

Korelasi Sifat Fisik Biodiesel Campuran *Jatropha* - Kedelai: Densitas, Viskositas, Titik Nyala dan Nilai Kalor

Wahyudi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta,
Indonesia,

Email: wahyudi@ft.umy.ac.id

Abstract

*The physical properties of biodiesel—such as density, viscosity, flash point, and calorific value—play a crucial role in determining its combustion performance, safety, and compatibility with diesel engines. This study aims to evaluate the correlation between these physical properties in biodiesel blends derived from various ratios of *jatropha* and soybean oil. Biodiesel was produced using standard esterification and transesterification processes. Each sample was then tested using ASTM-standard methods to determine density, viscosity, flash point, and higher heating value (HHV). The results revealed strong linear correlations among the measured parameters. Density exhibited a positive correlation with viscosity ($R^2 = 0.8834$) and flash point ($R^2 = 0.9655$), but a negative correlation with HHV ($R^2 = 0.8312$). Additionally, flash point was positively correlated with HHV ($R^2 = 0.8416$). These findings confirm that the blend ratio significantly influences biodiesel properties and that increasing soybean content improves heating value while reducing viscosity. The established correlations provide a scientific basis for formulating biodiesel blends that optimize combustion efficiency, enhance engine performance, and ensure safe handling and storage, thereby supporting more sustainable energy solutions.*

Keywords: Biodiesel, *Jatropha*, Soybean, Physical Properties.

Abstrak

Sifat fisik biodiesel seperti densitas, viskositas, titik nyala, dan nilai kalor memainkan peran penting dalam menentukan kinerja pembakaran, keamanan, serta kompatibilitasnya dengan mesin diesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi korelasi antara sifat-sifat fisik tersebut pada campuran biodiesel yang dihasilkan dari berbagai rasio minyak *jatropha* dan minyak kedelai. Produksi biodiesel dilakukan melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi standar. Setiap sampel kemudian diuji menggunakan metode uji standar ASTM untuk menentukan densitas, viskositas, titik nyala, dan nilai kalor (higher heating value/HHV). Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi linier yang kuat antar parameter yang diuji. Densitas menunjukkan korelasi positif dengan viskositas ($R^2 = 0,8834$) dan titik nyala ($R^2 = 0,9655$), namun berkorelasi negatif dengan nilai kalor ($R^2 = 0,8312$). Selain itu, titik nyala juga menunjukkan korelasi positif dengan nilai kalor ($R^2 = 0,8416$). Temuan ini menegaskan bahwa rasio pencampuran bahan baku secara signifikan memengaruhi sifat fisik biodiesel, di mana peningkatan proporsi minyak kedelai dapat meningkatkan nilai kalor dan menurunkan viskositas. Korelasi yang diperoleh memberikan dasar ilmiah dalam perumusan campuran biodiesel yang optimal untuk meningkatkan efisiensi pembakaran, kinerja mesin, dan keamanan penyimpanan, serta mendukung solusi energi berkelanjutan.

Kata Kunci: Biodiesel, *Jatropha*, Kedelai, Sifat Fisik.

1. PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan alternatif bahan bakar fosil yang semakin mendapatkan perhatian seiring dengan peningkatan kebutuhan energi dan penipisan cadangan bahan bakar fosil (Deshmukh et al., 2021; Haregu et al., 2023). Biodiesel memiliki beberapa keunggulan, seperti sifat yang lebih mudah terurai secara biologis dan emisi gas rumah

kaca yang lebih rendah (Xu et al., 2022). Namun, salah satu tantangan utama penggunaan biodiesel adalah bahwa banyak bahan baku yang digunakan merupakan bahan pangan (Ramos et al., 2019). Penggunaan biodiesel telah meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir sebagai respons terhadap kebutuhan akan sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan (Hoekman et al., 2012). Namun, peningkatan produksi biodiesel yang menggunakan bahan baku pangan seperti minyak sawit telah menimbulkan kekhawatiran tentang keamanan pangan dan kenaikan harga pangan (Che Hamzah et al., 2020). Oleh karena itu, penelitian tentang penggunaan bahan baku non-pangan seperti minyak *jatropha* menjadi sangat relevan untuk mengatasi tantangan ini (Abobatta, 2021).

Salah satu bahan baku non-pangan yang potensial untuk produksi biodiesel adalah minyak *jatropha*, yang memiliki keunggulan dapat tumbuh di lahan marginal dan tahan terhadap kekeringan (Abobatta, 2021; Hao et al., 2022). Kemampuan ini memungkinkan pemanfaatan lahan yang tidak cocok untuk pertanian pangan, sehingga mendukung produksi biodiesel berkelanjutan tanpa mengganggu pasokan pangan (Che Hamzah et al., 2020). Selain itu, kandungan minyak dalam biji *jatropha* cukup tinggi, berkisar antara 30–40%, dan proses ekstraksinya relatif mudah. Namun, minyak *jatropha* menghadapi tantangan berupa viskositas tinggi, yang dapat mengganggu atomisasi bahan bakar, dan nilai kalor rendah, yang berpotensi menurunkan efisiensi pembakaran (Wahyudi et al., 2020; Ennetta et al., 2022). Oleh karena itu, pencampuran dengan minyak lain, seperti minyak kedelai atau jelantah, diperlukan untuk memperbaiki sifat-sifat fisik biodiesel, seperti viskositas dan densitas, agar memenuhi standar yang ditetapkan (Wahyudi & Krisdiyanto, 2022).

Di sisi lain, minyak kedelai dipilih sebagai campuran dengan minyak *jatropha* karena memiliki viskositas yang lebih rendah dan nilai kalor yang lebih tinggi (Özener et al., 2014; Gangolu et al., 2022). Viskositas yang rendah pada minyak kedelai memudahkan atomisasi bahan bakar, yang penting untuk efisiensi pembakaran dalam mesin diesel (Özener et al., 2014). Selain itu, nilai kalor yang tinggi pada minyak kedelai berkontribusi pada peningkatan efisiensi pembakaran dan performa mesin (Gangolu et al., 2022). Sifat-sifat unggul ini menjadikan minyak kedelai sebagai pilihan yang tepat untuk dicampur dengan minyak *jatropha*, yang memiliki viskositas tinggi dan nilai kalor rendah, guna menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang lebih baik (Wahyudi et al., 2020).

Sifat fisik bahan bakar seperti viskositas, densitas, nilai kalor dan titik nyala, merupakan parameter kualitas yang penting dalam menentukan kinerja dan keefisienan bahan bakar (Hoekman et al., 2012; Suzihaque et al., 2022). Viskositas mempengaruhi atomisasi bahan bakar dan pembentukan campuran udara-bahan bakar, densitas berhubungan dengan massa bahan bakar yang disuplai untuk pembakaran, nilai kalor menentukan potensi energi yang dapat dilepaskan, sedangkan titik nyala berkaitan dengan keamanan penyimpanan dan penggunaan bahan bakar. Sifat-sifat fisik tersebut saling berkorelasi satu sama lain (Wahyudi & Krisdiyanto, 2022). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi komposisi campuran biodiesel *jatropha* – kedelai terhadap sifat-sifat fisik biodiesel yang dihasilkan dan korelasi antar sifat fisiknya .

Pencampuran minyak *jatropha* dan minyak kedelai diharapkan dapat menghasilkan biodiesel dengan sifat fisik yang lebih seimbang, mencakup viskositas yang lebih rendah, nilai kalor yang lebih tinggi, serta titik nyala dan densitas yang sesuai dengan standar mutu bahan bakar. Kombinasi kedua bahan baku ini juga memberikan peluang untuk mengatasi keterbatasan masing-masing secara teknis dan keberlanjutan. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis korelasi antara sifat fisik utama biodiesel, yaitu densitas, viskositas, titik nyala, dan nilai kalor, yang

dihasilkan dari campuran biodiesel jatropha dan kedelai dalam berbagai rasio. Pemahaman terhadap hubungan antar parameter ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam formulasi biodiesel yang optimal untuk efisiensi energi dan keamanan aplikasi di mesin diesel.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, dimulai dari persiapan bahan baku, produksi biodiesel, hingga pengujian sifat fisik biodiesel. Bahan baku yang digunakan adalah minyak jarak (*Jatropha curcas*) dan minyak kedelai, serta bahan kimia seperti metanol (99% kemurnian), asam sulfat (H_2SO_4), dan kalium hidroksida (KOH) sebagai katalis. Produksi biodiesel dilakukan melalui dua tahap reaksi kimia, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Biodiesel yang terbentuk kemudian dicuci dan dikeringkan untuk memperoleh metil ester murni. Setelah itu, setiap sampel diuji sifat fisiknya, meliputi densitas, viskositas, nilai kalor dan titik nyala. Setiap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh komposisi bahan baku terhadap parameter fisik biodiesel.

2.2 Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan minyak jarak dan minyak kedelai sebagai bahan baku utama untuk produksi biodiesel. Minyak jarak diperoleh dari tanaman *Jatropha curcas* yang dibudidayakan di Yogyakarta, Indonesia, sementara minyak kedelai diperoleh dari pasar lokal. Selain itu, bahan kimia yang digunakan dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi meliputi metanol dengan kemurnian 99% dan katalis asam sulfat (H_2SO_4) serta kalium hidroksida (KOH). Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini termasuk reaktor biodiesel, viskometer NDj 8 S, timbangan digital Fujitsu FS-AR210, dan bomb kalorimeter Parr 6050.

2.3 Proses Produksi Biodiesel

Proses produksi biodiesel dilakukan melalui dua tahap utama: esterifikasi dan transesterifikasi. Pada tahap pertama, minyak jarak dan minyak kedelai dicampur dalam berbagai komposisi dan dipanaskan hingga suhu $90^{\circ}C$ sambil diaduk selama 60 menit. Esterifikasi dilakukan dengan menambahkan metanol sebesar 22,5% dari volume minyak yang telah dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4) sebesar 0,5% dari volume minyak dan menjaga suhu pada $60^{\circ}C$ selama satu jam. Setelah itu, campuran didiamkan selama 12 jam untuk memisahkan gliserol dari minyak. Minyak yang terpisah kemudian dicuci dengan air pada suhu $65^{\circ}C$, diikuti dengan pengeringan pada suhu $105^{\circ}C$ untuk menghilangkan sisa air.

Tahap kedua adalah transesterifikasi, yang melibatkan reaksi antara produk esterifikasi dan metanol (sebesar 15% dari volume minyak) yang telah dicampur dengan katalis basa kalium hidroksida (KOH) sebesar 1% dari volume minyak. Proses ini dilakukan pada suhu $60^{\circ}C$ selama satu jam. Produk yang dihasilkan kemudian dicuci dan dikeringkan untuk mendapatkan biodiesel murni atau metil ester.

2.4 Pengujian Sifat Fisik

Setiap sampel biodiesel diuji untuk menentukan sifat fisiknya, termasuk densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala. Pengukuran densitas dilakukan dengan menimbang 50 ml sampel pada suhu $40^{\circ}C$ menggunakan timbangan digital Fujitsu FS-AR210. Viskositas pada suhu $40^{\circ}C$ diukur menggunakan viskometer NDj 8 S. Pengujian nilai

kalor dilakukan sesuai metode ASTM D 240 - 02 menggunakan bomb kalorimeter Parr 6050. Titik nyala ditentukan menggunakan metode Cleveland Open Cup.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kandungan Asam Lemak pada Minyak Jatropha dan Minyak Kedelai

Tabel 1 menunjukkan kandungan asam lemak utama dari minyak jatropha dan minyak kedelai. Minyak jatropha didominasi oleh asam cis-11,14,17-eicosatrienoic (C22:3) dengan proporsi 87,19%, sedangkan minyak kedelai didominasi oleh asam methyl lenoleate (C18:2) sebesar 50,82% dan asam cis-9-oleic (C18:1) sebesar 20,66%. Kandungan asam lemak ini sangat mempengaruhi sifat fisik biodiesel yang dihasilkan, seperti densitas, viskositas, dan nilai kalor. Asam lemak dengan rantai karbon yang lebih panjang dan lebih banyak ikatan rangkap cenderung meningkatkan viskositas dan titik nyala, namun dapat menurunkan nilai kalor.

Minyak jatropha, dengan kandungan asam lemak yang lebih kompleks dan rantai karbon yang panjang, memiliki densitas dan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan minyak kedelai (Wahyudi et al., 2020). Sebaliknya, minyak kedelai dengan kandungan asam lemak rantai sedang lebih cenderung memiliki viskositas yang lebih rendah dan nilai kalor yang lebih tinggi. Komposisi ini menunjukkan bahwa pencampuran kedua minyak ini dapat menghasilkan biodiesel dengan sifat fisik yang lebih seimbang dan optimal.

Tabel 1. Kandungan asam lemak pada minyak jatropha dan minyak kedelai

No	Asam lemak	Singkatan	Minyak Jatropha	Minyak Kedelai
1	Methyl Butyrate	C4:0	-	9.37
2	Methyl Palmitate	C16:0	1.2	10.09
3	Methyl Octadecanoate	C18:0	-	2.7
4	Cis-9-Oleic Methyl ester	C18:1	9.82	20.66
5	Lenolelaidic Acid Methyl Ester	C18:2	1.42	-
6	Methyl Lenoleate	C18:2	-	50.82
7	Methyl Lenolenate	C18:3	-	0.21
8	Gamma-lenolenic Acid Methyl Ester	C18:3	-	0.26
9	Methyl Arachidate	C20:0	-	0.15
10	Methyl Cis-11-eicocenoate	C20:1	-	5.38
11	Methyl Docosanoate	C22:0	-	0.36
12	cis-11 14 17-eicosatrienoic acid methyl ester	C22:3	87.19	-

3.2. Sifat Fisik Campuran Biodiesel Jatropha dan Kedelai

Tabel 2 menyajikan sifat fisik biodiesel hasil campuran minyak jatropha dan minyak kedelai pada berbagai rasio komposisi. Data menunjukkan bahwa densitas biodiesel cenderung menurun seiring dengan meningkatnya proporsi minyak kedelai, yaitu dari 907,48 kg/m³ pada komposisi 100% jatropha menjadi 862,95 kg/m³ pada komposisi 100% kedelai. Tren ini sejalan dengan literatur yang menjelaskan bahwa minyak dengan rantai karbon lebih panjang dan tingkat ketidakjenuhan lebih tinggi, seperti jatropha, memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan minyak dengan rantai karbon lebih pendek seperti kedelai (Hoekman et al., 2012). Densitas yang lebih rendah pada campuran dengan proporsi kedelai yang lebih tinggi berpotensi meningkatkan efisiensi penyemprotan bahan bakar dalam mesin diesel.

Tabel 2. Sifat fisik campuran biodiesel jatropha dan kedelai

Komposisi campuran	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)	Nilai kalor (MJ/kg)	Titik nyala (° C)
100% jatropha	907,48	20,3	36,79	215,00
90% jatropha	905,84	19,2	36,94	207,33
80% jatropha	889,03	10,7	37,39	201,67
70% jatropha	884,67	9,3	37,65	197,00
60% jatropha	877,88	9,1	37,83	195,47
50% jatropha	873,44	9,4	37,55	191,90
40% jatropha	872,33	7,9	38,48	189,97
30% jatropha	869,47	7,1	38,99	189,37
20% jatropha	865,96	7,2	38,93	187,50
10% jatropha	864,67	7,6	39,07	186,60
100 % kedelai	862,95	7,7	39,45	183,00

Viskositas kinematik biodiesel juga mengalami penurunan signifikan dengan peningkatan kandungan minyak kedelai, dari 20,3 cSt pada 100% jatropha menjadi 7,7 cSt pada 100% kedelai. Penurunan ini memberikan keuntungan penting dalam meningkatkan atomisasi bahan bakar dan efisiensi pembakaran di ruang bakar, sebagaimana didukung oleh penelitian Özener et al. (2014) yang menunjukkan bahwa viskositas rendah pada biodiesel kedelai mendukung performa mesin diesel.

Nilai kalor biodiesel cenderung meningkat dengan bertambahnya proporsi minyak kedelai, yaitu dari 36,789 MJ/kg pada 100% jatropha menjadi 39,467 MJ/kg pada 100% kedelai. Peningkatan ini mencerminkan kandungan energi yang lebih tinggi, yang dapat berkontribusi pada performa mesin yang lebih baik. Hal ini konsisten dengan temuan Gangolu et al. (2022), yang melaporkan bahwa biodiesel kedelai memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan biodiesel dari minyak non-pangan.

Titik nyala menunjukkan tren penurunan dari 215°C pada komposisi 100% jatropha menjadi 183°C pada 100% kedelai. Penurunan titik nyala ini menunjukkan bahwa campuran dengan proporsi minyak kedelai yang lebih tinggi memiliki volatilitas yang lebih besar, sehingga lebih mudah terbakar pada suhu yang lebih rendah. Tren ini didukung oleh Ennetta et al. (2022), yang menyatakan bahwa biodiesel dengan rantai karbon lebih pendek cenderung memiliki titik nyala yang lebih rendah.

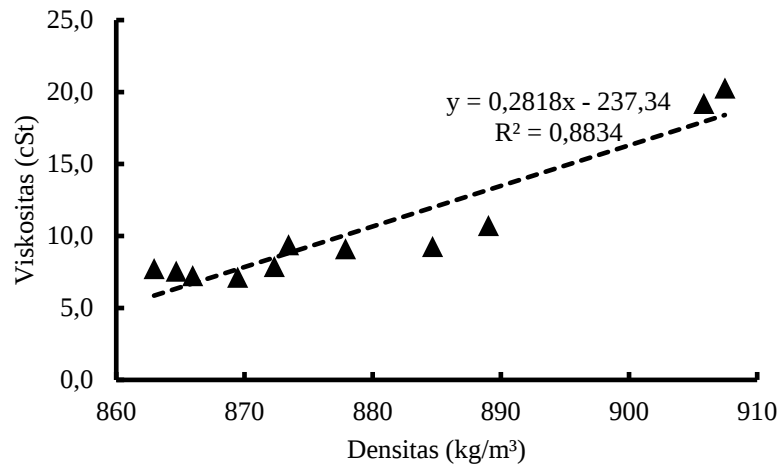
Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa pencampuran minyak jatropha dan minyak kedelai dapat menghasilkan biodiesel dengan sifat fisik yang lebih baik dan seimbang. Pencampuran ini mampu mengurangi viskositas dan meningkatkan nilai kalor, sambil mempertahankan densitas dan titik nyala yang sesuai dengan standar biodiesel.

3.3. Korelasi Antara Densitas dan Viskositas

Hubungan antara densitas dan viskositas campuran biodiesel jatropha dan kedelai ditampilkan pada Gambar 1, yang menunjukkan adanya korelasi linier positif. Peningkatan densitas seiring dengan peningkatan proporsi minyak jatropha dalam campuran diikuti oleh kenaikan viskositas. Hal ini mencerminkan karakteristik molekular minyak jatropha, yang memiliki rantai karbon lebih panjang dan tingkat ketidakjenuhan lebih tinggi dibandingkan minyak kedelai. Parameter ini diketahui berkontribusi pada peningkatan viskositas dan densitas bahan bakar (Kumbhar et al., 2022; Lanjekar & Deshmukh, 2016; Maksom et al., 2020).

Persamaan regresi yang diperoleh untuk hubungan ini adalah “viskositas = 0.2818 * densitas - 237.34”, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.8834. Nilai R^2 yang tinggi mengindikasikan bahwa model linier ini sangat baik dalam memprediksi hubungan

antara densitas dan viskositas dalam campuran biodiesel. Data ini konsisten dengan literatur sebelumnya yang menyatakan bahwa densitas yang lebih tinggi pada minyak dengan rantai karbon panjang sering kali diiringi viskositas yang lebih besar (Ennetta et al., 2022; Hoang, 2021).

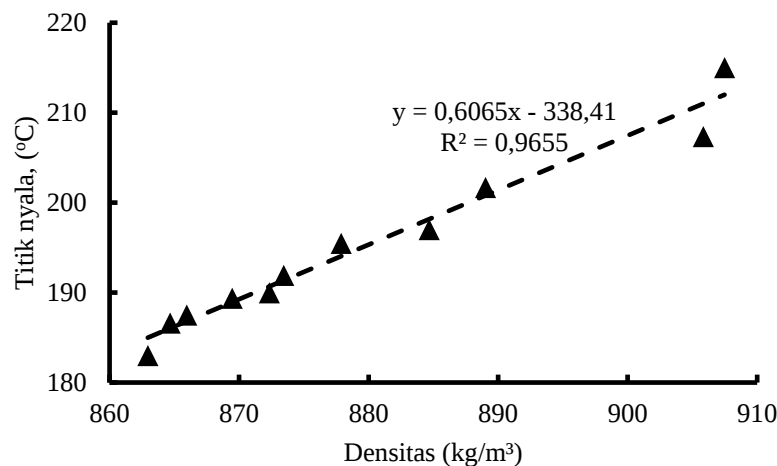


Gambar 1. Korelasi antara densitas dan viskositas.

Dampak viskositas terhadap performa biodiesel sangat signifikan, khususnya pada proses atomisasi dan penyemprotan bahan bakar di dalam ruang bakar mesin diesel. Viskositas yang lebih tinggi cenderung menyebabkan atomisasi yang kurang efisien, menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna serta peningkatan emisi gas buang. Oleh karena itu, penurunan viskositas melalui peningkatan proporsi minyak kedelai dalam campuran dapat mendukung efisiensi pembakaran.

Selain itu, densitas bahan bakar memengaruhi jumlah massa bahan bakar yang disemprotkan ke ruang bakar per unit volume. Densitas yang lebih tinggi menghasilkan massa bahan bakar lebih besar, yang dapat memengaruhi rasio bahan bakar-udara dan efisiensi pembakaran. Dengan korelasi ini, formulasi biodiesel dapat dioptimalkan untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi bahan bakar, kualitas atomisasi, dan performa mesin yang optimal.

3.4. Korelasi Antara Densitas dan Flash Point



Gambar 2. Korelasi antara densitas dan titik nyala.

Hubungan antara densitas dan titik nyala biodiesel hasil campuran minyak jatropha dan kedelai ditampilkan pada Gambar 2. Korelasi linier positif terlihat jelas, di mana peningkatan densitas diiringi oleh kenaikan titik nyala. Tren ini menunjukkan bahwa campuran dengan proporsi minyak jatropha lebih tinggi cenderung memiliki densitas dan titik nyala yang lebih besar. Hal ini sejalan dengan karakteristik molekul minyak jatropha yang memiliki rantai karbon panjang dan tingkat ketidakjenuhan tinggi, yang diketahui meningkatkan titik nyala.

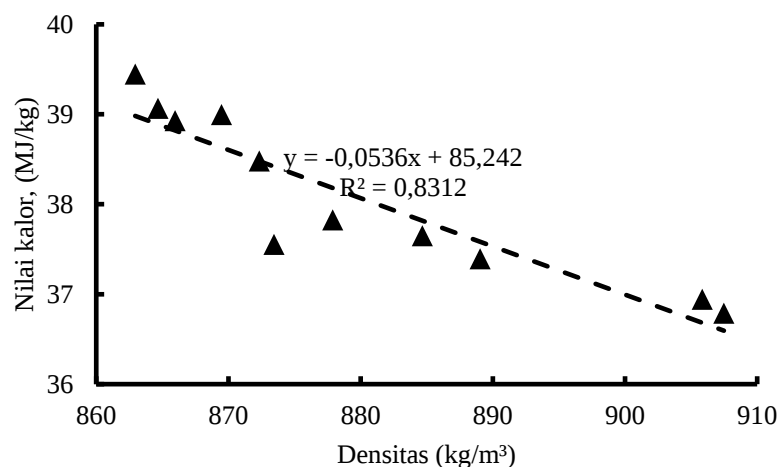
Persamaan regresi yang diperoleh dari data penelitian adalah “flash point = $0.6065 * \text{densitas} - 338.41$ ”, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.9655, yang menunjukkan tingkat prediktabilitas yang sangat baik. Tren ini mendukung literatur yang menyatakan bahwa biodiesel dengan densitas lebih tinggi cenderung memiliki volatilitas lebih rendah, sehingga memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk memulai pembakaran (Ennetta et al., 2022).

Titik nyala adalah parameter kritis dalam menentukan keamanan penyimpanan dan transportasi bahan bakar (Acharya et al., 2019). Titik nyala yang lebih tinggi pada campuran dengan proporsi minyak jatropha yang dominan mengindikasikan stabilitas termal yang lebih baik. Ini berarti biodiesel menjadi lebih aman untuk disimpan dan diangkut karena risiko kebakaran akibat penyalaaan spontan pada suhu rendah dapat diminimalkan.

3.5. Korelasi Antara Densitas dan Nilai Kalor

Korelasi antara densitas dan nilai kalor campuran biodiesel jatropha dan kedelai ditampilkan pada Gambar 3. Analisis menunjukkan hubungan linier negatif yang signifikan, di mana peningkatan densitas diiringi oleh penurunan nilai kalor. Hal ini menegaskan bahwa campuran dengan proporsi minyak jatropha lebih tinggi cenderung memiliki densitas yang lebih besar namun kandungan energi per unit massa yang lebih rendah dibandingkan campuran dengan proporsi minyak kedelai yang lebih dominan.

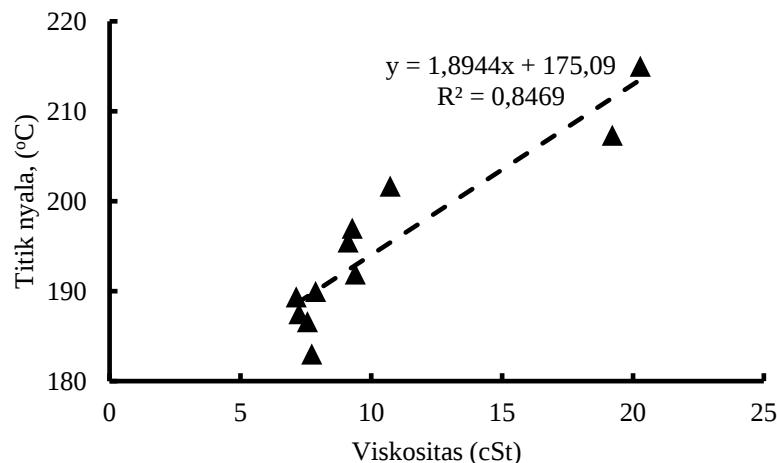
Persamaan regresi yang diperoleh dari data ini adalah “nilai kalor = $-0.0536 * \text{densitas} + 85.242$ ”, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.8312, yang menunjukkan bahwa model linier ini mampu memprediksi hubungan dengan tingkat akurasi yang baik. Temuan ini konsisten dengan literatur sebelumnya yang menyebutkan bahwa minyak dengan rantai karbon panjang dan tingkat ketidakjenuhan tinggi, seperti pada minyak jatropha, memiliki nilai kalor lebih rendah karena tingginya kandungan oksigen molekuler (Ramírez-Verduzco et al., 2012).



Gambar 3. Korelasi antara densitas dengan nilai kalor

Nilai kalor adalah parameter kritis yang mencerminkan kandungan energi bahan bakar. Biodiesel dengan nilai kalor yang lebih tinggi memberikan energi yang lebih besar selama proses pembakaran, yang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi mesin diesel. Penurunan nilai kalor dengan meningkatnya densitas dapat dihubungkan dengan karakteristik struktur molekul biodiesel jatropha, di mana tingginya kandungan oksigen menurunkan energi yang dihasilkan per unit massa.

3.6. Korelasi Antara Viskositas dan Titik Nyala



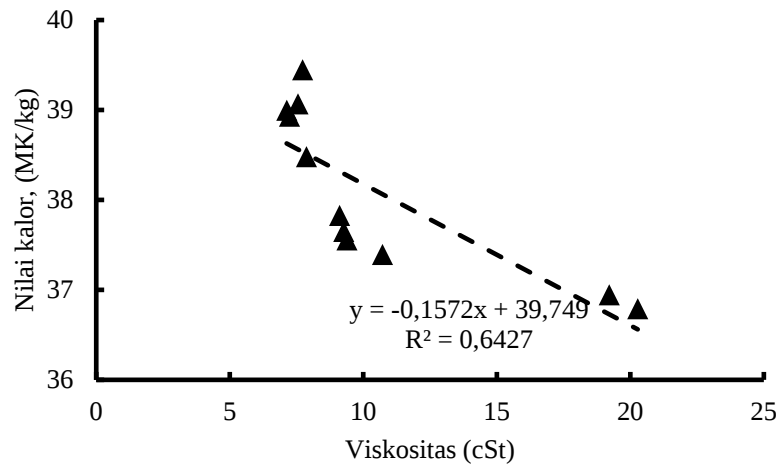
Gambar 4. Korelasi antara viskositas kinematik dan titik nyala

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara viskositas dan titik nyala dari campuran biodiesel jatropha dan kedelai pada berbagai komposisi. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa terdapat hubungan linier positif antara viskositas dan titik nyala, dimana peningkatan viskositas disertai dengan peningkatan titik nyala. Ini menunjukkan bahwa campuran dengan proporsi minyak jatropha yang lebih tinggi memiliki viskositas dan titik nyala yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang mengandung lebih banyak minyak kedelai. Hal ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa minyak dengan rantai karbon lebih panjang dan lebih banyak ikatan rangkap memiliki viskositas dan titik nyala yang lebih tinggi (Ennetta et al., 2022; Hoekman et al., 2012).

Persamaan regresi untuk hubungan ini adalah “flash point = $1.8944 \times \text{viskositas} + 175.09$ ”, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.8469. Nilai R^2 yang tinggi menunjukkan bahwa model ini memiliki akurasi yang baik dalam memprediksi hubungan antara viskositas dan titik nyala. Hasil ini mendukung literatur sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan viskositas sering kali berasosiasi dengan kestabilan termal yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan titik nyala bahan bakar (Constantino et al., 2019).

3.7. Korelasi Antara Viskositas dan Nilai Kalor

Hubungan antara viskositas dan nilai kalor campuran biodiesel jatropha dan kedelai ditampilkan pada Gambar 5. Analisis menunjukkan adanya korelasi linier negatif, di mana peningkatan viskositas seiring dengan proporsi minyak jatropha yang lebih tinggi menghasilkan penurunan nilai kalor. Hal ini mencerminkan sifat molekular minyak jatropha yang memiliki rantai karbon panjang dan tingkat ketidakjenuhan tinggi, yang cenderung meningkatkan viskositas tetapi mengurangi kandungan energi per unit massa (Hoekman et al., 2012).

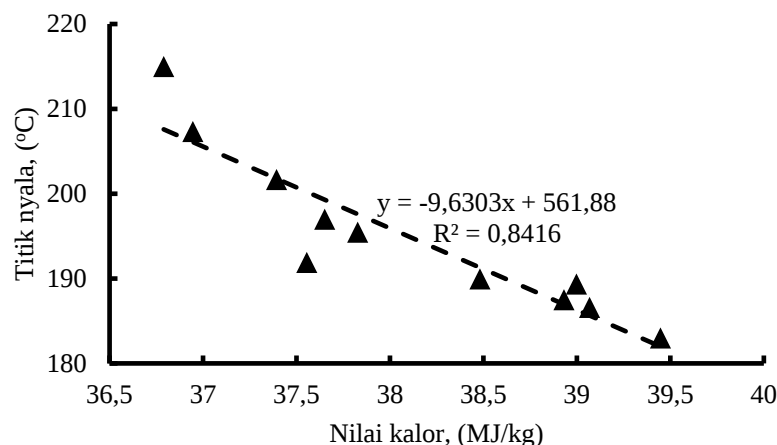


Gambar 5. Korelasi antara viskositas kinematik dan nilai kalor.

Persamaan regresi yang diperoleh adalah “nilai kalor = $-0.1572 \times \text{viskositas} + 39.749$ ”, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.6427, yang menunjukkan hubungan yang moderat namun signifikan antara kedua parameter tersebut. Tren ini mendukung literatur sebelumnya yang menunjukkan bahwa biodiesel dengan viskositas tinggi cenderung memiliki nilai kalor lebih rendah karena tingginya kandungan oksigen molekuler dan struktur rantai karbon yang lebih kompleks (Ramírez-Verduzco et al., 2012).

3.8. Korelasi Antara Titik Nyala dan Nilai Kalor

Gambar 6 menampilkan hubungan linier positif antara titik nyala (flash point) dan nilai kalor (heating value) campuran biodiesel jatropha dan kedelai. Peningkatan titik nyala diiringi oleh kenaikan nilai kalor, menunjukkan bahwa bahan bakar dengan energi yang lebih tinggi cenderung memiliki stabilitas termal yang lebih baik.



Gambar 6. Korelasi antara nilai kalor dan titik nyala.

Persamaan regresi yang diperoleh dari data ini adalah “flash point = $-9.6303 \times \text{nilai kalor} + 561.88$ ”, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.8416, yang menunjukkan hubungan yang kuat dan signifikan. Temuan ini mendukung literatur sebelumnya yang menyatakan bahwa bahan bakar dengan nilai kalor tinggi cenderung memiliki titik nyala yang lebih tinggi karena sifat volatilitasnya yang lebih rendah dan struktur molekul yang lebih (Hoekman et al., 2012)

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa struktur molekul asam lemak dalam biodiesel sangat mempengaruhi titik nyala dan nilai kalor. Asam lemak dengan rantai karbon panjang dan tingkat ketidakjenuhan tinggi cenderung meningkatkan titik nyala karena lebih banyak energi diperlukan untuk menguapkan bahan bakar dan mencapai kondisi penyalaan (Hoekman et al., 2012).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji korelasi antara sifat fisik campuran biodiesel jatropha dan kedelai, dengan fokus pada densitas, viskositas, titik nyala, dan nilai kalor. Hasil penelitian menunjukkan adanya korelasi yang signifikan antara sifat-sifat fisik tersebut. Densitas menunjukkan korelasi positif terhadap viskositas ($R^2 = 0,8834$) dan titik nyala ($R^2 = 0,9655$), serta korelasi negatif terhadap nilai kalor ($R^2 = 0,8312$). Selain itu, terdapat korelasi positif antara titik nyala dan nilai kalor ($R^2 = 0,8416$). Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi minyak kedelai dalam campuran cenderung menurunkan viskositas dan meningkatkan nilai kalor, sedangkan peningkatan minyak jatropha berkontribusi pada kenaikan densitas dan titik nyala.

Implikasi temuan ini menunjukkan bahwa pencampuran biodiesel jatropha dan kedelai dapat dioptimalkan untuk menghasilkan sifat fisik yang diinginkan, seperti viskositas rendah dan nilai kalor tinggi, guna meningkatkan efisiensi pembakaran dan performa mesin. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu belum mencakup evaluasi performa pembakaran secara langsung di mesin diesel serta aspek emisi gas buang. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji efek formulasi campuran ini terhadap efisiensi termal, karakteristik pembakaran, dan emisi dalam kondisi operasional nyata, guna memperkuat rekomendasi teknis dan aplikatif penggunaan biodiesel berbasis jatropha-kedelai.

REFERENCES

- Abobatta, W. F. (2021). *Jatropha curcas*, a Novel Crop for Developing the Marginal Lands. In C. Basu (Ed.), *Biofuels and Biodiesel* (pp. 79–100). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1323-8_6
- Acharya, N., Nanda, P., Panda, S., & Acharya, S. (2019). A comparative study of stability characteristics of mahua and jatropha biodiesel and their blends. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 31(2), 184–190. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2017.09.003>
- Che Hamzah, N. H., Khairuddin, N., Siddique, B. M., & Hassan, M. A. (2020). Potential of *Jatropha curcas* L. as Biodiesel Feedstock in Malaysia: A Concise Review. *Processes*, 8(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/pr8070786>
- Constantino, A. F., Cubides-Román, D. C., dos Santos, R. B., Queiroz, L. H. K., Colnago, L. A., Neto, Á. C., Barbosa, L. L., Romão, W., de Castro, E. V. R., Filgueiras, P. R., & Lacerda, V. (2019). Determination of physicochemical properties of biodiesel and blends using low-field NMR and multivariate calibration. *Fuel*, 237, 745–752. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.045>
- Deshmukh, G. K., Rehman, A., & Gupta, R. (2021). Combustion and Emission Characteristics of a Compression-Ignition Engine fuelled with Transesterified-Jatropha Biodiesel-Diesel Blends. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 11(2), Article 2.
- Ennetta, R., Soyhan, H. S., Koyunoğlu, C., & Demir, V. G. (2022). Current Technologies and Future Trends for Biodiesel Production: A Review. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(12), 15133–15151. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07121-9>

- Gangolu, N. R., Chunchu, B. R. K., Yallamati, A., & Gopidesi, R. K. (2022). Assessment of diesel engine characteristics by using soybean oil as a biofuel. *Environment, Development and Sustainability*, 24(6), 7579–7592. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01645-0>
- Hao, M., Qian, Y., Xie, X., Chen, S., Ding, F., & Ma, T. (2022). Global marginal land availability of *Jatropha curcas* L.-based biodiesel development. *Journal of Cleaner Production*, 364, 132655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132655>
- Haregu, S., Likna, Y., Tadesse, D., & Masi, C. (2023). Recent Development of Biomass Energy as a Sustainable Energy Source to Mitigate Environmental Change. In P. K. Ramanujam, B. Parameswaran, B. Bharathiraja, & A. Magesh (Eds.), *Bioenergy* (pp. 119–138). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-3002-9_8
- Hoang, A. T. (2021). Prediction of the density and viscosity of biodiesel and the influence of biodiesel properties on a diesel engine fuel supply system. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 20(5), 299–311.
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 143–169.
- Kumbhar, V., Pandey, A., Sonawane, C. R., El-Shafay, A. S., Panchal, H., & Chamkha, A. J. (2022). Statistical analysis on prediction of biodiesel properties from its fatty acid composition. *Case Studies in Thermal Engineering*, 30, 101775.
- Lanjekar, R. D., & Deshmukh, D. (2016). A review of the effect of the composition of biodiesel on NO_x emission, oxidative stability and cold flow properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1401–1411. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.034>
- Maksom, M. S., Nasir, N. F., Asmuin, N., Abd Rahman, M. F., & Khairulfuaad, R. (2020). Biodiesel composition effects on density and viscosity of diesel-biodiesel blend: A CFD study. *CFD Letters*, 12(4), 100–109.
- Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A. T., & Özkan, M. (2014). Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. *Fuel*, 115, 875–883.
- Ramírez-Verduzco, L. F., Rodríguez-Rodríguez, J. E., & del Rayo Jaramillo-Jacob, A. (2012). Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel*, 91(1), 102–111.
- Ramos, M., Dias, A. P. S., Puna, J. F., Gomes, J., & Bordado, J. C. (2019). Biodiesel Production Processes and Sustainable Raw Materials. *Energies*, 12(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/en12234408>
- Riayatsyah, T. M. I., Sebayang, A. H., Silitonga, A. S., Padli, Y., Fattah, I. M. R., Kusumo, F., Ong, H. C., & Mahlia, T. M. I. (2022). Current Progress of *Jatropha Curcas* Commoditisation as Biodiesel Feedstock: A Comprehensive Review. *Frontiers in Energy Research*, 9, 1–19.
- Suzihaque, M. U. H., Alwi, H., Kalthum Ibrahim, U., Abdullah, S., & Haron, N. (2022). Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review. *Materials Today: Proceedings*, 63, S490–S495. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.527>
- Wahyudi, W., & Krisdiyanto, K. (2022). Correlation between the properties in *Jatropha* and used cooking oil biodiesel. *AIP Conference Proceedings*, 2499(1). <https://doi.org/10.1063/5.0104969>
- Wahyudi, W., Nadjib, M., Pahlevi, D. M., & Rohman, B. S. N. (2020). Improving biodiesel properties by mixing *jatropha* oil and soybean oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 874(1), 012005.
- Xu, H., Ou, L., Li, Y., Hawkins, T. R., & Wang, M. (2022). Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Biodiesel and Renewable Diesel Production in the United States. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00289>