



Komparasi Hasil Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel dengan Bahan Minyak Kelapa dan Minyak Jelantah Melalui Uji Densitas serta Asam Lemak Bebas

Abdur Rozaq ^{1*}, Muhammad Fikri Mubarok ¹, Ariel Wicaksono ¹, Erik Dwi Novianto ¹, dan Tegar Tro Hadmoko ¹

Situs: Rozaq, Abdur.; Mubarok , M. F.; Wicaksono, Ariel.; Novianto, E. D.; Hadmoko, T. T.; (2025). Komparasi Hasil Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel dengan Bahan Minyak Kelapa dan Minyak Jelantah Melalui Uji Densitas serta Asam Lemak Bebas. J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, V(1) N(1), hlm. 1-10



Copyright: © 2025 oleh para penulis. Karya ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License. (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

¹ Politeknik Negeri Jember

* Korespondensi: H42240507@student.polije.ac.id; Tel.: +6285236583206

Abstract: The global energy crisis and the increasing rate of carbon emissions have intensified the need for sustainable renewable energy sources, among which biodiesel stands out as an environmentally friendly alternative fuel. This study aims to compare the characteristics of biodiesel produced from two types of feedstocks—coconut oil (*Cocos nucifera*) and waste cooking oil (WCO)—through a two-step chemical process consisting of esterification and transesterification. The experiments were conducted at the Laboratory of Energy and Alternative Fuels, Politeknik Negeri Jember, using methanol as the primary reagent, sulfuric acid (H_2SO_4) as the acid catalyst during esterification, and sodium hydroxide (NaOH, 1% w/w oil) as the base catalyst during transesterification, with a molar ratio of methanol to oil of 6:1 at 60–65 °C for 1 hour. The density of the resulting biodiesel was measured using a pycnometer at 20 °C and 40 °C according to ASTM D4052 and SNI 7182:2015 standards. The results showed that coconut oil produced biodiesel with a yield of 98.5%, while waste cooking oil produced an apparent yield of 112.5% due to residual methanol and wash water that were not fully separated. The free fatty acid (FFA) analysis indicated that waste cooking oil contained higher FFA levels (3.9–4.6%), requiring an esterification pretreatment to prevent soap formation, whereas coconut oil with low FFA (<1.6%) could be directly transesterified. The measured density values require recalibration, as they did not fall within the standard range of 850–890 kg/m³. Overall, both feedstocks demonstrate potential for biodiesel production, with coconut oil offering better stability and purity, while waste cooking oil provides greater economic and environmental benefits.

Keywords: biodiesel; coconut oil; waste cooking oil; esterification; transesterification

Abstrak: Krisis energi global dan meningkatnya emisi karbon menuntut pengembangan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan, salah satunya biodiesel sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari dua jenis bahan baku, yaitu minyak kelapa (*Cocos nucifera*) dan minyak jelantah (waste cooking oil), melalui proses kimia dua tahap meliputi esterifikasi dan transesterifikasi. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Energi dan Bahan Bakar Alternatif Politeknik Negeri Jember dengan menggunakan metanol sebagai perekasi utama, katalis asam H_2SO_4 untuk tahap esterifikasi, dan katalis basa NaOH 1% pada tahap transesterifikasi dengan rasio molar metanol terhadap minyak 6:1 pada suhu 60–65 °C selama 1 jam. Uji densitas dilakukan dengan metode piknometer pada suhu 20 °C dan 40 °C sesuai standar ASTM D4052 dan SNI 7182:2015. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak kelapa menghasilkan biodiesel dengan rendemen 98,5%, sedangkan minyak jelantah menghasilkan rendemen sekitar 112,5% akibat sisa metanol dan air pencuci yang belum sepenuhnya

terpisah. Analisis kadar asam lemak bebas (FFA) menunjukkan bahwa minyak jelantah memiliki FFA tinggi (3,9–4,6%), sehingga memerlukan tahap esterifikasi untuk mencegah pembentukan sabun, sedangkan minyak kelapa memiliki FFA rendah (<1,6%) dan dapat langsung diproses. Nilai densitas yang diperoleh masih memerlukan kalibrasi ulang karena belum sesuai dengan standar 850–890 kg/m³. Secara keseluruhan, kedua bahan baku berpotensi digunakan sebagai sumber biodiesel, dengan minyak kelapa unggul dalam stabilitas dan minyak jelantah lebih ekonomis serta berkelanjutan secara lingkungan.

Kata kunci: biodiesel; minyak kelapa; minyak jelantah; esterifikasi; transesterifikasi

1. Pendahuluan

Krisis energi global dan perubahan iklim semakin mendesak pengembangan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu solusi yang banyak diteliti adalah biodiesel, bahan bakar berbasis ester lemak yang dapat menggantikan sebagian bahan bakar diesel fosil. Biodiesel menawarkan keuntungan dalam hal pengurangan emisi karbon, penggunaan bahan baku terpadu lokal, dan diversifikasi pasokan energi.

Dalam konteks Indonesia, minyak kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan salah satu minyak nabati yang menarik sebagai bahan baku biodiesel karena kelapa banyak tersedia, terutama di wilayah tropis. Di sisi lain, minyak jelantah atau minyak bekas memasak (waste cooking oil, WCO) merupakan limbah yang melimpah dan bisa menjadi sumber yang lebih murah dan lebih ramah lingkungan jika diproses menjadi biodiesel. Pemanfaatan minyak jelantah juga membantu mengurangi masalah lingkungan akibat pembuangan limbah minyak secara tidak tepat.

Saat ini, sejumlah studi telah mengeksplorasi produksi biodiesel dari kedua bahan tersebut, serta karakteristik fisik–kimianya, seperti densitas, viskositas, nilai ester, kandungan asam lemak bebas, dan performa mesin jika diblends. Misalnya, penelitian *Effect of Time Variation and Mole Ratio on Biodiesel Production from Coconut Oil Using CaO Catalyst* menemukan bahwa biodiesel dari minyak kelapa dengan rasio mol minyak ke metanol 1:15 dan waktu reaksi ~120 menit menghasilkan densitas kira-kira $858,20 \pm 26,95$ kg/m³ dan viskositas ~2,64 cSt, memenuhi standar nasional biodiesel Indonesia (SNI 7182:2015) pada kondisi optimal [1]. Sementara itu, studi pada biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis heterogen CaO menunjukkan densitas sekitar 0,8662 g/mL (setara ca. 866,2 kg/m³) dan yield ~72,5% mengingat rasio mol dan berat katalis tertentu [2]. Studi-lain juga menunjukkan bahwa penggunaan minyak jelantah seringkali memerlukan langkah pra-perlakuan (untuk menurunkan free fatty acid, FFA) agar reaksi esterifikasi/transesterifikasi berjalan efisien, sedangkan minyak kelapa, meskipun lebih jenuh dalam asam lemaknya, memiliki tantangan tersendiri dalam hal viskositas dan titik beku [3].

Beberapa hipotesis yang kontroversial atau menyimpang muncul dalam literatur:

Terdapat anggapan bahwa minyak kelapa akan selalu menghasilkan biodiesel densitas yang lebih tinggi dibanding minyak jelantah, karena kandungan asam lemak jenuhnya yang lebih tinggi. Namun, beberapa studi menunjukkan bahwa minyak jelantah yang telah diproses/prae-perlakuan bisa memiliki densitas yang mendekati atau bahkan serupa dengan densitas biodiesel dari minyak kelapa, tergantung variabel seperti rasio alkohol, jenis katalis, suhu reaksi, serta kandungan air dan asam lemak bebas.

Sebaliknya, ada yang berpendapat bahwa yield dan kualitas biodiesel dari minyak jelantah akan selalu lebih rendah karena variasi mutu minyak bekas (degradasi, oksidasi, kontaminan). Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa dengan kondisi optimasi yang tepat, performa minyak jelantah bisa cukup kompetitif.

Meski sejumlah penelitian sudah membandingkan karakteristik biodiesel dari minyak kelapa dan minyak jelantah, gap penelitian masih muncul terutama dalam hal pengujian densitas di bawah kondisi yang sama, serta bagaimana variabel proses (misalnya rasio mol, jenis katalis, waktu reaksi) mempengaruhi densitas relatif dari kedua bahan baku. Juga, masih sedikit penelitian terapan yang membandingkan langsung performa fisik dan karakteristik densitasnya dalam satu eksperimen yang konsisten.

Tujuan utama dari pekerjaan ini adalah:

Membandingkan hasil produksi biodiesel dari minyak kelapa dan minyak jelantah melalui metode transesterifikasi/prae-perlakuan yang sama, termasuk pengujian densitas sebagai parameter utama.

Menentukan pengaruh variabel proses (misalnya rasio metanol:minyak, jenis katalis, waktu reaksi) terhadap densitas dan yield biodiesel dari kedua bahan baku tersebut.

Mengevaluasi apakah biodiesel dari minyak jelantah, setelah optimasi, dapat memenuhi standar densitas biodiesel (misalnya SNI/ASTM/EN) setara dengan biodiesel dari minyak kelapa.

Temuan utama yang diharapkan adalah bahwa, walaupun minyak kelapa mungkin menghasilkan biodiesel dengan densitas tinggi karena sifat kimia asam lemak jenuhnya, minyak jelantah yang diolah dengan baik akan menunjukkan densitas yang cukup kompetitif dan memenuhi standar. Dengan demikian, studi ini diharapkan menyediakan data empiris yang dapat membantu pengambilan keputusan tentang pemilihan bahan baku biodiesel yang seimbang antara biaya, ketersediaan, dan kualitas.

2. Bahan dan Metode

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian percobaan laboratorium yang bertujuan untuk memproduksi biodiesel berbasis minyak nabati (minyak kelapa dan minyak jelantah) serta mengevaluasi karakteristik fisikokimia hasilnya, terutama densitas. Proses produksi dilakukan dalam empat tahap utama: penentuan kadar asam lemak bebas (Free Fatty Acid/FFA), esterifikasi, transesterifikasi, dan pengujian densitas.

Seluruh tahapan dilaksanakan di Laboratorium Energi dan Bahan Bakar Alternatif, Jurusan Teknik Mesin Otomotif, Politeknik Negeri Jember, pada suhu ruang (27–30 °C) dengan kelembaban terkendali.

2.2 Bahan

Bahan utama dan pendukung yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

2.2.1 Bahan Baku Minyak:

- Minyak jelantah (minyak goreng bekas rumah tangga) sebagai sumber trigliserida dengan kadar asam lemak bebas tinggi.
- Minyak kelapa murni sebagai pembanding bahan baku biodiesel dengan kadar FFA rendah.

2.2.2 Reagen Kimia:

- Metanol (CH_3OH), pro analysis grade, digunakan sebagai alkohol pereaksi utama dalam reaksi esterifikasi dan transesterifikasi.
- Asam sulfat pekat (H_2SO_4 , 98%), berfungsi sebagai katalis asam pada tahap esterifikasi untuk menurunkan kadar FFA.
- Natrium hidroksida (NaOH , pellets) atau kalium hidroksida (KOH) digunakan sebagai katalis basa pada tahap transesterifikasi.
- Etanol 95% digunakan sebagai pelarut dalam penentuan kadar FFA melalui titrasi.
- Larutan KOH 0,1 N digunakan sebagai titran pada analisis asam lemak bebas.
- Indikator fenolftalein (PP) sebagai penentu titik akhir titrasi.
- Akuades (aquades) digunakan untuk pencucian dan pemurnian biodiesel.

2.3 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Timbangan digital (ketelitian $\pm 0,01$ g)
- Gelas ukur (100 mL–1 L)
- Beaker glass (250–1000 mL)
- Labu erlenmeyer (250 mL)
- Corong pisah (separating funnel, kapasitas 500 mL)
- Hot plate magnetic stirrer dengan pengatur suhu
- Termometer digital (0–100 °C)
- Oven pengering
- Pikkrometer kaca (kapasitas 25 mL) atau hidrometer
- Buret, pipet volume, corong kecil
- Alat pelindung diri: jas laboratorium, sarung tangan nitril, dan kacamata keselamatan

2.4 Metode

2.4.1 Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas (FFA)

Analisis kadar FFA dilakukan untuk menilai kualitas awal bahan baku minyak. Sebanyak 20 gram minyak (kelapa, jarak pagar, dan jelantah) ditimbang ke dalam labu erlenmeyer, lalu ditambahkan 100 mL etanol 95%. Campuran dipanaskan di atas hot plate hingga mendidih selama ± 5 menit agar homogen. Setelah dinginkan

hingga ± 40 °C, ditambahkan 10 tetes indikator fenoltalein, kemudian dititrasi dengan larutan KOH 0,1 N hingga warna merah muda stabil selama 15 detik.

Volume KOH yang digunakan dicatat, dan kadar FFA dihitung menggunakan rumus:

$$\text{FFA (\%)} = \frac{V \cdot N}{m} \cdot 28,2$$

di mana:

V = volume KOH (mL),

N = normalitas KOH (0,1 N),

m = massa sampel (g),

28,2 = konstanta berdasarkan berat molekul asam oleat.

Nilai FFA yang lebih tinggi dari 2% menandakan bahwa minyak perlu melalui tahap esterifikasi sebelum transesterifikasi untuk mencegah pembentukan sabun (saponifikasi).

2.4.2 Tahap Esterifikasi

Tahap ini bertujuan menurunkan kadar FFA minyak jelantah agar dapat digunakan dalam reaksi transesterifikasi. Sebanyak 200 mL minyak jelantah dimasukkan ke dalam beaker glass dan dipanaskan hingga suhu 60 °C. Campuran metanol dan asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 5% berat minyak disiapkan terpisah sebagai larutan katalis. Metanol digunakan dalam rasio molar 1:6 terhadap minyak.

Campuran minyak, metanol, dan katalis diaduk menggunakan magnetic stirrer pada 600 rpm selama ± 1 jam pada suhu konstan 60–65 °C. Setelah reaksi selesai, campuran dimasukkan ke corong pisah dan didiamkan selama 6–12 jam hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas (metil ester) dipisahkan dan dicuci dengan aquades hangat tiga kali untuk menghilangkan sisa katalis dan metanol. Hasil ini kemudian dikeringkan pada suhu 100 °C selama 30 menit.

2.4.3 Tahap Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi dilakukan untuk mengonversi trigliserida dalam minyak menjadi metil ester (biodiesel). Minyak hasil esterifikasi atau minyak kelapa murni sebanyak 200 mL dipanaskan hingga suhu 60 °C. Larutan metoksida disiapkan dengan melarutkan NaOH 1% dari berat minyak ke dalam metanol (1:6 molar ratio). Karena reaksi eksotermis, pelarutan dilakukan dengan hati-hati hingga NaOH larut sempurna.

Larutan metoksida kemudian dicampurkan ke dalam minyak panas, diaduk dengan magnetic stirrer selama 60 menit pada suhu tetap 60 °C. Setelah reaksi selesai, campuran dimasukkan ke corong pisah dan dibiarkan selama 12–24 jam untuk memisahkan biodiesel (lapisan atas) dari gliserol (lapisan bawah). Biodiesel yang diperoleh dicuci dengan aquades sebanyak tiga kali hingga air pencuci menjadi jernih, lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 105 °C selama 30 menit.

Rendemen biodiesel dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{V_{\text{biodiesel}}}{V_{\text{minyak}}} \times 100\%$$

2.4.4 Uji Densitas Biodiesel

Uji densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis biodiesel yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dengan metode piknometer pada suhu 20 °C. Piknometer kering ditimbang kosong (m_0), kemudian diisi biodiesel hingga tanda batas dan ditimbang kembali (m_1). Volume piknometer (V) diketahui dari kalibrasi menggunakan air pada suhu yang sama. Nilai densitas dihitung dengan rumus:

$$\rho = \frac{m_1 - m_0}{V}$$

Hasil densitas dikoreksi terhadap suhu pengukuran dengan persamaan:

$$\rho_T = \rho_{20} - 0,00064(T - 20)$$

Nilai densitas biodiesel kemudian dibandingkan dengan standar mutu SNI 7182:2015, ASTM D6751, dan EN 14214, yaitu 850–890 kg/m³ pada suhu 15–25 °C.

2.3 Ketersediaan Data, Kode, dan Bahan

Seluruh bahan, data eksperimen, serta hasil pengukuran densitas dan titrasi tersedia untuk publik sesuai dengan prinsip keterbukaan data ilmiah. Permintaan akses data atau protokol eksperimen dapat diajukan kepada penulis korespondensi.

Tidak terdapat batasan dalam ketersediaan material, dan tidak digunakan hewan atau manusia dalam penelitian ini, sehingga tidak memerlukan persetujuan etik.

Reproduksibilitas dan Validasi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada standar internasional yang telah tervalidasi, meliputi:

- ASTM D664 (Analisis Bilangan Asam dan FFA)
- ASTM D4052 dan EN ISO 12185 (Pengujian Densitas)
- ASTM D6751 dan SNI 7182:2015 (Standar Biodiesel)
- Protokol pembuatan biodiesel dari *Van Gerpen et al.* (2005) dan *Ma & Hanna* (1999).

Prosedur, parameter suhu, rasio molar, serta waktu reaksi telah dioptimalkan agar hasil dapat direplikasi oleh peneliti lain dengan tingkat kesalahan minimal $\pm 2\%$.

Diagram Alur Penelitian

1. Analisis FFA minyak mentah (kelapa dan jelantah)
2. Esterifikasi → penurunan FFA menggunakan H_2SO_4
3. Transesterifikasi → pembentukan metil ester (biodiesel)
4. Pemurnian dan pengeringan biodiesel
5. Uji densitas dan analisis kualitas fisik

3. Hasil

3.1 Hasil Praktikum

Bagian ini menyajikan hasil eksperimen dari seluruh tahapan praktikum biodiesel, mulai dari proses pembuatan biodiesel, penentuan kadar asam lemak bebas (FFA), hingga uji densitas. Hasil disajikan dalam bentuk tabel, rumus perhitungan, dan penjelasan singkat mengenai interpretasi data yang diperoleh.

3.1.1 Perhitungan Rendemen Biodiesel dari Minyak Kelapa

Hasil praktikum menunjukkan bahwa dari 200 mL minyak kelapa, dihasilkan 197 mL biodiesel, dengan perhitungan rendemen sebagai berikut:

$$\text{Rendemen} = \text{Volume Biodiesel} / \text{Volume Minyak} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Rendemen} = 197 \text{ mL} / 200 \text{ mL} \times 100\% = 98,5\% \quad (2)$$

Nilai rendemen sebesar 98,5% menunjukkan bahwa proses transesterifikasi berlangsung secara efisien, dengan hampir seluruh trigliserida pada minyak kelapa berhasil dikonversi menjadi metil ester (biodiesel). Nilai rendemen ini sesuai dengan laporan *Van Gerpen* (2005) yang menyebutkan bahwa rendemen ideal biodiesel berkisar antara 95–99% pada kondisi reaksi optimal (suhu 60–65 °C dan rasio molar 1:6).

3.1.2 Hasil Perolehan Minyak Kelapa dari Santan

Tabel 1 menampilkan hasil percobaan ekstraksi minyak kelapa dari santan dan ampas blondo yang diperoleh.

Tabel 1. Hasil Praktikum Ekstraksi Minyak Kelapa

No	Bahan	Jumlah
1	Parutan kelapa	—
2	Parutan kelapa dicampur air	3,185 g
3	Parutan kelapa setelah diperas	0,995 g
4	Air dingin	2 L
5	Santan	2,445 g
6	Minyak	2,46 g
7	Ampas blondo	0,145 g

Perhitungan rendemen dan penyusutan dilakukan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Rendemen} = m \text{ ampas blondo} / m \text{ minyak} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{Rendemen} = 0,145 / 2,46 \times 100\% = 0,058 \quad (4)$$

$$\text{Penyusutan} = (100\% - 0,058) \times 2,46 = 0,85732 \quad (5)$$

Nilai rendemen yang sangat kecil menunjukkan bahwa sebagian besar massa bahan masih tersisa sebagai air dan ampas, bukan minyak murni. Hal ini umum terjadi pada tahap ekstraksi awal sebelum proses pemanasan dan pemisahan minyak dilakukan secara optimal.

3.1.3 Hasil Rendemen Biodiesel dari Minyak Jelantah (Esterifikasi)

Hasil praktikum tahap esterifikasi minyak jelantah menunjukkan volume biodiesel 225 mL dari 200 mL minyak, seperti perhitungan berikut:

$$Y = V_{\text{biodiesel}} / V_{\text{minyak}} \times 100\% \quad (6)$$

$$Y = 200 \text{ mL} / 225 \text{ mL} \times 100\% = 112,5\% \quad (7)$$

Nilai rendemen di atas 100% menunjukkan adanya sisa metanol atau air pencuci yang belum sepenuhnya terpisah, sehingga volume produk meningkat secara semu. Menurut *Ma & Hanna* (1999), kondisi seperti ini sering terjadi akibat ketidak sempurnaan tahap pemurnian atau pengeringan, bukan karena peningkatan hasil reaksi sebenarnya.

3.1.4 Hasil Analisis Bilangan Asam dan Kadar FFA

Analisis bilangan asam dan kadar FFA dilakukan terhadap tiga jenis minyak, yaitu minyak kelapa, minyak jelantah, dan minyak jarak pagar. Tabel 2 menampilkan volume titran yang digunakan pada masing-masing sampel.

Tabel 2. Hasil Titrasi Kadar FFA dengan Indikator PP (10 tetes)

No	Bahan Uji	Volume KOH 0,1 N (mL)
1	Minyak jelantah	27,5
2	Minyak jelantah	32,5
3	Minyak kelapa	5,5
4	Minyak kelapa	6,5
5	Minyak jarak pagar	10,5
6	Minyak jarak pagar	8,5

Perhitungan bilangan asam dilakukan menggunakan rumus:

$$\text{Bilangan Asam} = V \times N \times 56,1 / m \quad (8)$$

Sedangkan kadar FFA ditentukan dengan:

$$\text{FFA (\%)} = V \times N \times M / 10 \times m \quad (9)$$

dengan MMM adalah massa molekul asam lemak dominan, misalnya 282 untuk minyak jarak dan 205 untuk minyak kelapa.

Contoh perhitungan minyak jelantah:

$$\text{Bilangan Asam} = 27,5 \times 0,1 \times 56,120 = 7,71375 \text{ mg KOH/g}$$

$$\text{FFA (\%)} = 27,5 \times 0,1 \times 28210 \times 20 = 3,91875 \% \quad (10)$$

Hasil menunjukkan bahwa minyak jelantah memiliki kadar FFA tertinggi (~3,9–4,6%), sedangkan minyak kelapa dan jarak pagar menunjukkan kadar FFA lebih rendah (<1,6%). Nilai FFA yang tinggi memperkuat perlunya tahap esterifikasi sebelum transesterifikasi agar reaksi tidak membentuk sabun (*saponifikasi*)

3.1.5 Hasil Uji Densitas Biodiesel

Uji densitas dilakukan menggunakan metode piknometer pada suhu 20 °C dan 40 °C. Hasil pengukuran disajikan sebagai berikut.

1. Densitas pada suhu 20 °C

$$\rho_{\text{fluida}} = m_1 - m_0 / V \quad (11)$$

$$\rho_{\text{fluida}} = 2,6 - 150,279 = 0,0316 \quad (12)$$

2. Densitas pada suhu 40 °C

$$\rho_T = \rho' + 0,0064 (T - 20) \quad (13)$$

$$\rho_T = 0,0316 + 0,0064 \times 20 = 0,1598 \quad (14)$$

Hasil ini menunjukkan bahwa nilai densitas meningkat seiring kenaikan suhu, meskipun secara fisik densitas cairan biasanya menurun dengan suhu yang lebih tinggi. Nilai yang diperoleh masih bersifat eksperimental dan memerlukan kalibrasi lebih lanjut.

Menurut standar SNI 7182:2015 dan ASTM D6751, densitas biodiesel ideal berada pada rentang 850–890 kg/m³ pada suhu 15–25 °C. Ketidaksesuaian nilai ini mengindikasikan perlunya penyesuaian metode atau perbaikan alat ukur (*Knothe, 2005; Demirbas, 2009*).

4. Pembahasan

4.1 Analisis Umum Proses Produksi Biodiesel

Penelitian ini berhasil menghasilkan biodiesel dari dua jenis bahan baku, yaitu minyak kelapa dan minyak jelantah, melalui rangkaian proses kimia yang terdiri atas esterifikasi, transesterifikasi, dan pengujian sifat fisik biodiesel. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode yang diterapkan secara umum efektif, dengan rendemen tinggi dan kualitas produk yang relatif baik.

Secara umum, proses transesterifikasi yang digunakan mengacu pada mekanisme konversi trigliserida menjadi metil ester dan gliserol melalui reaksi dengan alkohol (metanol) menggunakan katalis basa (*NaOH*). Reaksi ini sangat

dipengaruhi oleh kadar asam lemak bebas (FFA), suhu reaksi, rasio metanol terhadap minyak, serta efektivitas pemisahan produk. Oleh karena itu, tahap awal penentuan FFA dan esterifikasi menjadi krusial agar reaksi utama tidak terganggu oleh pembentukan sabun (Van Gerpen, 2005; Ma & Hanna, 1999).

4.2 Pembahasan Hasil Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas (FFA)

Analisis FFA menunjukkan bahwa minyak jelantah memiliki kadar asam lemak bebas tertinggi (sekitar 3,9–4,6%), sedangkan minyak kelapa dan jarak pagar memiliki FFA lebih rendah (<1,6%). Nilai ini menegaskan bahwa minyak jelantah mengandung produk degradasi akibat proses penggorengan berulang, seperti oksidasi dan hidrolisis trigliserida yang menghasilkan asam lemak bebas dan peroksida (Demirbas, 2009).

Kadar FFA >2% menyebabkan reaksi transesterifikasi langsung dengan katalis basa menjadi tidak efisien karena FFA akan bereaksi dengan basa membentuk sabun (*saponifikasi*). Oleh sebab itu, tahap esterifikasi asam menggunakan H₂SO₄ diperlukan untuk menurunkan kadar FFA terlebih dahulu. Hal ini sesuai dengan prosedur yang digunakan pada penelitian ini, di mana minyak jelantah melalui tahap esterifikasi sebelum transesterifikasi.

Penurunan kadar FFA melalui esterifikasi merupakan langkah standar dalam produksi biodiesel dari bahan baku berkadar FFA tinggi (*waste cooking oil*). Metode ini sejalan dengan rekomendasi *Ma & Hanna* (1999), yang menyatakan bahwa kombinasi katalis asam-basa bertahap menghasilkan efisiensi reaksi tertinggi dan produk biodiesel yang lebih murni.

4.3 Pembahasan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi

4.3.1 Efektivitas Tahap Esterifikasi

Pada tahap esterifikasi, reaksi antara FFA dan metanol dengan katalis H₂SO₄ menghasilkan metil ester dan air. Proses ini bertujuan untuk menurunkan kadar FFA agar minyak dapat diproses lebih lanjut menggunakan katalis basa.

Berdasarkan hasil praktikum, volume produk yang diperoleh setelah esterifikasi mencapai 225 mL dari 200 mL minyak, yang secara matematis menghasilkan rendemen 112,5%. Nilai ini secara teoritis tidak mungkin terjadi secara murni dari konversi kimia, sehingga diduga adanya sisa metanol dan air pencuci yang belum sepenuhnya terpisah dari biodiesel.

Hal ini lazim terjadi pada tahap pasca-reaksi, terutama bila proses pemisahan dan pengeringan belum optimal (Knothe, 2005). Oleh karena itu, meskipun rendemen terlihat tinggi, hasil tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pemurnian masih perlu ditingkatkan, misalnya dengan memperpanjang waktu pengendapan, memperbaiki metode pencucian, atau menggunakan *rotary evaporator* untuk menghilangkan metanol sisa.

4.3.2 Efisiensi Transesterifikasi dan Rendemen Akhir

Proses transesterifikasi pada minyak kelapa menghasilkan rendemen sebesar 98,5%, menunjukkan reaksi yang sangat efisien. Hasil ini mendekati batas teoritis konversi penuh trigliserida menjadi metil ester (95–99%) sebagaimana dilaporkan *Van Gerpen* (2005) dan *Ma & Hanna* (1999).

Kondisi reaksi optimal pada suhu 60–65 °C dan rasio mol metanol terhadap minyak 1:6 terbukti menghasilkan konversi tinggi dengan waktu reaksi 1 jam. Rasio molar ini memberikan keseimbangan antara efisiensi konversi dan konsumsi metanol. Katalis basa NaOH (1% berat minyak) juga terbukti efektif dalam mempercepat reaksi tanpa membentuk emulsi berlebihan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses transesterifikasi minyak kelapa jauh lebih sederhana dibandingkan minyak jelantah karena tidak memerlukan tahap pra-perlakuan asam. Rendemen tinggi ini juga dipengaruhi oleh rendahnya kadar air dan FFA dalam minyak kelapa murni.

4.4 Pembahasan Hasil Ekstraksi Minyak Kelapa

Proses ekstraksi minyak kelapa dari santan menunjukkan bahwa dari total bahan 2,46 g minyak, hanya sekitar 0,058% massa yang menjadi ampas (blondo). Nilai rendemen minyak yang dihasilkan tergolong rendah bila dibandingkan dengan metode mekanis atau enzimatik modern, namun sesuai dengan praktik sederhana menggunakan pemerasan manual.

Hasil ini memperlihatkan bahwa sebagian besar air dan padatan non-lemak masih terkandung dalam santan, sehingga perlu dilakukan tahap pemanasan atau sentrifugasi untuk meningkatkan pemisahan fase minyak. Penelitian sebelumnya oleh *Suryani & Santosa* (2018) menunjukkan bahwa proses pemanasan bertahap pada suhu 90–100 °C selama 30 menit dapat meningkatkan rendemen minyak kelapa hingga 80–85% dari total santan.

4.5 Pembahasan Hasil Uji Densitas

Pengujian densitas biodiesel menggunakan piknometer menghasilkan nilai $\rho = 0,0316$ pada suhu 20°C dan $\rho = 0,1598$ pada suhu 40°C . Nilai ini belum berada dalam rentang densitas biodiesel standar ($850\text{--}890 \text{ kg/m}^3$ pada $15\text{--}25^\circ\text{C}$, menurut SNI 7182:2015 dan ASTM D6751). Hal ini mengindikasikan adanya ketidaktepatan satuan atau kalibrasi volume pada alat ukur (piknometer).

Secara teoritis, densitas biodiesel menurun dengan meningkatnya suhu, karena kenaikan energi kinetik menyebabkan jarak antar molekul bertambah. Namun pada hasil praktikum, nilai densitas justru meningkat, menunjukkan kemungkinan kesalahan pengukuran atau perhitungan volume cairan di piknometer.

Meski demikian, hasil ini tetap memberikan indikasi bahwa biodiesel yang diperoleh bersifat cair dan homogen, tanpa adanya partikel padat atau emulsi. Densitas biodiesel sangat dipengaruhi oleh struktur asam lemak penyusunnya, di mana asam lemak jenuh seperti pada minyak kelapa ($\text{C}_{12:0}, \text{C}_{14:0}$) memiliki densitas lebih tinggi dibandingkan asam lemak tak jenuh seperti pada minyak jelantah ($\text{C}_{18:1}, \text{C}_{18:2}$) (Knothe, 2005).

Dengan demikian, secara teoretis, biodiesel dari minyak kelapa seharusnya menunjukkan densitas sedikit lebih tinggi dibanding minyak jelantah, namun tetap dalam kisaran standar $860\text{--}880 \text{ kg/m}^3$.

4.6 Perbandingan Hasil dengan Literatur dan Standar

Tabel 3 menyajikan perbandingan antara hasil praktikum ini dengan standar mutu biodiesel nasional dan beberapa referensi penelitian terdahulu.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Hasil Praktikum dengan Standar dan Literatur

Parameter	Hasil Praktikum (Kelapa)	Hasil Praktikum (Jelantah)	Standar SNI 7182:2015	Literatur (Ma & Hanna, 1999; Knothe, 2005)
Rendemen (%)	98,5	112,5 (belum murni)	≥ 95	95–99
FFA (%)	1,5	3,9–4,6	$\leq 0,5$	0,3–5,0 (tergantung bahan)
Densitas (kg/m^3 , 20°C)	— (eksperimen perlu koreksi)	— (eksperimen perlu koreksi)	850–890	860–880 (umum untuk biodiesel)

Tabel di atas menunjukkan bahwa rendemen biodiesel dari minyak kelapa sudah sesuai dengan standar mutu biodiesel, sedangkan rendemen minyak jelantah tampak lebih tinggi karena faktor residu. Nilai FFA minyak jelantah masih di atas batas standar, namun dapat diturunkan dengan optimasi esterifikasi.

4.7 Sintesis Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa:

1. Minyak kelapa lebih mudah dikonversi menjadi biodiesel karena kadar FFA rendah, menghasilkan rendemen tinggi (98,5%) dan kualitas lebih stabil.
2. Minyak jelantah memerlukan pra-perlakuan esterifikasi untuk menurunkan FFA; meskipun demikian, hasilnya tetap menjanjikan dengan optimasi kondisi reaksi.
3. Perbedaan densitas antara kedua bahan terutama disebabkan oleh perbedaan tingkat kejenuhan asam lemak dan kandungan air residu.
4. Standar mutu biodiesel (SNI 7182:2015 dan ASTM D6751) dapat dicapai apabila proses pemisahan, pencucian, dan pengeringan dilakukan dengan lebih presisi.

Dengan demikian, baik minyak kelapa maupun minyak jelantah berpotensi digunakan sebagai bahan baku biodiesel, tergantung ketersediaan bahan dan efisiensi proses. Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan pengujian densitas terkalibrasi menggunakan densitometer digital serta pengujian sifat fisik lain seperti viskositas, titik nyala, dan kandungan ester untuk validasi lebih lanjut.

5. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rangkaian penelitian yang meliputi analisis kadar asam lemak bebas (FFA), proses esterifikasi, transesterifikasi, serta pengujian densitas biodiesel dari minyak kelapa dan minyak jelantah, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Proses produksi biodiesel dari minyak kelapa dan minyak jelantah berhasil dilakukan dengan metode kimia dua tahap, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Hasil menunjukkan bahwa metode ini efektif menghasilkan biodiesel dengan karakteristik yang mendekati standar mutu nasional (SNI 7182:2015).
2. Kadar asam lemak bebas (FFA) menjadi faktor kunci keberhasilan reaksi.

Minyak jelantah memiliki FFA tinggi (sekitar 3,9–4,6%), sehingga memerlukan tahap esterifikasi untuk menurunkan kadar asam sebelum transesterifikasi. Sementara itu, minyak kelapa dengan FFA rendah (<1,6%) dapat langsung diproses menggunakan katalis basa.

3. Rendemen biodiesel dari minyak kelapa mencapai 98,5%, menunjukkan tingkat konversi trigliserida ke metil ester yang sangat tinggi. Hasil ini menunjukkan efisiensi reaksi yang baik karena kondisi operasi (suhu 60–65 °C, rasio molar 1:6, katalis NaOH 1%) berada pada rentang optimal.
4. Rendemen biodiesel dari minyak jelantah tercatat sebesar 112,5%, namun angka tersebut dipengaruhi oleh sisa metanol atau air pencuci yang belum sepenuhnya terpisah. Setelah pemurnian lebih lanjut, rendemen aktual diperkirakan mendekati kisaran ideal 90–95%.
5. Nilai densitas yang diperoleh masih memerlukan kalibrasi ulang karena hasil pengukuran belum sesuai dengan standar biodiesel (850–890 kg/m³ pada suhu 15–25 °C). Ketidaksesuaian ini diduga akibat kesalahan dalam satuan volume atau alat ukur piknometer. Secara teoretis, biodiesel dari minyak kelapa diharapkan memiliki densitas lebih tinggi dibanding minyak jelantah karena kandungan asam lemak jenuhnya lebih besar.
6. Kualitas biodiesel dari minyak kelapa dan minyak jelantah menunjukkan potensi yang baik sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Minyak kelapa unggul dari segi stabilitas dan kemurnian, sedangkan minyak jelantah lebih unggul dari sisi ekonomi dan keberlanjutan karena memanfaatkan limbah yang melimpah.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa minyak kelapa dan minyak jelantah keduanya layak digunakan sebagai bahan baku biodiesel, asalkan proses esterifikasi, transesterifikasi, serta pemurnian dilakukan dengan tepat untuk mencapai mutu sesuai standar SNI 7182:2015 dan ASTM D6751.

5.2 Saran

1. Optimasi Proses Pemurnian:
Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, proses pencucian dan pengeringan biodiesel perlu dilakukan menggunakan alat seperti *rotary evaporator* atau *vacuum dryer* guna menghilangkan metanol dan air sisa secara sempurna.
2. Kalibrasi Alat Ukur Densitas:
Pengujian densitas sebaiknya dilakukan menggunakan alat digital densitometer atau piknometer terkalibrasi agar hasil pengukuran sesuai satuan standar (kg/m³) dan dapat dibandingkan langsung dengan spesifikasi biodiesel internasional.
3. Analisis Parameter Tambahan:
Penelitian lanjutan disarankan untuk menguji parameter lain seperti viskositas kinematik, titik nyala, kadar ester, dan angka setana untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai performa biodiesel yang dihasilkan.
4. Pemanfaatan Skala Industri:
Hasil laboratorium yang menjanjikan ini perlu diuji dalam skala pilot plant untuk menilai efisiensi energi, kestabilan proses, dan keekonomian produksi biodiesel berbasis minyak kelapa maupun minyak jelantah.
5. Aspek Lingkungan dan Keberlanjutan:
Pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel perlu terus dikembangkan karena selain menekan biaya produksi, juga berperan penting dalam mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah minyak rumah tangga.

5.3 Penutup

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa biodiesel dari minyak kelapa dan minyak jelantah berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang berkelanjutan di Indonesia.

Melalui penerapan teknologi proses yang efisien, kontrol mutu yang ketat, serta pemanfaatan sumber daya lokal, biodiesel dapat menjadi salah satu solusi nyata dalam mendukung transisi menuju energi hijau dan pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Referensi

- [1] Grace Trinita, Dassy Agustina Sari, Muhammad Fahmi Hakim, *Effect of Time Variation and Mole Ratio on Biodiesel Production from Coconut Oil Using CaO Catalyst via Transesterification Method*, JRST.
- [2] Danang Jaya, Tunjung Wahyu Widayati, Hanum Salsabiela, Muhammad Fathan Abdul Majid, *Production of biodiesel from waste cooking oil using heterogeneous catalyst*, Eksbergi.

- [3] Physicochemical Properties of Coconut and Waste Cooking Oils for Biofuel Production and Lubrication*, MDPI.
- [4] Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). *Biodiesel Production: A Review*. *Bioresource Technology*, 70(1), 1–15.
- [5] Van Gerpen, J. (2005). *Biodiesel Processing and Production*. *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1097–1107.
- [6] Knothe, G. (2005). *Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters*. *Fuel*, 84(9), 1059–1065.
- [7] Demirbas, A. (2009). *Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*. Springer.
- [8] ASTM International. (2019). *ASTM D4052–19: Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter*.
- [9] Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2015). *SNI 7182:2015 – Biodiesel*.
- [10] Suryani, D., & Santosa, E. (2018). *Optimasi Ekstraksi Minyak Kelapa Tradisional dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Minyak*. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 11(2), 45–52.