



Studi Eksperimental Kalor Biodiesel dari Minyak Goreng Limbah

Experimental Study on the Calorific Value of Biodiesel from Waste Cooking Oil

Kiki S. Sembiring¹, Muhammad Idris^{1*}, Yetti Meuthia Hasibuan², Uun Novalia Harahap², Darianto¹

¹ Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan Estate, Indonesia

² Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan, Medan, Indonesia

*Corresponding author: muhammad_idris@staff.uma.ac.id

Diterima: 29-11-2024

Disetujui: 19-12-2024

Dipublikasikan: 31-12-2024

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Kebutuhan energi global yang terus meningkat menuntut pengembangan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Biodiesel menjadi salah satu solusi potensial, khususnya yang diproduksi dari minyak goreng bekas melalui proses transesterifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu reaksi terhadap nilai kalor biodiesel dengan menggunakan metode regresi linier. Nilai kalor dipilih sebagai parameter utama karena mencerminkan seberapa besar energi yang dihasilkan oleh bahan bakar. Penelitian dilakukan dengan menganalisis data eksperimental yang menghubungkan waktu reaksi transesterifikasi dengan nilai kalor biodiesel. Hasil menunjukkan bahwa waktu reaksi optimal adalah 80 menit, menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 41,35 MJ/kg, yang melampaui standar ASTM D6751. Namun, pengaruh waktu reaksi terhadap nilai kalor tidak signifikan secara statistik, dengan P-value sebesar 0,67 dan koefisien regresi sebesar 0,02. Penurunan nilai kalor setelah 80 menit diduga disebabkan oleh reaksi berlebihan yang menurunkan efisiensi. Kesimpulan menunjukkan bahwa waktu reaksi bukan satu-satunya faktor yang memengaruhi nilai kalor biodiesel. Rekomendasi penelitian selanjutnya mencakup penambahan variabel seperti suhu reaksi dan rasio molar bahan baku untuk meningkatkan akurasi model. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan biodiesel berkualitas tinggi sesuai standar internasional.

Kata Kunci: Biodiesel, Nilai Kalor, Waktu Reaksi, Transesterifikasi.

Abstract

The ever-increasing global energy demand necessitates the development of environmentally friendly and sustainable alternative fuels. Biodiesel is a potential solution, mainly when produced from used cooking oil through the transesterification process. This study aims to evaluate the effect of reaction time on the calorific value of biodiesel using the linear regression method. The calorific value was chosen as the primary parameter because it reflects the energy produced by the fuel. The study analyzed experimental data correlating the transesterification reaction time with the biodiesel calorific value. The results showed that the optimal reaction time was 80 minutes, yielding the highest calorific value of 41.35 MJ/kg, exceeding the ASTM D6751 standard. However, the effect of reaction time on calorific value was not statistically significant, with a P-value of 0.67 and a regression coefficient of 0.02. The decrease in calorific value after 80 minutes is likely caused by overreaction, reducing efficiency. The findings indicate that reaction time is not the sole factor influencing biodiesel calorific value. Future research recommendations include incorporating variables such as reaction temperature and raw material molar ratio to enhance model accuracy. This study is expected to provide a foundation for developing high-quality biodiesel that meets international standards.

Keywords: Biodiesel, Calorific Value, Reaction Time, Transesterification.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi di seluruh dunia, termasuk Indonesia, terus mengalami peningkatan yang signifikan. Pertumbuhan populasi dan kemajuan ekonomi menjadi faktor utama yang mendorong permintaan energi tersebut. Namun, ketersediaan sumber energi utama seperti minyak bumi semakin terbatas dan cepat habis akibat eksploitasi yang terus meningkat (Sinaga, Haryanto, dan Triyono, 2014). Minyak bumi merupakan sumber daya tak terbarukan yang pembentukannya membutuhkan waktu jutaan bahkan ratusan juta tahun. Penggunaan yang tinggi dan tidak terkendali mengakibatkan cadangan minyak bumi semakin menipis. Kondisi ini menimbulkan krisis energi global yang memerlukan solusi melalui pengembangan sumber energi alternatif (Indra Darmawan dan Susila, 2013).

Salah satu solusi yang menjanjikan untuk mengatasi krisis ini adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang dihasilkan dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses transesterifikasi. Biodiesel memiliki beberapa keunggulan, seperti ramah lingkungan, tidak beracun, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Di Indonesia, bahan baku utama yang sering digunakan adalah minyak goreng bekas, yang melimpah dan relatif murah (Kolakoti dan Satish, 2020). Minyak goreng bekas menjadi pilihan ideal karena dapat mengurangi limbah domestik dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

Proses produksi biodiesel melibatkan reaksi kimia yang disebut transesterifikasi. Dalam proses ini, trigliserida dalam minyak goreng bekas diubah menjadi ester metil menggunakan katalis dan alkohol seperti metanol. Faktor-faktor seperti waktu reaksi, suhu reaksi, rasio molar minyak terhadap alkohol, dan jenis katalis sangat memengaruhi keberhasilan proses ini (Andalia dan Pratiwi, 2018; Banerjee dan Chakraborty, 2009). Salah satu parameter penting dalam biodiesel adalah nilai kalor, yang mencerminkan seberapa besar energi yang dihasilkan oleh bahan bakar ini. Nilai kalor biodiesel dipengaruhi oleh jenis bahan baku, waktu reaksi, dan metode produksi (Rahardja, Sukarman, dan Ramadhan, 2019).

Dengan meningkatnya kebutuhan biodiesel, penelitian untuk mengoptimalkan parameter produksi seperti waktu reaksi menjadi penting. Pemahaman yang lebih mendalam tentang pengaruh waktu reaksi terhadap nilai kalor dapat memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan kualitas biodiesel. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi ilmiah terhadap hubungan waktu reaksi dengan nilai kalor biodiesel.

Dalam penelitian ini, penting untuk mengevaluasi pengaruh waktu reaksi terhadap nilai kalor biodiesel menggunakan pendekatan analisis kuantitatif, seperti regresi linier. Analisis regresi linier memungkinkan pengujian hubungan antara waktu reaksi dan nilai kalor biodiesel, sehingga memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai optimasi proses transesterifikasi (persamaan 1). Dengan memahami hubungan ini, penelitian dapat menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi yang memenuhi standar internasional seperti ASTM D6751. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengolahan data eksperimen yang menghubungkan waktu reaksi transesterifikasi dengan nilai kalor biodiesel dari minyak goreng bekas, dengan menggunakan metode regresi linier untuk mengevaluasi hubungan statistik dan memperbaiki efisiensi proses produksi biodiesel (Randa Pratama et al., 2024).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \quad (1)$$

Dimana, Y: Variabel dependen (nilai kalor biodiesel, dalam MJ/kg), X: Variabel independen (waktu reaksi, dalam menit), β_0 : Intersep (nilai Y ketika X=0), β_1 : Koefisien regresi (kemiringan garis regresi, menunjukkan pengaruh X terhadap Y), ϵ : Kesalahan residual (*error*).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh waktu reaksi transesterifikasi terhadap nilai kalor biodiesel. Analisis regresi linier digunakan untuk memahami hubungan waktu reaksi dan nilai kalor. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam mengenai optimasi proses transesterifikasi. Selain itu, penelitian ini berupaya menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi yang sesuai dengan standar internasional ASTM D6751.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan yaitu dengan cara experiment. Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan, tempat pelaksanaan penelitian berada di Lab Teknik Mesin Universitas Medan Area, serta Laboratorium Energi Baru Terbarukan (EBT) Politeknik Negeri Medan di Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara. Variable dalam penelitian ini yaitu katalis yang terdiri dari natrium hidroksida (NaOH) dan larutan metanol (CH₃OH). Table komposisi dari pembuatan biodiesel dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Komposisi pembuatan biodiesel

WCO (liter)	NaOH %	Rasio Metanol
0,5	0,5	1:02

Penelitian ini menggunakan metode analisis regresi linier untuk mengkaji pengaruh waktu reaksi transesterifikasi terhadap nilai kalor biodiesel dari minyak goreng limbah. Data dikumpulkan dari lima observasi eksperimental dengan variabel bebas berupa waktu reaksi dan variabel terikat berupa nilai kalor. Proses analisis dilakukan menggunakan software pengolah data statistik untuk menghitung parameter regresi, seperti koefisien determinasi (R^2), standar error, dan nilai p untuk uji signifikansi. Validasi model dilakukan melalui analisis ANOVA untuk menguji hubungan antara variabel independen dan dependen. Selain itu, interval kepercayaan 95% digunakan untuk menilai rentang prediksi parameter regresi (Randa Pratama et al., 2024).

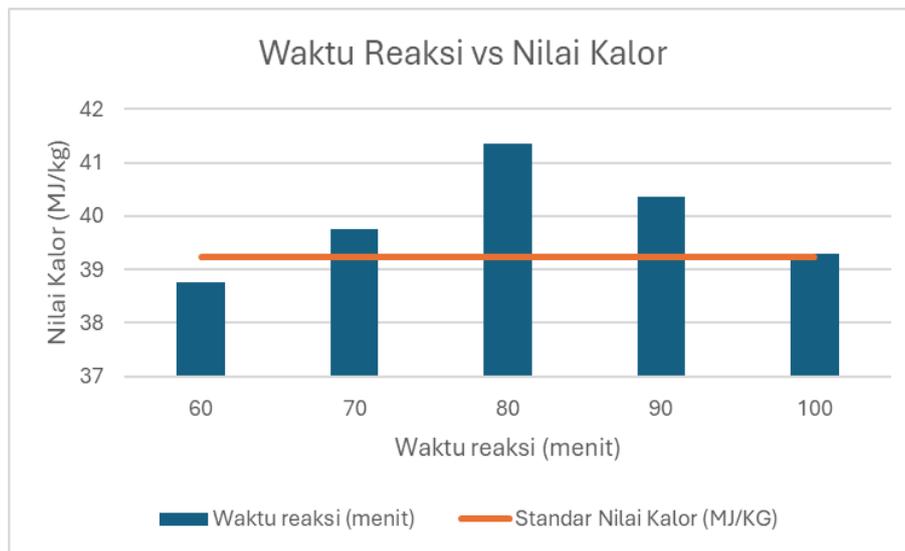
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil pengujian biodiesel

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor biodiesel dari minyak goreng limbah dipengaruhi oleh waktu reaksi transesterifikasi, sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 1. Berdasarkan data yang diperoleh, nilai kalor biodiesel pada waktu reaksi 60 menit sebesar 38,77 MJ/kg, masih berada di bawah standar ASTM D6751 sebesar 39,24 MJ/kg. Pada waktu reaksi 70 menit, nilai kalor meningkat menjadi 39,75 MJ/kg, sedikit melampaui standar. Peningkatan nilai kalor terus berlanjut hingga mencapai puncaknya pada waktu reaksi 80 menit dengan nilai tertinggi sebesar 41,35 MJ/kg, jauh di atas standar. Namun, setelah waktu reaksi 80 menit, nilai kalor mulai menurun menjadi 40,35 MJ/kg pada 90 menit dan 39,3 MJ/kg pada 100 menit, meskipun masih mendekati standar ASTM D6751.

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik nilai kalor

Waktu reaksi (menit)	Nilai Kalor (MJ/kg)	Standar Nilai Kalor (MJ/KG)
60	38,77	39,24
70	39,75	39,24
80	41,35	39,24
90	40,35	39,24
100	39,3	39,24



Gambar 1. Grafik waktu reaksi versus nilai kalor

Hasil ini menunjukkan bahwa waktu reaksi berperan penting dalam menentukan kualitas energi biodiesel. Peningkatan nilai kalor hingga 80 menit mengindikasikan bahwa proses transesterifikasi berjalan optimal dalam durasi tersebut, menghasilkan konversi trigliserida menjadi ester metil secara maksimal. Penurunan nilai kalor setelah 80 menit kemungkinan disebabkan oleh reaksi berlebihan (*overreaction*) yang dapat mengurangi efisiensi produksi biodiesel. Hal ini sesuai dengan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa durasi reaksi yang terlalu lama dapat menghasilkan produk samping yang memengaruhi kualitas biodiesel (Banerjee dan Chakraborty, 2009).

Dibandingkan dengan standar ASTM D6751, nilai kalor biodiesel pada waktu reaksi 70 hingga 90 menit sudah melampaui persyaratan minimum, menjadikannya periode waktu yang ideal untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi. Namun, waktu reaksi optimal berdasarkan hasil ini adalah 80 menit, karena menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 41,35 MJ/kg. Oleh karena itu, waktu reaksi yang lebih pendek atau lebih panjang dari 80 menit perlu dihindari untuk menjaga efisiensi proses produksi biodiesel.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan variasi dalam nilai kalor bahan pada berbagai waktu reaksi. Terlihat bahwa beberapa hasil memiliki nilai kalor yang mendekati target yang ditetapkan (39.24 MJ/KG), sementara yang lain memiliki perbedaan yang lebih besar. Hasil ini mungkin mengindikasikan bahwa waktu reaksi memiliki pengaruh terhadap nilai kalor bahan bakar ini.

3.2. Statistika regresi

Hasil analisis regresi ditunjukkan pada tabel 3, dimana berdasarkan statistik regresi menunjukkan bahwa waktu reaksi memiliki hubungan korelasi yang sangat lemah terhadap nilai kalor biodiesel, dengan nilai korelasi (Multiple R) sebesar 0,2636. Hal ini menunjukkan bahwa waktu reaksi bukanlah satu-satunya faktor yang menentukan kualitas energi biodiesel. Koefisien determinasi (*R Square*) sebesar 0,0695 mengindikasikan bahwa hanya 6,95% variabilitas nilai kalor biodiesel dapat dijelaskan oleh waktu reaksi, sementara 93,05% dipengaruhi oleh variabel lain seperti suhu reaksi, rasio molar bahan baku, atau jenis katalis yang digunakan. *Adjusted R Square* yang bernilai negatif (-0,2407) memperkuat bahwa model ini kurang relevan dalam memprediksi hubungan antara waktu reaksi dan nilai kalor. Standar error sebesar 1,1089 MJ/kg menunjukkan adanya penyimpangan yang signifikan antara nilai prediksi dengan data aktual, mengindikasikan bahwa hasil model kurang presisi.

Studi oleh (Febriana et al., 2020; Hsiao et al., 2021), telah menunjukkan bahwa suhu reaksi, jumlah katalis, dan rasio molar minyak terhadap metanol berkontribusi besar terhadap keberhasilan transesterifikasi dalam meningkatkan nilai kalor biodiesel. Selain itu, penelitian (Aboelazayem et al., 2018; Oyedoh et al., 2022) menekankan pentingnya kontrol suhu dan rasio bahan dalam memastikan hasil biodiesel dengan energi yang optimal. Dalam konteks ini, data yang digunakan dalam penelitian ini hanya mencakup lima observasi, sehingga keterbatasan jumlah data dapat memengaruhi validitas hasil regresi. Temuan ini menunjukkan bahwa waktu reaksi berkontribusi terhadap proses transesterifikasi, tetapi dampaknya terhadap nilai kalor cenderung kecil jika dibandingkan dengan variabel lain yang lebih signifikan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dengan melibatkan lebih banyak data dan variabel tambahan diperlukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang faktor-faktor yang memengaruhi nilai kalor biodiesel.

Tabel 3. Hasil statistik regresi

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.263647548
R Square	0.069510029
Adjusted R Square	-0.240653294
Standard Error	1.10886729
Observations	5

3.3. Analysis of variance

Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa pengaruh waktu reaksi terhadap nilai kalor biodiesel tidak signifikan secara statistik, sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 4. Nilai Significance F sebesar 0,6682 jauh lebih besar dari ambang signifikansi 0,05, yang berarti bahwa hubungan antara waktu reaksi dan nilai kalor tidak cukup kuat untuk dianggap signifikan. Selain itu, nilai F-statistik sebesar 0,2241 yang lebih kecil dari nilai kritis mengindikasikan bahwa variabel waktu reaksi memiliki kontribusi yang lemah terhadap variabilitas nilai kalor biodiesel. Total variabilitas dalam nilai kalor yang dijelaskan oleh model regresi (Sum of Squares untuk regresi) hanya sebesar 0,2756, dibandingkan dengan variabilitas residual sebesar 3,6888. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar variasi dalam nilai kalor biodiesel tidak dapat dijelaskan oleh waktu reaksi saja.

Koefisien regresi untuk variabel independen sebesar 0,0166 dengan nilai P sebesar 0,6682 mendukung temuan bahwa hubungan tersebut tidak signifikan. Studi terdahulu oleh (Alkhafaje et al., 2020; Mohadesi et al., 2019), menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti suhu reaksi, jumlah katalis, dan rasio molar minyak terhadap alkohol memiliki pengaruh yang jauh lebih signifikan terhadap nilai kalor biodiesel dibandingkan waktu reaksi. Dalam konteks ini, hasil ANOVA menunjukkan perlunya mempertimbangkan variabel tambahan untuk mendapatkan pemodelan yang lebih akurat. Kesimpulannya, meskipun waktu reaksi memiliki pengaruh terhadap nilai kalor biodiesel, pengaruh tersebut sangat lemah dan tidak signifikan tanpa mempertimbangkan faktor-faktor lain yang lebih dominan.

Tabel 4. Anova

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	0.27556	0.27556	0.22410783	0.668244036
Residual	3	3.68876	1.229586667		
Total	4	3.96432			

Hasil regresi linier menunjukkan bahwa waktu reaksi memiliki pengaruh kecil terhadap nilai kalor biodiesel tabel 5. Koefisien regresi sebesar 0,02 menunjukkan peningkatan nilai kalor sebesar 0,02 MJ/kg untuk setiap tambahan satu menit waktu reaksi. Nilai P sebesar 0,67 mengindikasikan bahwa hubungan ini tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Selain itu, interval kepercayaan 95% untuk koefisien waktu reaksi mencakup nol (-0,09 hingga 0,13), yang semakin menguatkan ketidaksignifikanan hubungan ini. Intersep sebesar 38,58 menunjukkan nilai kalor awal, namun nilai ini hanya bersifat matematis dan tidak memiliki relevansi fisik karena waktu reaksi nol menit tidak menghasilkan biodiesel. Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya yang menyatakan bahwa waktu reaksi bukanlah faktor utama yang memengaruhi nilai kalor biodiesel. Faktor lain seperti suhu reaksi, jumlah katalis, dan rasio molar minyak terhadap metanol kemungkinan memiliki pengaruh yang lebih signifikan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu mempertimbangkan variabel tambahan untuk meningkatkan akurasi model prediksi nilai kalor biodiesel.

Tabel 5. Regresi linier

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	38.58	2.85	13.54	0.00	29.51	47.64	29.51	47.64
X Variable 1	0.02	0.04	0.47	0.67	-0.09	0.13	-0.09	0.13

Berdasarkan tabel diatas diperoleh persamaan fungsi regresi linier antara yaitu:

$$Y = 38 + 0,02X_1 \tag{2}$$

Persamaan regresi linier $Y=38+0,02X_1$ menunjukkan hubungan antara waktu reaksi (X_1) dan nilai kalor biodiesel (Y). Koefisien intersep sebesar 38 mengindikasikan nilai kalor biodiesel saat waktu reaksi bernilai nol. Namun, nilai ini hanya bersifat teoretis karena waktu reaksi nol menit tidak relevan dalam proses transesterifikasi. Koefisien regresi 0,02 menunjukkan bahwa setiap penambahan satu menit waktu reaksi akan meningkatkan nilai kalor biodiesel sebesar 0,02 MJ/kg. Hal ini mengindikasikan pengaruh waktu reaksi terhadap nilai kalor biodiesel, meskipun dampaknya sangat kecil.

Hasil regresi ini mencerminkan hubungan positif antara waktu reaksi dan nilai kalor, namun hubungan tersebut tidak signifikan. Nilai P-value yang tinggi pada hasil regresi sebelumnya mendukung bahwa pengaruh waktu reaksi terhadap nilai kalor tidak signifikan secara statistik. Interval kepercayaan koefisien regresi mencakup nilai nol, yang semakin menegaskan bahwa waktu reaksi bukan satu-satunya faktor utama yang memengaruhi nilai kalor.

Persamaan regresi ini cocok digunakan untuk memperkirakan nilai kalor biodiesel dalam rentang waktu tertentu. Namun, akurasi model ini terbatas karena variabel independen lain, seperti suhu reaksi, jumlah katalis, dan rasio molar bahan baku, tidak dimasukkan dalam analisis. Studi sebelumnya yang menekankan bahwa variabel-variabel tersebut lebih dominan dalam menentukan keberhasilan transesterifikasi.

Kesimpulannya, meskipun persamaan regresi ini memberikan gambaran tentang hubungan waktu reaksi dan nilai kalor, model ini perlu dikembangkan lebih lanjut. Penambahan variabel-variabel lain yang relevan diperlukan untuk meningkatkan akurasi prediksi dan pemahaman tentang faktor-faktor yang memengaruhi kualitas biodiesel.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa waktu reaksi memiliki pengaruh kecil terhadap nilai

kalor biodiesel. Koefisien regresi sebesar 0,02 menunjukkan peningkatan nilai kalor sebesar 0,02 MJ/kg setiap menit. Namun, hasil analisis statistik menunjukkan hubungan ini tidak signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 95%. Faktor lain, seperti suhu reaksi, jumlah katalis, dan rasio molar bahan baku, mungkin memiliki pengaruh lebih besar dibandingkan waktu reaksi. Berdasarkan data, waktu reaksi optimal adalah 80 menit, karena menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 41,35 MJ/kg. Penurunan nilai kalor setelah 80 menit kemungkinan disebabkan oleh reaksi berlebihan yang mengurangi efisiensi produksi.

Penelitian selanjutnya perlu melibatkan variabel tambahan seperti suhu reaksi, jumlah katalis, dan rasio molar bahan baku. Jumlah observasi dalam penelitian ini juga perlu ditingkatkan untuk meningkatkan validitas hasil regresi. Selain itu, analisis optimasi menggunakan metode lain, seperti analisis respons permukaan, dapat dilakukan untuk menemukan kombinasi variabel yang lebih optimal. Penggunaan model prediksi yang lebih kompleks juga direkomendasikan untuk memahami pengaruh faktor-faktor lain terhadap nilai kalor biodiesel. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi peningkatan kualitas dan efisiensi produksi biodiesel.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Muhammad Idris, ST.,MT., selaku dosen dan pembimbing, kepada Ahmad Fikron dan Tim Peneliti Biodiesel PSTM tahun 2023 yang telah berkenan membantu hingga penelitian selesai. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh rekan-rekan yang telah bekerja keras untuk menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Aboelazayem, O., M. Gadalla, dan B. Saha. 2018. "Valorisation of High Acid Value Waste Cooking Oil into Biodiesel Using Supercritical Methanolysis: Experimental Assessment and Statistical Optimisation on Typical Egyptian Feedstock." *Energy* 162: 408–420. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.194>.
- Alkhafaje, Z. A., A. K. Mohammed, dan I. M. Rashid. 2020. "Development of Two-Step Noncatalytic Esterification of Waste Cooking Oil for Biodiesel Preparation." *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis* 131 (2): 645–659. <https://doi.org/10.1007/s11144-020-01873-x>.
- Andalia, Winny, dan Irnanda Pratiwi. 2018. "Kinerja Katalis NaOH dan KOH Ditinjau dari Kualitas Produk Biodiesel yang Dihasilkan dari Minyak Goreng Bekas." *Jurnal Tekno Global* 7 (1): 32–36.
- Aziz, Isalmi. 2010. "Uji Performance Mesin Diesel Menggunakan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas." *Jurnal Kimia VALENSI* 1 (6).
- Chairul Fahmi, Muhamamad, and Muhammad Idris. 2024. "Experimental Study of Cetane Numbers Produced from Waste Cooking Oil". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1):101-7. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.102>.
- Febriana, I., M. Aneasari, K. Ridwan, dan T. Jauhari. 2020. "Study of the Effect of Calcium Oxide (CaO) Catalyst Derived from Blood Clam (*Anadara Granosa*) and Reaction Time to Quality of Biodiesel from Waste Cooking Oil." *Journal of Physics: Conference Series* 1500 (1): 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012045>.
- Hussein, Muhammad, and Muhammad Idris. 2024. "Experimental Studies of Flame Points and Biodiesel Viscosity Produced from Waste Cooking Oil". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1):86-92. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.101>.
- Hsiao, M.-C., P.-H. Liao, N. V. Lan, dan S.-S. Hou. 2021. "Enhancement of Biodiesel Production from High-Acid-Value Waste Cooking Oil via a Microwave Reactor Using a Homogeneous

- Alkaline Catalyst." *Energies* 14 (2): 437. <https://doi.org/10.3390/en14020437>.
- Idris, Muhammad, Zakir Husin, Zainal Arif, Iskandar Yakoeb, dan Supriadi. 2024. "Transesterification Reaction Time Impacts on Oxidation Stability and Acid Number of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil." *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin* 5 (2): 337–342. <https://doi.org/10.37373/jttm.v5i2.1220>.
- Idris, Muhammad, Zakir Husin, Zainal Arif, Iskandar Yakoeb, Supriadi, dan Randa Pratama. 2023. "Engine Performance Using Blended Fuels of Biodiesel and Eco Diesel." *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering* 120 (1): 107–123.
- Indra Darmawan, Ferry, dan I. Wayan Susila. 2013. "Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Pencucian Dry-Wash Sistem I Wayan Susila." *Mahasiswa Universitas Negeri Surabaya* 02: 80–87.
- Kolakoti, Aditya, dan G. Satish. 2020. "Biodiesel Production from Low-Grade Oil Using Heterogeneous Catalyst: An Optimisation and ANN Modelling." *Australian Journal of Mechanical Engineering* 00 (00): 1–13.
- Mishra, V. K., dan R. J. B. Goswami. 2018. "A Review of Production, Properties and Advantages of Biodiesel." *Journal of Biofuels* 9 (2): 273–289.
- Mohadesi, M., B. Aghel, M. Maleki, dan A. Ansari. 2019. "Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil Using a Homogeneous Catalyst: Study of Semi-Industrial Pilot of Microreactor." *Renewable Energy* 136: 677–682. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.039>.
- Nurulita, B., T. B. Nur, A. S. Silitonga, J. Milano, dan M. A. Siregar. 2023. "Effect of Concentration Catalyst in Production and Physicochemical Properties of Frying Cooking Oil and Neem Oil Mixture." *Journal of Industrial Technology* 5 (1): 29–38.
- Oyedoh, E. A., G. U. Okoduwa, G. O. Madojemu, dan C. E. Akhabue. 2022. "Production of Biodiesel from the Transesterification of Waste Cooking Oil Using Biobased Sulphonated Catalyst Prepared from Coconut Shells." *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* 26 (12): 1977–1987. <https://doi.org/10.4314/jasem.v26i12.12>.
- Rahardja, Istianto Budhi, Sukarman, dan Anwar Ilman Ramadhan. 2019. "Analisis Kalori Biodiesel Crude Palm Oil (CPO) dengan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS)." *Jurnal UMJ* 3: 1–12.
- Saravanan, Azhaham Perumal, dan rekan-rekan. 2018. "Biofuel Policy in India: A Review of Policy Barriers in Sustainable Marketing of Biofuel." *Journal of Cleaner Production* 193: 734–747.
- Sinaga, Shilvia Vera, Agus Haryanto, dan Sugeng Triyono. 2014. "Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah." *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* 3 (1): 27–34.
- Sitinjak, Sapriadi, and Muhammad Idris. 2024. "Experimental Study of Density and Iodine Number of Biodiesel in Production from Waste Cooking Oil". *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1):66-71. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.100>.