



Pengaruh Variasi Waktu Transesterifikasi dan Konsentrasi Katalis Terhadap Karakteristik Sifat Fisik Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah

Cicih Rosidah¹, Alfietta Rohmaful Aeni^{1*}, Ghina Nurul Fadhillah¹, Fitri Yuliasari¹, dan Vera Pangni Fahriani¹

Sitasi: Rosidah, Cicih.; Aeni, Alfietta Rohmaful; Fadhillah, Ghina Nurul; Yuliasari, Fitri; Fahriani, Vera Pangni. Fahriani. (2025) Pengaruh Variasi Waktu Transesterifikasi dan Konsentrasi Katalis Terhadap Karakteristik Sifat Fisik Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah. J-TETA: Jurnal Teknik Terapan, V(4) N(2), hlm. 87-94



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 Program Studi Teknik Kimia, Universitas Singaperbangsa Karawang

* Korespondensi: alfietta.rohmaful@ft.unsika.ac.id

Abstract: As a promising alternative fuel, biodiesel is expected to grow in the future, aligning As part of global initiatives to lessen dependence on fossil fuels. This study focuses on using used cooking oil from frying chicken As a feedstock for biodiesel production through transesterification. The aim is to explore the effects of varying transesterification times and catalyst concentrations on the physical properties of the biodiesel produced, including density, viscosity, and yield. The method involves testing at different time intervals of 30, 40, and 50 minutes, with catalyst concentrations of 1%, 1.5%, and 2% to determine optimal conditions. Additionally, Fourier Transform Infrared (FTIR) tests were conducted to identify functional groups in the compounds. Results indicate that the highest biodiesel yield was achieved after 30 minutes of transesterification with a 1% catalyst concentration. The best viscosity was noted at 40 minutes with a 2% catalyst, while the optimal density was recorded at 30 minutes with a 2% catalyst.

Keywords: Biodiesel, Catalyst, Transesterification, Used Cooking Oil.

Abstrak: Sebagai bahan bakar alternatif yang menjanjikan, biodiesel diharapkan akan tumbuh di masa depan, sejalan dengan inisiatif global untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Penelitian ini berfokus pada penggunaan minyak goreng bekas dari menggoreng ayam sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel melalui proses transesterifikasi. Tujuannya adalah untuk mengeksplorasi efek variasi waktu transesterifikasi dan konsentrasi katalis terhadap sifat fisik biodiesel yang dihasilkan, termasuk densitas, viskositas, dan hasil. Metode ini melibatkan pengujian pada interval waktu yang berbeda yaitu 30, 40, dan 50 menit, dengan konsentrasi katalis sebesar 1%, 1,5%, dan 2% untuk menentukan kondisi optimal. Selain itu, pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam senyawa. Hasil menunjukkan bahwa hasil biodiesel tertinggi dicapai setelah 30 menit transesterifikasi dengan konsentrasi katalis 1%. Viskositas terbaik tercatat pada 40 menit dengan katalis 2%, sementara densitas optimal tercatat pada 30 menit dengan katalis 2%.

Kata kunci: Biodiesel, Katalis, Transesterifikasi, Minyak Jelantah.

1. Pendahuluan

Menurut data ESDM 2021, cadangan minyak bumi Indonesia hanya tersisa 2,25 miliar barel terbukti dan 1,7 miliar potensial, jauh menurun dibanding 2011. Sementara itu, pertumbuhan penduduk dan kendaraan terus meningkatkan konsumsi BBM sehingga mengancam ketersediaan energi. Untuk mengatasinya, dibutuhkan bahan bakar alternatif. Biodiesel menjadi salah satu solusi karena bersumber dari biomassa terbarukan, mudah terurai, tidak beracun, serta memiliki sifat fisik mirip solar sehingga dapat langsung digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi. [1] Bahan baku biodiesel dapat berasal dari minyak sawit, bunga matahari, maupun minyak jelantah. Minyak jelantah yang tidak layak konsumsi berpotensi mencemari lingkungan, namun dapat dimanfaatkan kembali, misalnya untuk sabun, campuran aspal, atau biodiesel.[2][3] Biodiesel biasanya dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi yang

menghubungkan minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol berantai pendek. Dalam proses ini, trigliserida (yang terdiri dari asam lemak bebas) bereaksi dengan alkohol dengan bantuan katalis, menghasilkan alkil ester sebagai produk utamanya. [4] Transesterifikasi dapat berlangsung dengan adanya katalis asam maupun basa [5] Katalis transesterifikasi terdiri dari homogen dan heterogen. Natrium hidroksida (NaOH) adalah katalis umum untuk biodiesel karena murah dan efektif. Waktu transesterifikasi memengaruhi hasil jika terlalu lama, reaksi bisa jenuh. Menurut penelitian [6] mendapatkan hasil bahwa waktu reaksi optimal 120 menit menghasilkan biodiesel 94,42% sedangkan pada saat waktu reaksi melewati batas optimal pada waktu reaksi 150 menit menghasilkan yield biodiesel sebesar 83%. Pada penelitian [7] menyarankan bahwa variasi waktu reaksi ditetapkan yaitu 90 menit untuk mengurangi resiko terjadinya reaksi berbalik arah. Penelitian [8] menunjukkan hasil bahwa waktu reaksi 120 menit menghasilkan densitas dan viskositas yang sesuai dengan standar. Proses transesterifikasi juga dipengaruhi oleh konsentrasi katalis. Berdasarkan penelitian [9] bahwa konsentrasi katalis berpengaruh terhadap viskositas dimana pada saat konsentrasi katalis di bawah 9% menunjukkan hasil dengan viskositas yang masih di atas batas maksimal sedangkan konsentrasi katalis di atas 9% nilai viskositas sudah sesuai dengan batas aman standar. Pada penelitian [10] menunjukkan hasil bahwa yield tertinggi didapatkan pada konsentrasi katalis sebesar 3% dengan hasil yield sebesar 86,6%. Dari beberapa penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa belum dipastikan mengenai parameter optimal yang dapat digunakan untuk produksi biodiesel. Menurut literatur [10] Viskositas dan yield adalah parameter penting biodiesel; menurut SNI, viskositas harus berada pada 2,3–6,0 mm²/s agar tidak merusak kinerja mesin. Penelitian [6] Densitas berkaitan erat dengan viskositas; semakin tinggi densitas maka viskositas juga meningkat. Karena itu, parameter densitas, viskositas, dan yield harus diperhatikan untuk memperoleh biodiesel berkualitas. Penelitian ini mengkaji sifat fisik biodiesel dari minyak jelantah guna memastikan kesesuaian standar, efisiensi pembakaran, serta mendukung transisi energi berkelanjutan.

2. Bahan dan Metode

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi minyak jelantah dari penggorengan *fried chicken*, metanol, NaOH, dan aquades. Alat yang digunakan mencakup sarung tangan, *hot plate stirrer*, termometer, kertas saring, piknometer, viskometer Ostwald, pipet tetes, dan timbangan analitik. Proses penelitian dapat dilihat lebih rinci pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

2.1 Persiapan Bahan Baku

Penelitian ini menggunakan minyak jelantah dari penggorengan *fried chicken* sebagai bahan baku. Proses awal melibatkan penyaringan minyak jelantah dengan kertas saring untuk memisahkan minyak dari kotoran yang tertinggal. Proses penyaringan bahan baku ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Proses Penyaringan Minyak Jelantah

2.2 Proses Pembuatan Katalis

Pembuatan katalis Natrium Metoksida dimulai dengan mencampurkan methanol dan minyak jelantah dalam perbandingan 12:1. Setelah itu, NaOH ditambahkan dalam variasi 1%, 1,5%, dan 2% dari volume minyak jelantah ke setiap campuran methanol. Selanjutnya, campuran dihomogenkan hingga membentuk natrium metoksida.

2.3 Proses Transesterifikasi

Selama proses transesterifikasi, minyak jelantah dipanaskan hingga suhu 50°C. Proses transesterifikasi menggunakan natrium metoksida dan diaduk dengan magnetic stirrer selama 30, 40, atau 50 menit sesuai variasi waktu. Lihat gambar 3 untuk detailnya.



Gambar 3. Proses Transesterifikasi

2.4 Proses Pemisahan

Proses pemisahan dilakukan dengan menuangkan campuran minyak jelantah dengan natrium metoksida ke dalam corong pisah dan didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk dua lapisan, Metil ester dan gliserol dipisahkan ke dalam gelas kimia. Proses pemisahan menggunakan corong pisah dapat dilihat pada gambar 4. Proses pemisahan gliserol dan metil ester.



Gambar 4. Proses Pemisahan Gliserol dan Metil Ester

2.5 Proses Pencucian

Proses pencucian dimulai dengan menuangkan metil ester ke dalam botol aqua 1 liter, lalu menambahkan aquades hangat dengan perbandingan 1:1 terhadap volume lapisan atas. Larutan didiamkan selama 10 menit hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas dipisahkan sebagai metil ester, yang kemudian dipanaskan.

2.6 Pengujian Sampel dan Analisa Data

2.6.1 Analisa Yield Biodiesel

Yield adalah perbandingan antartara biodiesel yang dihasilkan dan mintak jelantah yang digunakan dihitung dengan rumus berikut ini

$$\text{yield: } \frac{mb}{mm} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan

mb : massa biodiesel (gram)

mm : massa minyak jelantah (gram)

2.6.2 Analisa Viskositas Biodiesel

Pengujian viskositas dilakukan dengan viscometer Ostwald. Pertama, pastikan alat bersih, kemudian siapkan sampel biodiesel. Masukkan sampel ke viskometer dengan pipet hingga garis batas, pastikan tidak ada gelembung. Hisap cairan hingga garis batas dan biarkan mengalir secara gravitasi. Gunakan stopwatch untuk mengukur waktu aliran biodiesel. Viskositas dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini

$$V_k : \frac{\eta_{\text{sampel}}}{\rho_{\text{sampel}}} \quad (2)$$

Keterangan

Vk : Viskositas Kinematik

η_{sampel} : Koefisien Viskositas

ρ_{sampel} : Densitas Sampel

$$\eta_{\text{sampel}} : \frac{t_{\text{sampel}} \times \rho_{\text{sampel}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \quad (2)$$

Keterangan

t(sampel) : waktu sampel mengalir (s)

ρ (sampel) : densitas sampel (g/cm³)

t(air) : waktu air mengalir (s)

ρ (air) : densitas air (g/cm

2.6.3 Analisa Densitas

Pengujian densitas menggunakan piknometer dilakukan dengan membersihkan alat, mengeringkan, dan menimbang (W1). Setelah itu, masukkan sampel dan timbang lagi (W2). Densitas biodiesel dihitung dengan rumus berikut.

$$\rho : \frac{(W2 - W1)}{Vp}$$

Keterangan

(3)

W2: Berat pikno kosong + sampel (gram)

W1: Berat Pikno Kosong (gram)

Vp : Volume pikno (mL)

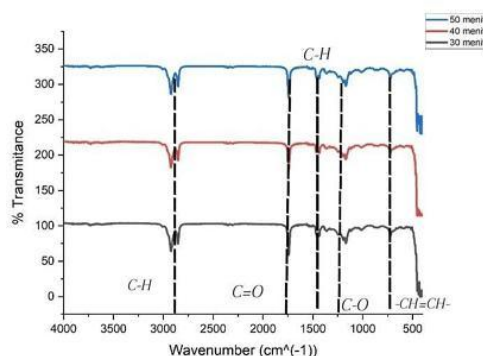
2.6.4 Analisa FTIR

FTIR digunakan untuk mengidentifikasi senyawa melalui pola serapan inframerah, sehingga memberikan informasi gugus fungsi dan struktur kimia sampel.

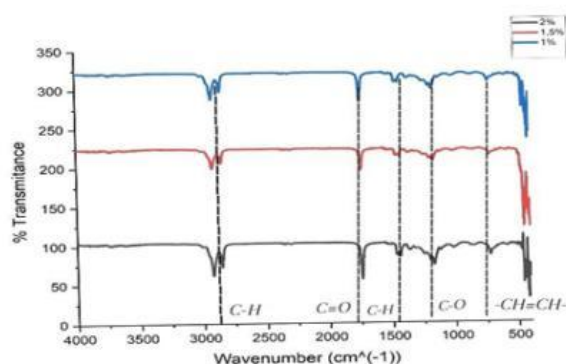
3. Hasil

3.1 Hasil Karakterisasi FTIR biodiel.

TIR digunakan untuk menganalisis gugus fungsi biodiesel dari minyak jelantah pada rentang 400–4000 cm⁻¹. Hasilnya berupa spektrum serapan yang menunjukkan puncak karakteristik metil ester, ditampilkan pada Gambar 5 dan 6.



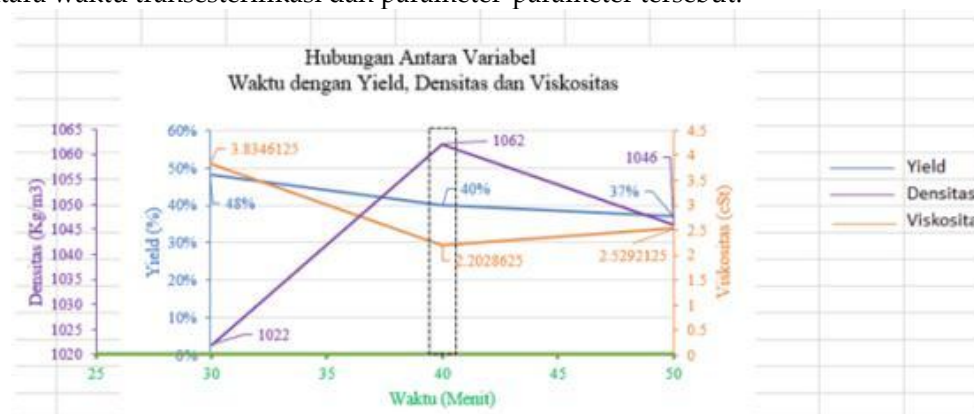
Gambar 5. Pengaruh Waktu Transesterifikasi terhadap Hasil FTIR



Gambar 6. Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap FTIR

3.2 Pengaruh Waktu Transesterifikasi terhadap Yield, Viskositas, dan Densitas.

Pada penelitian kali ini menganalisis pengaruh waktu transesterifikasi terhadap yield, viskositas, dan densitas produk biodiesel. Grafik hasil penelitian ini disajikan pada Gambar 6. yang menggambarkan hubungan signifikan antara waktu transesterifikasi dan parameter-parameter tersebut.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Waktu Transesterifikasi terhadap yield, viskositas, dan densitas.

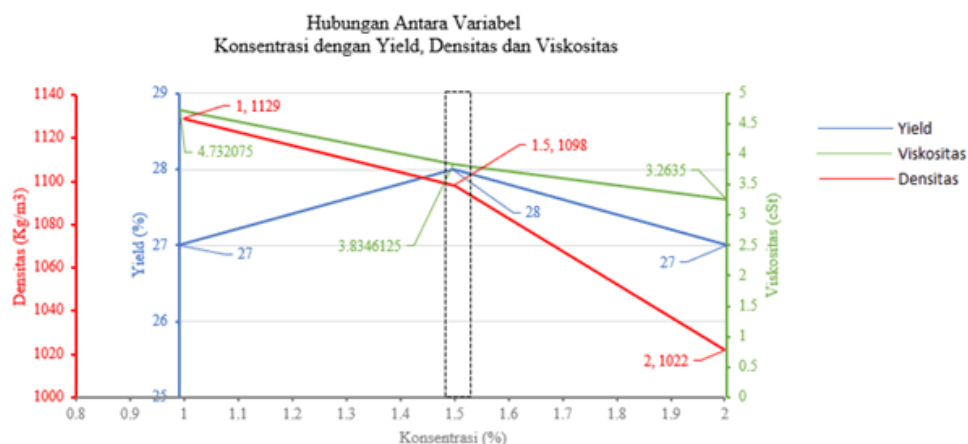
Lalu Tabel 1 menampilkan perbandingan pengaruh konsentrasi katalis terhadap viskositas, yield, dan densitas berdasarkan SNI 04-7182-2015.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengujian dengan SNI 04-7182-2015

Parameter	Waktu Transesterifikasi	Hasil Perhitungan	SNI
Viskositas (cSt)	30 menit	3,8	2,3-6,0
	40 menit	2,2	2,3-6,0
	50 menit	2,5	2,3-6,0
Yield (%)	30 menit	48%	Min. 96,5%
	40 menit	40%	Min. 96,5%
	50 menit	37%	Min. 96,5%
Densitas (kg/m ³)	30 menit	1022	850-890
	40 menit	1062	850-890
	50 menit	1046	850-890

3.3 Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Yield, Viskositas, dan Densitas.

Selain menganalisis pengaruh waktu transesterifikasi, penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh konsentrasi katalis terhadap yield, viskositas, dan densitas biodiesel. Hasilnya disajikan dalam grafik pada Gambar 7, yang menunjukkan hubungan signifikan antara konsentrasi katalis dan parameter-parameter tersebut.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Konsentrasi Ktalis terhadap Yield,Viskositas,dan Densitas.

Lalu Tabel 2 menampilkan perbandingan pengaruh konsentrasi katalis terhadap viskositas, yield, dan densitas berdasarkan SNI 04-7182-2015.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Perhitungan

Parameter	Waktu Transesterifikasi	Hasil Perhitungan	SNI
Viskositas (cSt)	1%	4,7	2,3-6,0
	1,5%	3,8	2,3-6,0
	2%	3,2	2,3-6,0
Yield (%)	1%	27%	Min. 96,5%
	1,5%	28%	Min. 96,5%
	2%	27%	Min. 96,5%
Densitas (kg/m ³)	1%	1129	850-890
	1,5%	1098	850-890
	2%	1022	850-890

4. Pembahasan

Dalam penelitian ini, pengaruh waktu transesterifikasi dan konsentrasi katalis terhadap karakteristik fisik Biodiesel yang diperoleh dari minyak jelantah dianalisis secara komprehensif. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa waktu transesterifikasi 30 menit menghasilkan yield tertinggi sebesar 48%, sedangkan waktu 40 menit dan 50 menit masing-masing memberikan yield 40% dan 37%. Penurunan yield seiring dengan peningkatan waktu reaksi dapat dijelaskan oleh sifat reaksi transesterifikasi yang bersifat reversibel, di mana waktu reaksi yang terlalu lama dapat menyebabkan reaksi balik, mengkonversi metil ester kembali menjadi trigliserida, sesuai dengan penelitian oleh [6]. Selain itu, analisis densitas menunjukkan bahwa densitas biodiesel meningkat hingga 1062 kg/m³ pada menit ke-40, lalu menurun menjadi 1046 kg/m³ di menit ke-50. Peningkatan awal terjadi karena trigliserida dan gliserol masih bercampur, sedangkan penurunan setelahnya menunjukkan reaksi transesterifikasi mulai optimal, menghasilkan metil ester dan memisahkan gliserol. Hal ini sesuai dengan [11] yang melaporkan densitas biodiesel mendekati standar setelah reaksi berlangsung sempurna. Viskositas biodiesel menunjukkan tren menurun dengan peningkatan waktu reaksi, dengan nilai tertinggi pada 30 menit (3,8 cSt) dan nilai terendah pada 40 menit (2,2 cSt) dan 50 menit (2,5 cSt). Hal ini menunjukkan bahwa waktu reaksi yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi produk akhir akibat kondisi reaksi yang tidak optimal, yang juga dibahas oleh [8].

Di sisi lain, pengaruh konsentrasi katalis terhadap yield, viskositas, dan densitas biodiesel juga sangat signifikan. Pada konsentrasi katalis 1%, yield biodiesel mencapai 27%, meningkat menjadi 28% pada konsentrasi 1,5%, namun kembali menurun menjadi 27% pada konsentrasi 2%, yang sejalan dengan temuan [12]. Penurunan yield pada konsentrasi yang lebih tinggi dapat diatribusikan pada pembentukan sabun, yang menghambat konversi trigliserida menjadi metil ester dan mengurangi efisiensi reaksi, seperti dijelaskan oleh [10]. Berdasarkan grafik, peningkatan

koncentrasi menyebabkan penurunan viskositas dari 4,73 cSt menjadi 2,53 cSt, serta penurunan densitas dari 1129 kg/m³ menjadi 1022 kg/m³. Penurunan ini mengindikasikan bahwa reaksi transesterifikasi berlangsung lebih sempurna, menghasilkan biodiesel yang lebih murni dengan kandungan ester yang tinggi dan minim senyawa berat seperti trigliserida dan gliserol. Tren ini sesuai dengan temuan[11] yang melaporkan densitas biodiesel sebesar 875,7 kg/m³ dan viskositas 4,027 cSt setelah reaksi optimum tercapai, serta hasil studi oleh[13], yang menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi reaksi berdampak langsung pada penurunan viskositas dan densitas biodiesel.

Hasil FTIR biodiesel dari minyak jelantah menunjukkan puncak khas pada 1740–1750 cm⁻¹ (C=O ester) yang menjadi indikator utama terbentuknya metil ester (FAME). Puncak lain terdeteksi pada 2922 dan 2853 cm⁻¹ (C–H stretching), 1465 cm⁻¹ (C–H bending), serta 1170–1196 cm⁻¹ (C–O ester), yang semuanya mendukung keberadaan struktur ester. Pita lemah pada 500–1000 cm⁻¹ menunjukkan ikatan rangkap asam lemak tak jenuh. Intensitas puncak ester meningkat pada kondisi reaksi optimal, namun cenderung menurun pada waktu reaksi terlalu lama atau konsentrasi katalis berlebih akibat reaksi balik maupun saponifikasi. Profil ini menegaskan keberhasilan transesterifikasi dan konsisten dengan karakteristik FTIR biodiesel yang dilaporkan pada berbagai literatur. Perbandingan detail antara puncak serapan pada penelitian ini dengan referensi terdahulu dapat dilihat pada Tabel 3, yang menunjukkan kesesuaian posisi dan penugasan puncak utama biodiesel.

Tabel 3. Perbandingan detail antara puncak serapan pada penelitian ini dengan referensi terdahulu

Puncak (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Hasil Penelitian	Referensi Literatur
1740-1750	C=O stretching (ester)	Puncak kuat, menandakan pembentukan metil ester	1743 cm ⁻¹ (ester pada biodiesel dari minyak nabati)[14]
2922 & 2853	C–H stretching (–CH ₂ /–CH ₃)	Puncak medium-kuat, menunjukkan rantai alkil FAME	2922 & 2854 cm ⁻¹ dilaporkan pada biodiesel dari minyak biji bunga matahari[15]
1465	C–H bending	Puncak medium, khas gugus metilen	1462–1465 cm ⁻¹ muncul pada hampir semua biodiesel[12]
1170-1196	C–O stretching (ester)	Puncak kuat, mendukung adanya ikatan ester	1170–1195 cm ⁻¹ sebagai karakteristik FAME [16]
500-1000	–CH=CH– bending (alkena)	Puncak lemah, indikasi tak jenuh dari asam lemak	720–990 cm ⁻¹ dilaporkan untuk ikatan rangkap pada minyak nabati [8]

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah disajikan dalam bentuk grafik dan tabel dapat disimpulkan bahwa waktu dan konsentrasi katalis berpengaruh pada sifat fisik biodiesel. Yield tertinggi diperoleh pada waktu reaksi 30 menit, yang juga menghasilkan densitas terbaik. Viskositas terbaik dicapai pada 40 menit. Selain itu, variasi waktu dan konsentrasi katalis mempengaruhi puncak FTIR biodiesel. Waktu 30 menit dengan konsentrasi katalis 1,5% optimal namun perlu pre-treatment untuk hasil yang lebih optimal.

Ucapan Terima Kasih: Ucapan terima kasih yang tulus disampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan dan penelitian ini. Tanpa dukungan, saran, dan bantuan dari kalian, penelitian ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik. Semoga kerjasama ini dapat terus berlanjut di masa mendatang.

Referensi

- [1] Z. Arifin, B. Rudyanto, and Y. Susmiati, "Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Heterogen Cangkang Bekicot (*Achatina Fulica*) Dengan Metode Pencucian Dry Washing," *J. ROTOR*, vol. 9, no. 2, pp. 100–104, 2016.
- [2] A. A. Budiman and S. Samik, "Review Artikel : Produksi Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan Katalis," *Unesa J. Chem.*, vol. 12, no. 2, pp. 36–48, 2023, doi: 10.26740/ujc.v12n2.p36-48.

- [3] A. A. Budiman and S. Samik, "Review Artikel : Produksi Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan Katalis," *UNESA J. Chem.*, vol. 12, no. 2, pp. 36–38, 2023.
- [4] W. Trisunaryanti and C. Anwar, "Pembuatan Biodiesel sebagai Bahan Bakar Alternatif : Transesterifikasi Minyak Kelapa dengan Metanol Menggunakan Katalis NaOH," *Lembaran Publ. Miny. dan gas bumi*, vol. 38, no. 3, pp. 40–49, 2022, doi: 10.29017/lpmgb.38.3.762.
- [5] E. Prastyo, D. F. S, and P. A. Ibrahim, "Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Yield dan Kandungan Metil Ester Sintesis Biodiesel Ampas Tahu Metode Elektrokatalitik," *J. Tekno Insentif*, vol. 15, no. 1, pp. 54–64, 2021, doi: 10.36787/jti.v15i1.408.
- [6] P. Rasio Metanol Dan Koh Pada Proses Pembuatan Biodiesel Dengan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Perak, "Zainal Arifin 2) , Fitriyana 3) , Celine Olivia 4) , Muhamad Nopal 5) 1),2),3) 4) Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda Jl," pp. 268–272, 2019.
- [7] W. Wahyudin, A. H. Tambunan, N. Purwanti, J. Joelianingsih, and H. Nabetani, "Tinjauan Perkembangan Proses Katalitik Heterogen dan Non-Katalitik untuk Produksi Biodiesel," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 6, no. 2, pp. 123–130, 2018, doi: 10.19028/jtep.06.2.123-130.
- [8] B. Wahyudi, N. W. Triana, and E. Mulyadi, "Biodisel Dari Minyak Ikan," *J. Tek. Kim.*, vol. 11, no. 66, 2016.
- [9] O. Bani, David, and T. Febianto, "Pengujian Kualitas Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Heterogen Abu Daun Kucai (*Allium schoenoprasum*): Parameter Berat Katalis, Rasio Mol Minyak Terhadap Metanol dan Waktu Reaksi," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 11, no. 2, pp. 80–88, 2022, doi: 10.32734/jtk.v11i2.8924.
- [10] B. Basumatary *et al.*, "Catalytic Efficacy, Kinetic, and Thermodynamic Studies of Biodiesel Synthesis Using Musa AAA Plant Waste-Based Renewable Catalyst," *Int. J. Energy Res.*, vol. 2024, 2024, doi: 10.1155/2024/8837343.
- [11] J. K. Efavi *et al.*, "The effect of NaOH catalyst concentration and extraction time on the yield and properties of Citrullus vulgaris seed oil as a potential biodiesel feed stock," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 25, pp. 98–102, 2018, doi: 10.1016/j.sajce.2018.03.002.
- [12] T. Asif *et al.*, "Microwave-assisted transesterification of Litchi chinensis seed oil using extracted KOH from potato waste for sustainable development," *Front. Energy Res.*, vol. 11, no. January, pp. 1–15, 2023, doi: 10.3389/fenrg.2023.1339601.
- [13] M. Nagy, M. Foston, and A. J. Ragauskas, "Rapid quantitative analytical tool for characterizing the preparation of biodiesel," *J. Phys. Chem. A*, vol. 114, no. 11, pp. 3883–3887, 2010, doi: 10.1021/jp906543g.
- [14] M. R. Aulia, A. Azhari, M. Meriatna, Z. Ginting, and N. Sylvia, "PENGARUH SUHU DAN WAKTU REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK BIJI BUNGA MATAHARI TERHADAP METIL ESTER DENGAN KATALIS NaOH," *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 2, no. 5, p. 91, 2023, doi: 10.29103/cejs.v2i5.8035.
- [15] R. V. Quah, Y. H. Tan, N. M. Mubarak, M. Khalid, E. C. Abdullah, and C. Nolasco-Hipolito, "An overview of biodiesel production using recyclable biomass and non-biomass derived magnetic catalysts," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 4, p. 103219, 2019, doi: 10.1016/j.jece.2019.103219.