha-Kedelai: Densitas, Viskositas, Titik Nyala dan Nilai Kalor," *Insologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 4, no. 3, pp. 669–679, 2025.

- [16] V. S. Shanthini, D. Chitra, and G. Moorthy, "Biodiesel: A comprehensive review of properties, catalyst types, and feedstock sources," *Results in Chemistry*, vol. 18, p. 102678, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.rechem.2025.102678.
- [17] L. Tang, A. R. Otho, M. Laghari, A. R. Junejo, S. A. Brohi, F. A. Chandio, S. A. Otho, L. Hao, I. A. Mari, J. Dahri, and J. A. Channa, "Optimizing algal oil extraction and transesterification parameters through RSM, PCA, and MRA for sustainable biodiesel production," *Catalysts*, vol. 14, no. 10, p. 675, 2024, doi: 10.3390/catal14100675.
- [18] E. E. Chinaza, I. R. Obinna, N. Johnson, and I. Chigozie, "Sustainable Production and Characterization of Biodiesel from Kitchen Waste Oils," *Majelis: Journal Publication*, 2025.
- [19] B. Yunitasari, Y. P. Asmara, A. Ansori, M. Muhaji, A. E. Palupi, H. N. Sari, and D. I. Santoso, "The characteristics of waste cooking oil biodiesel by non-catalytic methods," *BIO Web of Conferences*, vol. 171, p. 02010, 2025, doi: 10.1051/bioconf/202517102010.
- [20] K. Srithejas, V. Athreya, P. S. Prajwal, R. R. Achar, and K. T. Vadiraj, "Assessment of waste cooking oil-based biodiesel blend: Properties, performance and optimal blend ratio," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 26, no. 10, pp. 200–210, 2025, doi: 10.12911/22998993/205597.