

OPTIMALISASI PROSES TRANSESTERIFIKASI DALAM PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN KATALIS KALSIMUM OKSIDA

Ronan Fadly Qoshiro¹

DIV Teknik Energi, Fakultas Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang
Correspondensi author email: qoshiro.fadly@gmail.com

Yohandri Bow²

DIV Teknik Energi, Fakultas Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang
Email: yohandriBow@polsri.ac.id

Rima Daniar³

DIV Teknik Energi, Fakultas Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang
Email: rimadaniar@polsri.ac.id

Abstract

Used cooking oil is household waste that is often disposed of directly into the environment, thus potentially polluting water and soil. On the other hand, used cooking oil contains triglycerides which can still be used as raw material for biodiesel through the transesterification process. The global energy crisis and increasing awareness of the environmental impact of fossil fuels have driven the development of biodiesel as an environmentally friendly and renewable alternative energy source. This study aims to optimize the process parameters for making biodiesel based on used cooking oil using calcium oxide (CaO) catalyst with a concentration of 0.5 N. The research variations included reaction times of 40, 60, and 80 minutes and stirring speeds of 200, 300, and 400 rpm at a reaction temperature of 50 °C and a molar ratio of methanol to oil of 6:1. The results showed that reaction time and stirring speed significantly influenced the yield percentage and quality of biodiesel. The optimum conditions were obtained at a reaction time of 40 minutes and a stirring speed of 400 rpm, with a yield of 82.61%. The resulting biodiesel has physical characteristics according to SNI 7182:2015 standards, including a density of 870–889 kg/m³, a viscosity of 0.30–0.41 cP, a flash point above 139 °C, and a cetane number of up to 51.1. This indicates that the use of CaO catalyst is effective in improving the performance of the transesterification reaction and producing good-quality biodiesel. Furthermore, operational parameters such as reaction time and stirring speed have been shown to play a critical role in determining conversion efficiency and biodiesel quality. Overall, this research confirms the potential of used cooking oil as an economical renewable energy source and an environmental solution for waste management. The process also has the potential to be further developed for larger-scale production and community applications.

Keywords: Biodiesel, Transesterification, Used Cooking Oil, CaO, Yield.

Abstrak

Minyak jelantah merupakan limbah rumah tangga yang sering dibuang langsung ke lingkungan sehingga berpotensi mencemari air dan tanah. Di sisi lain, minyak jelantah mengandung trigliserida yang masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel melalui proses transesterifikasi. Krisis energi global dan meningkatnya kesadaran akan

dampak lingkungan dari bahan bakar fosil telah mendorong pengembangan biodiesel sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter proses pembuatan biodiesel berbasis minyak jelantah menggunakan katalis kalsium oksida (CaO) dengan konsentrasi 0,5 N. Variasi penelitian meliputi waktu reaksi 40, 60, dan 80 menit serta kecepatan pengadukan 200, 300, dan 400 rpm pada suhu reaksi 50 °C dan rasio molar metanol terhadap minyak 6:1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi dan kecepatan pengadukan memberikan pengaruh signifikan terhadap persentase yield dan mutu biodiesel. Kondisi optimum diperoleh pada waktu reaksi 40 menit dan kecepatan pengadukan 400 rpm dengan yield sebesar 82,61%. Biodiesel yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik sesuai standar SNI 7182:2015, meliputi densitas 870–889 kg/m³, viskositas 0,30–0,41 cP, titik nyala di atas 139 °C, serta angka setana hingga 51,1. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis CaO efektif dalam meningkatkan kinerja reaksi transesterifikasi dan menghasilkan biodiesel berkualitas baik. Selain itu, parameter operasi seperti waktu reaksi dan kecepatan pengadukan terbukti memegang peranan penting dalam menentukan efisiensi konversi dan kualitas biodiesel. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan potensi minyak jelantah sebagai sumber energi terbarukan yang ekonomis, sekaligus solusi lingkungan dalam pengelolaan limbah. Proses yang digunakan juga berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk skala produksi yang lebih besar dan aplikatif di masyarakat.

Kata Kunci: Biodiesel, Transesterifikasi, Minyak Jelantah, CaO, Yield.

PENDAHULUAN

Limbah minyak jelantah (*Used Cooking Oil* (UCO)) merupakan limbah yang dihasilkan secara global dari aktivitas rumah tangga dan layanan makanan, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan seperti polusi air, kerusakan infrastruktur, dan dampak kesehatan akibat kandungan senyawa berbahaya seperti asam lemak bebas, polutan organik, dan senyawa karsinogenik. Namun, UCO memiliki potensi energi yang tinggi dan dapat diolah menjadi berbagai produk bernilai tambah seperti biodiesel, bioplastik, biolubrikant, dan sabun ramah lingkungan melalui berbagai metode kimia, biokimia, dan termal, termasuk transesterifikasi dengan katalis yang beragam serta teknologi inovatif seperti pirolisis dan ekstraksi fluida superkritis. Pengelolaan dan regulasi yang efektif, didukung oleh kebijakan di beberapa negara, mendorong pemanfaatan UCO dalam kerangka ekonomi sirkular yang berkelanjutan, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan memberikan manfaat ekonomi serta lingkungan. Meskipun terdapat tantangan seperti variabilitas bahan baku dan efisiensi pengumpulan, pengembangan teknologi dan strategi pengelolaan yang tepat menjadikan UCO sebagai sumber energi terbarukan yang menjanjikan dan solusi pengelolaan limbah yang ramah lingkungan (Kumar et al., 2025).

Indonesia kaya akan berbagai sumber daya alam yang sangat beragam dan dikonversi menjadi sumber energi, salah satunya adalah minyak bumi. Minyak bumi tergolong sebagai sumber energi tidak terbarukan, yang ketersediaannya semakin berkurang akibat meningkatnya penggunaan energi. Krisis energi pun menjadi ancaman nyata, karena cadangan minyak bumi terus menipis seiring dengan pertumbuhan populasi dan tingginya konsumsi energi global. Jika kondisi ini terus berlanjut, cadangan minyak bumi bisa habis di masa depan. Selain dampak terhadap lingkungan, tantangan lain yang dihadapi adalah mengupayakan sumber energi alternatif yang

dapat diperbaharui. Salah satu Solusi yang sedang dikembangkan adalah biodiesel, yang berfungsi sebagai bahan baku untuk solar (Suryanto et al., 2021).

Namun minyak goreng bekas juga merupakan salah satu sumber bahan baku alternatif yang ekonomis dan berpotensi untuk produksi biodiesel sebagai solusi pemenuhan kebutuhan energi yang semakin meningkat. Namun, minyak goreng bekas memiliki kualitas yang menurun akibat kandungan asam lemak bebas, bilangan peroksida, dan kadar air yang tinggi sehingga memerlukan proses pemurnian sebelum digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa cangkang kerang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis dalam proses pemurnian minyak goreng bekas. Cangkang kerang mengandung kalsium oksida (CaO) yang berperan sebagai katalis heterogen dalam reaksi transesterifikasi, sekaligus dapat digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan kadar asam lemak bebas, bilangan peroksida, dan kadar air pada minyak goreng bekas. Pengaruh variabel seperti waktu kontak, ukuran adsorben, dan suhu transesterifikasi sangat menentukan kualitas fisika-kimia minyak hasil pemurnian dan biodiesel yang dihasilkan. Meskipun penggunaan cangkang kerang efektif dalam meningkatkan kualitas minyak goreng bekas, beberapa parameter seperti bilangan asam dan kadar air masih belum memenuhi standar mutu yang ditetapkan oleh SNI, sehingga diperlukan penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan proses tersebut agar produk akhir memenuhi standar kualitas yang berlaku (Ritonga et al., 2021).

Dalam konteks ini, membahas pengembangan katalis heterogen yang berasal dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) untuk produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas. Cangkang yang kaya akan kalsium karbonat (CaCO_3) dikalsinasi pada suhu 900°C untuk menghasilkan kalsium oksida (CaO), yang kemudian diimpregnasi dengan larutan NaOH pada konsentrasi berbeda (1%, 3%, dan 5%) dan dikalsinasi ulang pada suhu 600°C . Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis Na/CaO dengan impregnasi 3% NaOH memberikan hasil biodiesel tertinggi sebesar 83,57% pada kondisi reaksi suhu 60°C , waktu 3,5 jam, kecepatan pengadukan 250 rpm, berat katalis 3 gram, dan rasio mol metanol terhadap minyak 6:1. Peningkatan konsentrasi natrium pada katalis awalnya meningkatkan luas permukaan dan kekuatan basa katalis sehingga memperbaiki hasil biodiesel, namun pada konsentrasi 5% terjadi penurunan efisiensi akibat penyumbatan katalis. Katalis terbaik mengandung mineral seperti kalsit, portlandit, dan kapur dengan aktivitas maksimum yang berkaitan dengan kandungan CaO yang tinggi. Penelitian ini menegaskan potensi pemanfaatan limbah cangkang kerang sebagai sumber katalis yang berkelanjutan dan efektif untuk meningkatkan hasil serta efisiensi proses produksi biodiesel dari minyak goreng bekas (Kurniawan & Nurhayati, 2020).

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki prospek menjanjikan adalah biomassa. Biomassa menyumbang sekitar 13% dari total konsumsi energi global dan dikenal sebagai sumber energi terbarukan yang paling fleksibel serta mudah dimanfaatkan. Biomassa dapat berasal dari berbagai jenis bahan organik, termasuk tanaman yang cepat tumbuh maupun limbah organik, sehingga menjadikannya pilihan yang layak untuk memenuhi kebutuhan energi modern, seperti pembangkitan listrik dan produksi bahan bakar. Biodiesel, secara khusus, telah diakui sebagai alternatif yang menjanjikan karena penggunaannya dalam mesin pembakaran kompresi (CI), baik secara murni maupun dalam bentuk campuran, dapat menurunkan emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida dan hidrokarbon yang tidak terbakar. Hal ini dimungkinkan karena biodiesel tidak

mengandung sulfur. Proses produksi biodiesel dilakukan melalui reaksi transesterifikasi dengan menggunakan minyak nabati, lemak hewani, biomassa kering, atau minyak non-edibel bersama alkohol dan katalis. Namun, penggunaan minyak nabati sebagai bahan baku berisiko mengganggu ketahanan pangan global dan meningkatkan harga jual biodiesel. Oleh karena itu, kini fokus lebih diarahkan pada pemanfaatan bahan non-edibel sebagai bahan baku biodiesel untuk menekan biaya produksinya (Jain et al., 2023).

Biodiesel adalah jenis bahan bakar yang dibuat dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses transesterifikasi. Proses ini melibatkan reaksi antara senyawa ester dan alkohol dengan bantuan katalis, sehingga memproduksi metil dari asam lemak (*Fatty Acid Methyl Ester/FAME*) yang dapat digunakan pada mesin diesel. Secara kimia, biodiesel tergolong dalam mono alkil ester atau metil ester dengan rantai karbon yang berkisar antara 12 hingga 20. Karakteristik ini membedakannya dari petroleum diesel (solar), yang utama tersusun dari senyawa hidrokarbon.

Biodiesel adalah mono-alkil ester yang dihasilkan dari asam lemak minyak nabati atau lemak hewani, sehingga lebih ramah lingkungan, tidak mencemari udara, mudah terurai secara alami, dan dapat diperbaharui. Oleh karena itu, biodiesel memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai solusi terhadap keterbatasan pasokan minyak bumi. Salah satu cara untuk memproduksi biodiesel adalah melalui proses esterifikasi asam lemak dari minyak nabati atau transesterifikasi trigliserida dengan alkohol. Proses ini menghasilkan dua produk utama, yaitu metil ester (biodiesel) dan gliserin sebagai produk sampingan (Dimawarnita et al., 2021).

Esterifikasi merupakan reaksi antara asam karboksilat dan alkohol yang menghasilkan ester. Pada proses ini, asam lemak bebas yang terdapat dalam trigliserida diubah menjadi metil ester, dengan air sebagai produk samping. Untuk mengatasi pembentukan air dalam reaksi ini, metanol dapat ditambahkan dalam jumlah berlebih, karena air akan larut dalam metanol dan tidak menghambat reaksi.

Reaksi transesterifikasi antara minyak nabati dan metanol berlangsung dengan bantuan katalis untuk menghasilkan biodiesel. Katalis yang umum digunakan dalam proses ini biasanya berupa basa atau asam homogen. Keberhasilan transesterifikasi dipengaruhi oleh berbagai faktor yang perlu diperhatikan guna meningkatkan produksi biodiesel. Salah satu faktor utama adalah jenis katalis yang digunakan, karena berperan penting dalam proses konversi minyak nabati menjadi biodiesel (Abdulkareem & Nasir, 2022).

Katalis homogen, seperti asam (H_2SO_4) dan basa (larutan CaO atau KOH), sering dipakai dalam produksi biodiesel. Namun, pemakaian katalis ini memiliki beberapa kekurangan. Proses pemisahan katalis dari produk tergolong sulit, tidak dapat digunakan kembali, dan pada akhirnya menjadi limbah yang berpotensi mencemari lingkungan. Selain itu, katalis homogen dapat bereaksi dengan asam lemak bebas (ALB) membentuk sabun, yang dapat menghambat proses pemurnian, mengurangi hasil biodiesel, serta meningkatkan konsumsi katalis dalam reaksi (Padil et al., 2012).

Untuk menyelesaikan masalah tersebut, diperlukan pengembangan lebih lanjut dengan mengganti katalis yang digunakan menjadi katalis basa homogen, seperti *kalium hidroksida* (KOH) dan *kalsium oksida* (CaO). Oleh karena itu, penelitian ini berjudul "Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah melalui Proses Transesterifikasi dengan Katalis Kalsium Oksida (CaO)."

Pengujian kualitas biodiesel mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 718:2015), yang mencakup uji densitas, viskositas, cetane number, dan titik nyala. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang energi, dengan menemukan sumber energi alternatif yang lebih baik serta menyempurnakan proses produksi biodiesel agar lebih efisien dan berkualitas tinggi. Saat ini, sistem energi global masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil, yang berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan dan peningkatan emisi gas rumah kaca. Kondisi ini telah mendorong banyak negara untuk menetapkan target penurunan emisi karbon sebesar 43% pada tahun 2030, serta menjaga agar kenaikan suhu global tidak melebihi batas yang telah ditetapkan. Dalam konteks ini, biodiesel menjadi salah satu solusi alternatif, karena dapat digunakan langsung pada mesin diesel tanpa perlu modifikasi besar dan memiliki potensi untuk menurunkan emisi CO₂ hingga 80%. Selama sepuluh tahun terakhir, produksi biodiesel global mengalami peningkatan sekitar 4–14%. Meski demikian, tantangan terbesar dalam pengembangannya adalah tingginya biaya bahan baku lipid, yang menyumbang sekitar 60–80% dari total biaya produksi (Cerón Ferrusca et al., 2023).

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui, yang banyak dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi biodiesel, baik dari segi teknologi proses maupun pemilihan bahan baku dan katalis. Suryanto et al. (2021) merancang sebuah mesin produksi biodiesel dengan sistem kontinu berkapasitas 400 liter per jam, yang menunjukkan efisiensi tinggi dengan rata-rata hasil sebelum modifikasi sebesar 87,49% dan meningkat menjadi 89,31% setelah modifikasi. Sementara itu, Ishaq et al. (2021) meneliti pengaruh variasi katalis CaO terhadap kualitas biodiesel dari minyak jelantah dengan metode pemanasan minyak hingga 60°C dan pencampuran metanol dengan CaO dalam beberapa takaran, yang bertujuan untuk mendapatkan reaksi transesterifikasi yang optimal. Di sisi lain, Mirzayanti et al. (2020) memanfaatkan tempurung kelapa sebagai katalis alternatif dalam proses konversi minyak curah menjadi biodiesel. Penelitian ini menggunakan variasi katalis 0,5 hingga 2,5 wt/wt dan rasio molar minyak terhadap metanol 1:3 hingga 1:9, serta menghasilkan *yield* tertinggi sebesar 89%. Ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa baik sistem produksi, jenis katalis, maupun kondisi reaksi sangat memengaruhi kualitas dan efisiensi biodiesel, sehingga penting untuk terus mengembangkan metode yang lebih efektif dan ekonomis dalam produksi biodiesel.

METODE PENELITIAN

Pendekatan desain fungsional alat pembuatan biodiesel dari minyak jelantah melalui proses transesterifikasi melibatkan beberapa komponen utama seperti reaktor berpengaduk dengan sistem pemanas dan kontrol suhu, tangki pemisah untuk memisahkan biodiesel dan gliserol berdasarkan densitas, heater berpengaduk untuk proses pencucian, serta panel kontrol, pompa panas, motor pengaduk, termokopel, dan pengontrol suhu digital guna memastikan proses berjalan optimal. Secara struktural, alat terdiri dari reaktor, tangki pemisah, heat pump, dan kolom absorber yang dirancang dalam bentuk 2D dan 3D dengan material seperti PVC dan plat besi. Penelitian dilakukan selama 4 bulan di laboratorium Politeknik Negeri Sriwijaya dengan bahan utama minyak jelantah, metanol, dan katalis CaO. Variabel penelitian meliputi temperatur, waktu, dan kecepatan pengadukan terhadap *yield* dan karakteristik biodiesel. Proses dimulai dari pembuatan katalis,

persiapan bahan, reaksi transesterifikasi, pemisahan, pencucian hingga analisis kualitas biodiesel berdasarkan viskositas, angka setana, titik nyala, dan densitas sesuai standar uji yang berlaku.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengoptimalkan kinerja proses transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis CaO dengan konsentrasi 0,5 N. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah suhu waktu reaksi sebesar 50 °C dan rasio molar metanol terhadap minyak sebesar 6:1. Adapun variable bebas yang digunakan adalah waktu reaksi (40, 60, 80 menit) serta kecepatan pengadukan (200, 300, dan 400 rpm).

Tabel 1. Analisa Biodiesel Berdasarkan % Yield

No	Temperature (°C)	Waktu (Menit)	Kecepatan Pengadukan (Rpm)	% Yield
1	50°C	40	200	77,1
			300	80,97
			400	82,61
2	50°C	60	200	79,34
			300	80,43
			400	81,41
3	50°C	80	200	75,54
			300	77,71
			400	81,52

Berdasarkan data pengujian yang telah diambil terhadap waktu reaksi dan kecepatan pengadukan dalam proses transesterifikasi menggunakan katalis CaO, diperoleh hasil sebagai berikut:

Pada waktu reaksi 40 menit, *yield* tertinggi terjadi pada kecepatan 400 rpm sebesar 82,61%. Peningkatan waktu menjadi 60 menit menunjukkan peningkatan *yield* yang cukup signifikan, yaitu hingga 81,41% pada 400 rpm. *Yield* tertinggi dicapai pada waktu reaksi 80 menit dan kecepatan pengadukan 400 rpm, yaitu sebesar 81,52%. Dengan demikian, kondisi optimum dalam penelitian ini Adalah pada waktu reaksi 40 menit, suhu 50°C, dan kecepatan pengadukan 400 rpm, menghasilkan % *yield* sebesar 82,61%.

Analisa dilakukan di Laboratorium Kimia Analisa Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Berikut adalah hasil analisa dari sampel:

Tabel 2. Analisa Biodiesel Berdasarkan Karakteristik

No	Waktu (Menit)	Kecepatan Pengadukan	Analisa Biodiesel			
			Densitas (kg/m ³)	Viskositas (CP)	Titik Nyala (°C)	Cetane Number
1	40	200	889	0,31	149,7	40,1
		300	875	0,38	147,3	44,2
		400	870	0,41	139,2	51,1
		200	885	0,37	158,3	45,1

2	60	300	874	0,34	151,2	42,9
		400	868	0,40	150,1	47,6
3	80	200	881	0,30	161,4	37,8
		300	872	0,33	157,4	39,8
		400	866	0,39	155,1	41,3

Karakteristik fisik dan kimia biodiesel dari sampel S1 hingga S9 menunjukkan variasi nilai densitas, viskositas, titik nyala, *cetane number*. Densitas biodiesel berkisar antara 866 hingga 889 kg/m³, dengan nilai tertinggi pada sampel S1 (889 kg/m³) dan terendah pada S1 (866 kg/m³). Viskositas kinematik biodiesel berada pada rentang 0,30 hingga 0,41 CP, dengan nilai tertinggi ditunjukkan oleh S8 dan terendah oleh S1.

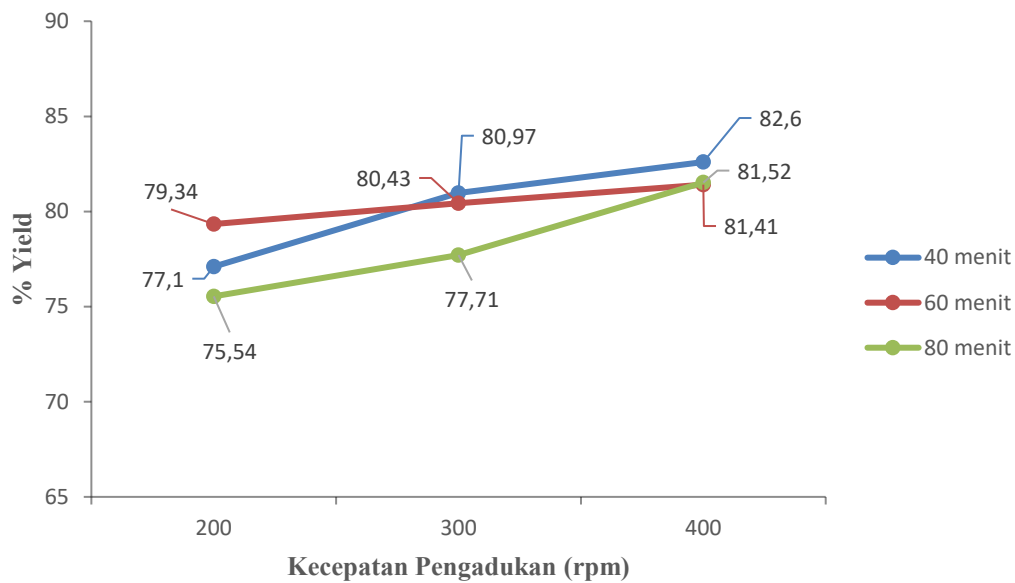
Titik nyala (*flash point*) biodiesel menunjukkan nilai antara 139,2°C (S6) hingga 161,4°C (S7), di mana titik nyala yang tinggi menunjukkan keamanan yang lebih baik terhadap penyalaaan tak disengaja. Nilai *Cetane Number* tertinggi ditunjukkan oleh S3 yaitu sebesar 51,1 sedangkan nilai terendah pada S7 sebesar 37.8. Nilai *Cetane Number* tertinggi ini menunjukkan kualitas pembakaran yang lebih baik dalam mesin diesel.

Pembahasan Hasil Penelitian

Peningkatan waktu reaksi dan kecepatan pengadukan berpengaruh signifikan terhadap mutu biodiesel. Semakin lama waktu reaksi dan semakin cepat pengadukan, maka % *yield* biodiesel meningkat karena reaksi transesterifikasi berlangsung lebih sempurna. Densitas dan viskositas cenderung menurun, menandakan biodiesel lebih murni dan encer. Titik nyala dan *cetane number* meningkat, menunjukkan kualitas pembakaran yang lebih baik. Sementaara itu, nilai kalor juga meningkat karena kandungan energi biodiesel menjadi lebih tinggi akibat reaksi yang lebih efektif. Hal ini membuktikan bahwa pengaturan waktu dan kecepatan pengadukan sangat menentukan kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap % Yield

Pada waktu proses penelitian di laboratorium pengaruh waktu reaksi dan kecepatan pengadukan di tampilan pada grafik dibawah ini:



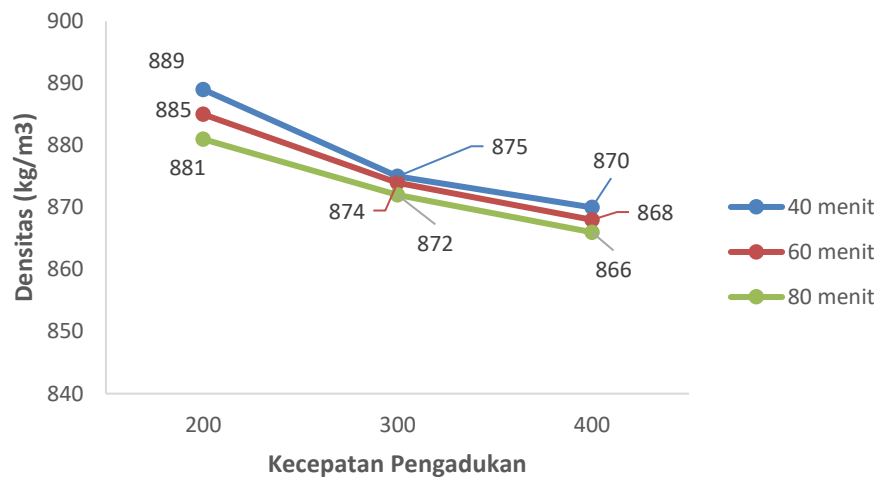
Gambar 1. Grafik Hubungan Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap % Yield Biodiesel yang dihasilkan

Dari Gambar 1 menunjukkan Pengaruh waktu reaksi dan pengaruh kecepatan pengadukan % yield biodiesel. Yield biodiesel meningkat dari 77,1% (40 menit, 200 rpm) menjadi 82,60% (40 menit, 400 rpm). Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan yang lebih besar memberikan kesempatan reaksi transesterifikasi berjalan lebih sempurna. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi kinetika yang bergantung pada waktu untuk menyelesaikan konversi trigliserida menjadi metil ester (biodiesel). Pengaruh kecepatan pengadukan, kecepatan pengadukan yang lebih tinggi meningkatkan % yield karena dapat mempercepat kontak antara metanol dan minyak jelantah, serta mengurangi hambatan difusi pada antar muka dua fase. Pada kecepatan 400 rpm di setiap waktu reaksi (40, 60, 80 menit), % yield selalu lebih tinggi dibandingkan 200 rpm dan 300 rpm. Yield tertinggi sebesar 82,60% dicapai pada waktu reaksi 40 menit dengan kecepatan pengadukan 400 rpm, disusul oleh 81,52% pada 80 menit dan 81,42% pada 60 menit di kecepatan yang sama (Abdullah et al., 2021).

Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk menentukan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Densitas merupakan salah satu parameter penting karena berpengaruh terhadap performa pembakaran dan efisiensi energi dari bahan bakar tersebut. Densitas yang sesuai standar menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik yang mendekati bahan bakar diesel konvensional.

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran densitas dengan Sembilan sampel biodiesel (S1 – S9), dengan nilai berkisar antara 866 kg/m³ hingga 889 kg/m³. Hasil ini masih berada dalam rentang yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015), yaitu 850 – 890 kg/m³.

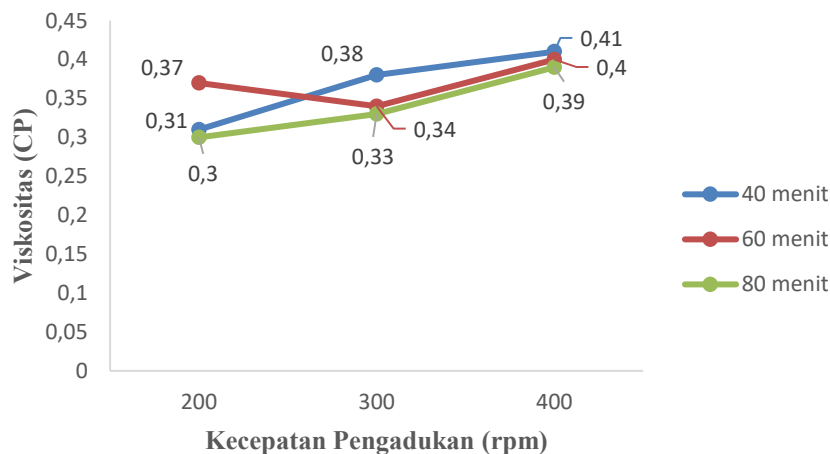


Gambar 2. Grafik Hubungan Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Densitas yang dihasilkan

Seluruh hasil pengukuran menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO berada dalam batas yang sesuai dengan standar. Hal ini menunjukkan bahwa proses transesterifikasi berjalan secara efektif dalam menghasilkan biodiesel dengan sifat fisik yang baik (NguyenThi et al., 2018).

Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Viskositas

Dalam penelitian transesterifikasi biodiesel menggunakan katalis CaO pengaruh waktu reaksi dan kecepatan pengadukan terhadap viskositas di tampilan dalam grafik dibawah ini :



Gambar 3. Grafik Hubungan Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Viskositas yang dihasilkan

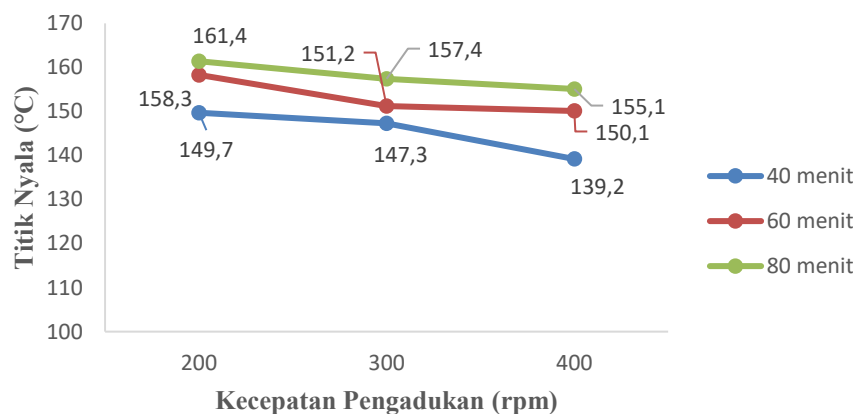
Pengujian viskositas dilakukan untuk mengetahui sejauh mana mutu biodiesel yang dihasilkan mendekati standar kualitas bahan bakar biodiesel yang sesuai. Viskositas merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan performa bahan bakar, khususnya dalam proses atomisasi di dalam mesin diesel.

Berdasarkan hasil pengujian viskositas pada tabel di atas, diperoleh rentang viskositas antara 0.30 CP hingga 0.41 CP. Nilai viskositas tertinggi sebesar 0.41 CP diperoleh pada sampel ke-3, sementara viskositas terendah sebesar 0.30 CP terjadi pada sampel ke-7.

Standar viskositas biodiesel menurut SNI 7182:2015 berkisar antara 2.3 – 6.0 cSt pada suhu 40°C. Dengan demikian, seluruh sampel dalam penelitian ini masih berada dalam batas satandar nasional yang diperbolehkan. Nilai viskositas yang bervariasi ini dipengaruhi oleh parameter proses seperti suhu, rasio molar, jenis dan konsentrasi katalis, serta waktu reaksi transesterifikasi. Viskositas yang terlalu rendah juga bisa menunjukkan adanya kelebihan metanol yang belum terpisahkan dengan baik setelah proses pencucian biodiesel. Secara keseluruhan, hasil viskositas menunjukkan bahwa katalis CaO dalam konsentrasi 0,5 N dapat menghasilkan biodiesel dengan mutu viskositas yang baik (Hussein et al., 2024).

Pengaruh Waktu dan Kecepatan Terhadap Titik Nyala

Uji titik nyala dilakukan untuk mengetahui suhu minimum dimana uap biodiesel dapat terbakar sesaat setelah terkena api. Titik nyala ini menjadi indikator penting dalam menentukan keamanan penyimpanan dan transportasi bahan bakar biodiesel. Adapun Standar SNI biodiesel uji titik nyala yaitu SNI 7182 : 2015 minimum 100°C.



Gambar 4. Grafik Hubungan Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Titik Nyala yang dihasilkan

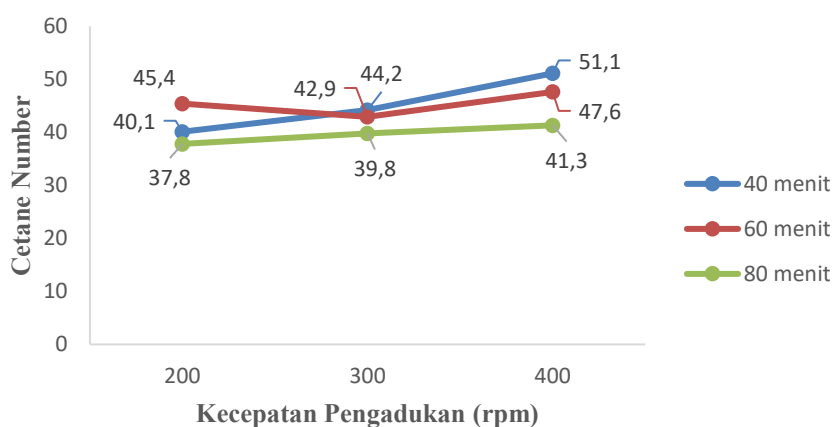
Dari Gambar 4 menunjukkan hubungan antara waktu reaksi (40, 60, 80 menit) serta kecepatan pengadukan (200, 300, 400 rpm) terhadap titik nyala (°C) biodiesel yang dihasilkan. Semakin lama waktu reaksi dan semakin tinggi kecepatan pengadukan, maka titik nyala yang dihasilkan cenderung meningkat. Dari data yang didapatkan titik nyala terendah berada pada waktu 40 menit dengan kecepatan pengadukan 400 rpm dengan nilai 139,2 °C, sedangkan untuk titik nyala tertinggi berada pada waktu 80 menit dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dengan nilai 161,4 °C.

Dari data yang didapatkan bahwa seluruh sampel termasuk kualitas sampel biodiesel berdasarkan titik nyala sudah baik, karena sudah termasuk dalam standar SNI 7182:2015, yang mensyaratkan titik nyala berada diatas nilai minimum 100 °C. Hal ini menunjukkan bahwa proses

produksi biodiesel yang digunakan dalam penelitian ini sudah stabil dan mampu menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang memenuhi standar titik nyala (Hussein et al., 2024).

Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Cetane Number

Cetane Number (angka setana) adalah salah satu sifat bahan bakar terpenting yang mengukur karakteristik penyalaan otomatis bahan bakar pada mesin diesel bertenaga. Angka setana yang lebih tinggi menunjukkan bahan bakar yang lebih mudah menyala dan terbakar lebih bersih di dalam mesin diesel. Jadi bahan bakar yang memiliki angka setana yang lebih tinggi menunjukkan tingkat pembakaran yang lebih tinggi, penundaan penyalaan yang lebih pendek dan pembakaran bahan bakar yang tidak bersuara dan lebih halus. Sebaliknya jika angka setana yang lebih rendah menyebabkan mesin sulit dihidupkan di lingkungan dingin, timbulnya polutan dari knalpot mesin dan mengalami penundaan pengapian. Adapun standar SNI nya adalah Minimal 51.



Gambar 5. Grafik Hubungan Pengaruh Waktu dan Kecepatan Pengadukan Terhadap *Cetane Number* yang dihasilkan

Dari Gambar 5 menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pengadukan berpengaruh positif terhadap nilai *cetane number* biodiesel. Pada kecepatan pengadukan 200 rpm, *cetane number* yang dihasilkan sebesar 41 dengan waktu reaksi 40 menit. Ketika kecepatan ditingkatkan menjadi 300 rpm, *cetane number* naik menjadi 44,2 dengan waktu reaksi 40 menit. Pada kecepatan 400 rpm, nilai *cetane number* naik signifikan menjadi 51,1 meskipun memiliki waktu reaksi yang sama yaitu 40 menit. Dari hasil ini terlihat bahwa kecepatan pengadukan optimal terdapat pada 400 rpm, yang menghasilkan *cetane number* tertinggi. Dan pada waktu reaksi 60 menit dan 80 menit *Cetane Number* juga naik dengan kenaikan kecepatan pengadukan yang di tingkatkan dari 200 rpm menjadi 400 rpm. Tetapi tidak seluruh sampel memenuhi standar SNI 7182:2015 minimal 51, sehingga hanya biodiesel yang dihasilkan dengan waktu reaksi 40 menit dengan kecepatan pengadukan 400 rpm yang memiliki kualitas pembakaran yang baik di bandingkan sampel yang lainnya. Peningkatan *cetane number* menunjukkan kualitas bahan bakar yang lebih baik karena mampu menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna, efisien, dan ramah lingkungan (Ridho et al., 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses pengoptimalan transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah berhasil ditingkatkan dengan penggunaan katalis CaO berkonsentrasi 0,5 N. Variasi terhadap waktu reaksi dan kecepatan pengadukan memberikan pengaruh besar terhadap hasil biodiesel. Peningkatan kedua variabel tersebut membantu proses pencampuran metanol dan minyak jelantah menjadi lebih efektif, mempercepat reaksi transesterifikasi, serta menghasilkan konversi trigliserida ke metil ester dengan efisiensi yang lebih tinggi.
2. Dari hasil percobaan penelitian, kondisi terbaik yang diperoleh pada waktu reaksi 40 menit dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Pada kondisi tersebut, % *Yield* biodiesel yang didapatkan adalah sebesar 82,60%. Pada variabel yang lain menghasilkan % *Yield* yang lebih rendah dibandingkan dengan variabel waktu reaksi 40 menit dan kecepatan pengadukan 400 rpm.
3. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa proses transesterifikasi berjalan paling efisien pada variabel tersebut. Selain itu, sifat fisik dan kimia biodiesel yang dihasilkan pada variabel waktu reaksi 40 menit dan kecepatan 400 rpm telah memenuhi ketentuan dalam standar SNI 7182:2015. Nilai densitas biodiesel berada pada kisaran 870–890 kg/m³, viskositas kinematik sebesar 0,30–0,41 cP, titik nyala lebih dari 100°C, serta angka setana maksimum mencapai 51,1. Berdasarkan hasil tersebut, biodiesel yang dihasilkan tergolong memiliki mutu yang baik, aman digunakan, dan berpotensi sebagai sumber energi alternatif.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan katalis kalsium oksida (CaO) terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Variasi waktu reaksi dan kecepatan pengadukan memberikan pengaruh terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan yang memenuhi standar SNI 7182:2015.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil menentukan kondisi operasi yang optimal untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi dari bahan baku minyak jelantah menggunakan katalis CaO.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkareem, A. N., & Nasir, N. F. (2022). Biodiesel Production from Canola Oil Using TiO₂CaO as a Heterogenous Catalyst. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 93(2), 125–137. <https://doi.org/10.37934/arfmts.93.2.125137>
- Abdullah, M. H., Riyanto, O. A. W., & Wulan, D. P. I. B. S. (2021). Optimization of esterification and transesterification process for biodiesel production from used cooking oil. *Journal of Research and Technology (JRT)*, 7(2), 207–216. <https://doi.org/10.55732/jrt.v7i2.432>
- Asriza, R., & Fabiani, V. (2018). Transesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis CaO dari cangkang siput gonggong. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, 1–3. <https://doi.org/10.33019/snppm.v2i0.621>
- Azhari, A., Mulyawan, R., Nasrul Z. A., Hakim, L., & Nur Azura Lubis. (2023). Pembuatan biodiesel dari campuran minyak jarak kepyar (*Ricinus communis*) dengan minyak jelantah menggunakan katalis CaO limbah cangkang kerang darah (*Anadara granosa*). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 12(1). <https://doi.org/10.29103/jtku.v12i1.11797>
- Cerón Ferrusca, M., Romero, R., Martínez, S. L., Ramírez-Serrano, A., & Natividad, R. (2023). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: A Perspective on Catalytic Processes. *Processes*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/pr11071952>

- Dimawarnita, F., Arfiana, A. N., Mursidah, S., Maghfiroh, S. R., & Suryadarma, P. (2021). Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Nabati Menggunakan Aspen Hysys. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), 98–109. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.1.98>
- Hussein, M., & Idris, M. (2024). Experimental Studies of Flame Points and Biodiesel Viscosity Produced from Waste Cooking Oil. *International Research Journal of Advanced Technology, Management and Applied Science (IRAJTMA)*, 3(1), 86–92.
- Jain, S., Kumar, N., Singh, V. P., Mishra, S., Sharma, N. K., Bajaj, M., & Khan, T. M. Y. (2023). Transesterification of Algae Oil and Little Amount of Waste Cooking Oil Blend at Low Temperature in the Presence of NaOH. *Energies*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/en16031293>
- Kumar, A., Bhayana, S., Singh, P. K., Tripathi, A. D., Paul, V., Balodi, V., & Agarwal, A. (2025). Valorization of used cooking oil: challenges, current developments, life cycle assessment and future prospects. In *Discover Sustainability* (Vol. 6, Issue 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00905-7>
- Kurniawan, E., & Nurhayati, N. (2020). Transesterification Process of Waste Cooking Oil Catalyzed by Na/CaO Derived from Blood Clam (*Anadara Granosa*) Shells. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.20885/eksakta.vol1.iss1.art1>
- Lesbani, A., Kurniawati, M. R., & Mohadi, R. (2013). Produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak jelantah dengan katalis cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) hasil dekomposisi. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 1(2), 1–7. <http://repository.unsri.ac.id/id/eprint/21578>
- Maneerung, T., Kawi, S., Dai, Y., & Wang, C. H. (2016). Sustainable biodiesel production via transesterification of waste cooking oil by using CaO catalysts prepared from chicken manure. *Energy Conversion and Management*, 123, 487–497. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.06.071>
- NguyenThi, T. X., Bazile, J.-P., & Bessières, D. (2018). Density measurements of waste cooking oil biodiesel and diesel blends over extended pressure and temperature ranges. *Energies*, 11(5), 1212. <https://doi.org/10.3390/en11051212>
- Padil, P., Wahyuningsih, S., & Awaluddin, A. (2012). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa melalui Reaksi Metanolisis Menggunakan Katalis CaCO₃ yang dipijarkan. *Jurnal Natur Indonesia*, 13(1), 27. <https://doi.org/10.31258/jnat.13.1.27-32>
- Pasaribu, A. T., Sigit Lestari, R. A., & Firyanto, R. (2023). Pembuatan Biodiesel Dengan Cara Adsorpsi Kulit Pisang Kepok Dan Transesterifikasi Dari Minyak Goreng Bekas. *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, 3(2), 40. <https://doi.org/10.56444/cjce.v3i2.3151>
- Ridho, A. R., Prasetyo, D. A., Susmiati, Y., & Ulma, Z. (2023). Analysis of biodiesel process from waste cooking oil using heterogeneous catalyst field snail shell (*Pila ampullacea*). *Jurnal Polimesin*, 21(3), –. Lhokseumawe: Politeknik Negeri Lhokseumawe. <https://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin/article/view/4287>
- Ritonga, F. Y., Hasmita, I., & Sartika, Z. (2021). Pengaruh Waktu Kontak Dan Ukuran Adsorben Pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas Menggunakan Cangkang Kerang Sebagai Bahan Baku Biodiesel The Effect of Contact Time and Adsorbent Size on the Purification of Waste Cooking Oil Using Seashells as Raw Material fo. 2(3), 3–6.
- Sangadah, K., & Kartawidjaja, J. (2020). TRANSESTERIFIKASI MINYAK GORENG BEKAS MENJADI BODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS CaO CANGKANG SIPUT GONGGONG (*Strombus canarium*) DIIMPREGNASI KOH: VARIASI WAKTU DAN TEMPERATUR REAKSI. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 21(1), 1–9.
- Suryanto, S., Abadi, S., Amanah, B., & Wahyudin, W. (2021). Rancang Bangun Mesin Produksi Biodiesel Sistem Kontinyu Kapasitas 400 Liter/Jam. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 18(2), 213–223. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v18i2.2645>