

PENGARUH VARIASI SUHU REAKSI MENGGUNAKAN KATALIS ABU SEKAM PADI TERHADAP YIELD DAN KUALITAS FISIK BIODIESEL

Riza Muhammad Shofian¹, Asroful Abidin^{2*}, Rohimatush Shofiyah³

Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember, Indonesia

*email: asrofulabidin@unmuhjember.ac.id

DOI : 10.48144/suryateknika.v10i1.2410

Received: 17 Maret 2026

Revised: 10 April 2026

Accepted: 14 April 2026

Abstract

The decreasing availability of fossil energy resources has encouraged the development of sustainable alternative energy sources, one of which is biodiesel. Waste cooking oil is a household waste that has potential to be utilized as a raw material for biodiesel production due to its abundant availability and because it does not compete with food resources. This study aims to analyze the effect of reaction temperature variation on the yield and physical quality of biodiesel produced from waste cooking oil using rice husk ash as a catalyst without chemical modification. Biodiesel production was carried out through a transesterification reaction using methanol with a molar ratio of oil to methanol of 6:1 and a catalyst mass of 5 grams. The reaction temperatures used were 55°C, 60°C, and 65°C with a reaction time of 60 minutes. The parameters analyzed included biodiesel yield, density, and kinematic viscosity. The results showed that the highest yield was obtained at 55°C with a value of 20.66%, which then decreased to 20.25% at 60°C and 19.73% at 65°C. Biodiesel density increased with the rise in reaction temperature, and at 65°C reached 857.9 kg/m³, which meets the SNI 7182:2015 standard, while the samples at 55°C and 60°C were still below the minimum standard limit. All temperature variations produced viscosity values above the standard, indicating that the conversion of triglycerides into methyl esters had not yet occurred optimally. Overall, the temperature range of 55–60°C can be considered the most stable operating condition for producing biodiesel with higher yield and relatively better physical characteristics compared to higher temperatures.

Keywords: Biodiesel; waste cooking oil; reaction temperature; rice husk ash; transesterification

Abstrak

Ketersediaan energi fosil yang semakin terbatas mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan, salah satunya biodiesel. Minyak jelantah merupakan limbah rumah tangga yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel karena ketersediaannya melimpah dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu reaksi terhadap yield serta kualitas fisik biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah menggunakan katalis abu sekam padi tanpa modifikasi kimia. Proses pembuatan biodiesel dilakukan melalui reaksi transesterifikasi menggunakan metanol dengan rasio molar minyak terhadap metanol 6:1 dan massa katalis 5 gram. Variasi suhu reaksi yang digunakan yaitu 55°C, 60°C, dan 65°C dengan waktu reaksi 60 menit. Parameter yang dianalisis meliputi yield biodiesel, densitas, dan viskositas kinematik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa yield tertinggi diperoleh pada suhu 55°C sebesar 20,66%, kemudian menurun pada suhu 60°C sebesar 20,25% dan 65°C sebesar 19,73%. Nilai densitas biodiesel meningkat seiring kenaikan suhu reaksi dan pada suhu 65°C mencapai 857,9 kg/m³ sehingga telah memenuhi standar SNI 7182:2015, sedangkan pada suhu 55°C dan 60°C masih berada di bawah batas standar. Seluruh variasi suhu menghasilkan nilai viskositas di atas standar yang menunjukkan bahwa proses konversi trigliserida menjadi metil ester belum berlangsung optimal. Secara keseluruhan, rentang suhu 55–60°C memberikan kondisi operasi yang relatif paling stabil dalam menghasilkan biodiesel dengan yield lebih tinggi dan karakteristik fisik yang lebih baik dibandingkan suhu yang lebih tinggi.

Kata kunci: Kata kunci : Biodiesel; Minyak Jelantah; Suhu Reaksi; Abu Sekam Padi; Transesterifikasi

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi nasional terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan ekspansi sektor industri, sementara pasokan energi Indonesia masih didominasi bahan bakar fosil. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tahun 2024 menunjukkan cadangan minyak bumi Indonesia sekitar 4,7 miliar barel dan batu bara 31,71 miliar ton (IMA-API, 2024), yang mengindikasikan keterbatasan sumber daya tak terbarukan dalam jangka panjang. Ketergantungan yang tinggi terhadap energi fosil berpotensi menimbulkan kerentanan ketahanan energi nasional dalam dua dekade mendatang, sehingga pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan menjadi kebutuhan. Dalam konteks ini, biodiesel dipandang sebagai salah satu solusi yang relevan karena bersumber dari biomassa dan memiliki karakteristik emisi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan solar konvensional.

Biodiesel dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi antara minyak nabati atau lemak dengan alkohol [1]. Di Indonesia, bahan baku yang potensial tidak hanya berasal dari minyak kelapa sawit, tetapi juga minyak jelantah yang merupakan limbah rumah tangga. Pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel memberikan dua manfaat sekaligus, yaitu mengurangi pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah minyak serta menghasilkan energi terbarukan bernilai ekonomi [2]. Minyak jelantah yang mengalami degradasi akibat oksidasi dan polimerisasi selama proses penggorengan mengandung senyawa hasil samping seperti aldehid, keton, dan asam lemak bebas [2], sehingga pengolahannya menjadi biodiesel menjadi langkah mitigatif yang rasional dan berkelanjutan.

Keberhasilan proses transesterifikasi sangat dipengaruhi oleh jenis katalis yang digunakan. Katalis homogen seperti NaOH dan KOH telah banyak diterapkan, namun memiliki kelemahan dalam batasan produk serta menghasilkan limbah cair. Oleh karena itu, pengembangan katalis heterogen berbasis material alam menjadi fokus penelitian, salah satunya abu sekam padi [3]. Sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan abu sekam padi yang dimodifikasi secara kimia melalui penambahan logam basa seperti CaO atau KOH untuk meningkatkan aktivitas katalitik [4]. Meskipun pendekatan tersebut efektif, proses modifikasi memerlukan bahan kimia tambahan dan tahapan yang lebih kompleks. Dengan demikian, masih terdapat celah penelitian terkait efektivitas abu sekam padi tanpa modifikasi kimia dalam menghasilkan biodiesel dari minyak jelantah sesuai standar mutu nasional.

Potensi pemanfaatan abu sekam padi di Indonesia sangat besar mengingat data dari BPS tahun 2024, produksi padi nasional mencapai 53,14 juta ton gabah kering giling dengan luas panen sekitar 10,05 juta hektare. Sekitar 20–30% dari jumlah tersebut merupakan sekam yang belum dimanfaatkan secara optimal. Abu hasil pembakaran sekam padi mengandung silika (SiO_2) sebesar 80–97% dengan luas permukaan tinggi dan stabilitas termal yang baik [5], sehingga berpotensi digunakan sebagai material katalis heterogen dalam reaksi transesterifikasi [6]. Selain jenis katalis, suhu reaksi juga berperan penting dalam menentukan keberhasilan konversi, karena suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat reaksi, sedangkan suhu yang terlalu tinggi berisiko menyebabkan penguapan metanol dan penurunan mutu biodiesel [2].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengkaji penggunaan abu sekam padi tanpa modifikasi kimia sebagai katalis heterogen dalam proses transesterifikasi minyak jelantah, dengan fokus pada variasi suhu reaksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kecenderungan pengaruh suhu terhadap yield biodiesel serta mengevaluasi

kualitas fisik produk yang dihasilkan, khususnya densitas dan viskositas kinematik mengacu pada SNI 7182:2015. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh gambaran awal mengenai kondisi suhu reaksi yang berpotensi mempengaruhi yield dan mutu biodiesel, serta memberikan kontribusi sebagai dasar untuk penelitian lanjutan dalam pengembangan teknologi biodiesel berbasis limbah pertanian dan rumah tangga yang lebih sederhana, ekonomis, dan berkelanjutan.

2. Literatur Review

Pengembangan biodiesel berbasis limbah terus meningkat sebagai respons terhadap isu ketahanan energi dan degradasi lingkungan. Minyak jelantah menjadi salah satu bahan baku yang banyak dikaji karena ketersediaannya melimpah serta tidak bersaing dengan kebutuhan pangan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa minyak jelantah dapat dikonversi menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) melalui proses transesterifikasi dengan hasil yang kompetitif. Namun kandungan asam lemak bebas (*Free Fatty Acid /FFA*) yang tinggi sering menjadi kendala teknis karena memicu reaksi saponifikasi pada sistem berkatalis basa [7]. Oleh karena itu, variabel pengendalian proses menjadi faktor penting dalam meningkatkan efisiensi konversi dan kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Pada tahap awal pengembangan, sebagian besar penelitian menggunakan katalis homogen seperti KOH atau NaOH karena aktivitasnya tinggi dan waktu reaksi relatif singkat. Meskipun demikian, sistem homogen memiliki kelemahan berupa kesulitan memisahkan produk dan terbentuknya limbah cair tambahan [8]. Kondisi tersebut mendorong pengembangan katalis heterogen berbasis material padat yang lebih mudah dipisahkan dan dapat digunakan kembali. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa katalis berbasis logam oksida seperti CaO, Fe₂O₃, dan kombinasi ferit magnetik mampu meningkatkan hasil biodiesel hingga di atas 90% pada kondisi optimal [9]. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan katalis heterogen berpotensi meningkatkan efisiensi proses produksi biodiesel.

Sejalan dengan konsep ekonomi sirkular, limbah pertanian seperti sekam padi mulai dimanfaatkan sebagai sumber silika untuk material katalis. Abu sekam padi (*Rice Husk Ash /RHA*) diketahui mengandung silika amorf dengan luas permukaan tinggi yang mendukung pembentukan situs aktif katalitik. Berbagai penelitian melaporkan bahwa RHA yang dimodifikasi melalui impregnasi KOH, CaO, atau oksida logam lainnya mampu meningkatkan konversi biodiesel secara signifikan [10]. Meskipun efektif, proses modifikasi tersebut menambah tahapan sintesis serta penggunaan bahan kimia tambahan, sehingga kompleksitas dan biaya produksi pun meningkat.

Selain jenis katalis, suhu reaksi merupakan parameter dominan dalam sistem transesterifikasi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa suhu optimum rata-rata berada pada rentang 60–65 °C, mendekati titik metanol, untuk mencapai konversi maksimum tanpa kehilangan alkohol akibat penguapan berlebih [11]. Peningkatan suhu dalam batas optimal mempercepat laju reaksi dan meningkatkan efisiensi transfer massa, namun suhu yang terlalu tinggi berpotensi menurunkan kualitas biodiesel akibat degradasi ester. Meskipun berbagai penelitian telah mengeksplorasi katalis RHA, kajian mengenai efektivitas abu sekam padi alami tanpa aktivasi kimia tambahan masih terbatas, khususnya dalam kaitannya dengan variasi suhu reaksi pada minyak jelantah [12]. Celah tersebut menjadi dasar penelitian ini untuk menyoroiti kinerja katalis abu sekam padi alami terhadap perubahan suhu reaksi serta dampaknya terhadap hasil dan kualitas fisik biodiesel.

3. Metode

Metode Penelitian

Penelitian ini dirancang sebagai studi awal (*preliminary study*) untuk mengevaluasi pengaruh variasi suhu terhadap produksi biodiesel menggunakan katalis abu sekam padi. Oleh karena itu, setiap kondisi percobaan dilakukan satu kali untuk mengidentifikasi kecenderungan umum (*general trends*) dari proses yang terjadi. Hasil yang diperoleh bersifat eksploratif dan memerlukan validasi lebih lanjut melalui replikasi eksperimen serta analisis statistik pada penelitian berikutnya.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hot plate
2. Labu leher tiga
3. Termometer
4. Corong pisah
5. Timbangan digital
6. Gelas ukur
7. Beaker glass (gelas beker)
8. Batang pengaduk kaca
9. Oven
10. Piknometer atau densitometer
11. Viskometer Ostwald
12. Stopwatch atau timer

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Minyak jelantah berasal dari minyak goreng rumah tangga berbahan dasar kelapa sawit (merek Minyak Kita) yang telah digunakan 6–8 kali penggorengan. Setiap percobaan menggunakan 150 ml minyak.
2. Massa katalis abu sekam padi dijaga tetap sebesar 5 gram pada setiap percobaan, abu sekam padi berasal dari sekam padi varietas IR64 dalam bentuk siap pakai tanpa modifikasi kimia tambahan sehingga sifatnya masih didominasi oleh kandungan silika (SiO_2) dengan luas permukaan yang relatif terbatas. Berdasarkan literatur [13], abu sekam padi umumnya memiliki struktur amorf, di mana aktivitas katalitiknya sangat bergantung pada jumlah situs aktif yang tersedia. Tanpa adanya proses aktivasi, jumlah situs basa aktif menjadi lebih sedikit, sehingga kemampuan katalis dalam mempercepat reaksi transesterifikasi menjadi kurang optimal.
3. Metanol (CH_3OH) sebagai reaktan alkohol dengan rasio molar minyak terhadap metanol 6:1.
4. Aquades digunakan pada tahap pencucian biodiesel.

Prosedur Penelitian

Minyak jelantah terlebih dahulu disaring untuk menghilangkan partikel padat, kemudian dipanaskan pada suhu 60 °C selama 15–30 menit untuk mengurangi kadar sisa air atau metanol. Setelah mencapai suhu reaksi yang ditentukan (55 °C, 60 °C, atau 65 °C), campuran metanol dan katalis yang telah dihomogenkan dimasukkan ke dalam reaktor berisi minyak.

Reaksi transesterifikasi dilakukan selama 60 menit dengan pengadukan konstan dan sistem refluks tertutup. Setelah reaksi selesai, campuran diamkan dalam corong pisah hingga terbentuk dua lapisan, yaitu lapisan bawah gliserol dan lapisan atas biodiesel kasar. Biodiesel kemudian dicuci menggunakan aquades hangat hingga air cucian jernih, lalu dikeringkan pada suhu 100 °C selama 60 menit menggunakan oven untuk menghilangkan sisa-sisa air atau metanol.

Variabel Penelitian

1. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah suhu reaksi (55 °C, 60 °C, dan 65 °C).
2. Variabel tetap meliputi rasio molar metanol terhadap minyak (6:1), massa katalis (5 gram), waktu reaksi (60 menit), serta massa minyak (150 gram).
3. Variabel terikat adalah *yield* biodiesel, densitas, dan viskositas kinematik.

Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan kecenderungan perubahan *yield* biodiesel, densitas, dan viskositas terhadap variasi suhu reaksi. Pendekatan ini digunakan karena keterbatasan jumlah replikasi, sehingga analisis statistik inferensial tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu, interpretasi hasil difokuskan pada pola hubungan antar variabel yang diamati.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil

Hasil penimbangan biodiesel pada masing-masing variasi suhu reaksi digunakan untuk menghitung persentase hasil sebagai indikator efektivitas konversi minyak jelantah menjadi metil ester. Data hasil perhitungan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil *Yield* Biodiesel

Sampel	Hasil (gram)	<i>Yield</i> (%)
65°C	51,14	19,73
60°C	52,47	20,25
55°C	53,54	20,66

Data menunjukkan bahwa *yield* tertinggi diperoleh pada suhu 55°C sebesar 20,66%, kemudian menurun pada 60°C sebesar 20,25%, dan terendah pada 65°C sebesar 19,73%. Pola ini mengindikasikan bahwa peningkatan suhu dalam rentang penelitian tidak selalu meningkatkan *yield* biodiesel.

Pengujian densitas dilakukan untuk menentukan densitas biodiesel berdasarkan standar SNI 7182:2015 (850–890 kg/m³). Hasil perhitungan densitas disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Densitas

Sampel	Hasil (gram)	Densitas (kg/m ³)	SNI (kg/m ³)
65°C	27,63	857,9	
60°C	27,163	811,3	850-890
55°C	27,438	838,8	

Biodiesel yang diproduksi pada suhu 65°C memiliki densitas 857,9 kg/m³ dan memenuhi standar SNI. Sebaliknya, sampel pada suhu 55°C dan 60°C masih berada di bawah batas standar minimum. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu hingga 65°C memberikan kontribusi terhadap peningkatan massa jenis biodiesel.

Viskositas kinematik diukur menggunakan viskosimeter Ostwald dan dibandingkan dengan standar SNI 7182:2015 yaitu 2,3–6,0 cSt. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3.

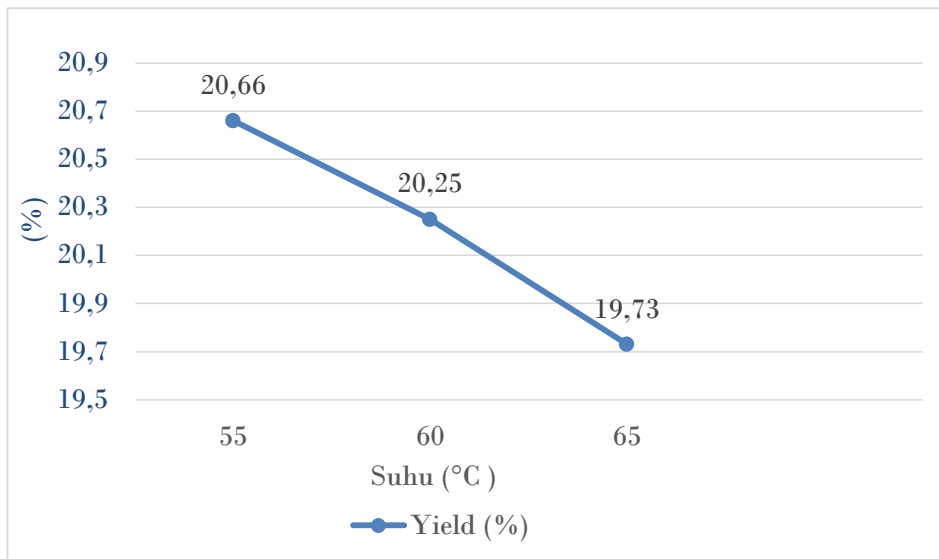
Tabel 3. Hasil Uji Viskositas

Sampel	Hasil (sec)	Viskositas (cSt)	SNI (cSt)
65°C	12,19	11,40	
60°C	11,58	10,82	2,3 – 6,0
55°C	11,10	10,37	

Seluruh sampel menunjukkan nilai viskositas di atas batas standar, dengan nilai tertinggi pada suhu 65°C dan terendah pada 55°C. Nilai viskositas yang relatif tinggi mengindikasikan kemungkinan masih terdapat senyawa trigliserida, digliserida, atau monogliserida yang belum sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester.

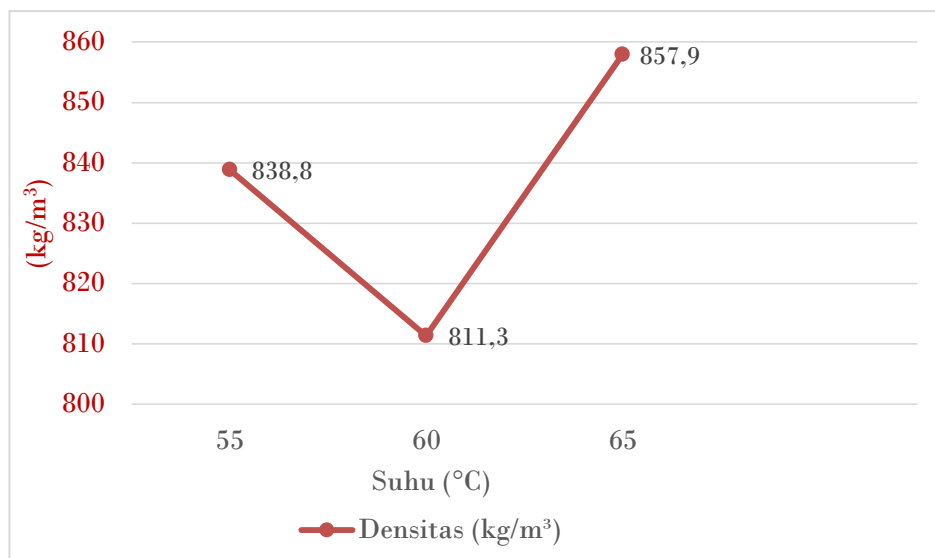
PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan studi awal yang bertujuan untuk melihat kecenderungan pengaruh suhu terhadap proses transesterifikasi menggunakan katalis abu sekam padi. Variasi suhu reaksi 55°C, 60°C, dan 65°C mempengaruhi yield serta karakteristik fisik biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah. Katalis abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini umumnya didominasi oleh silika (SiO₂) dengan aktivitas katalitik yang relatif rendah dibandingkan katalis yang telah dimodifikasi yang relatif rendah dibandingkan katalis yang telah dimodifikasi. Hubungan antara suhu reaksi terhadap *yield*, densitas, dan viskositas biodiesel dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3. Secara teoritis, peningkatan suhu mempercepat laju reaksi karena energi kinetik molekul meningkat. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan suhu hingga 65°C tidak selalu meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Hal ini menunjukkan bahwa dalam sistem transesterifikasi berbasis metanol, kestabilan kondisi reaksi dan kesetimbangan sistem memiliki peran yang tidak kalah penting dibandingkan peningkatan laju kinetika semata.



Gambar 1. Pengaruh variasi suhu reaksi terhadap yield dari minyak jelantah menggunakan katalis abu sekam padi

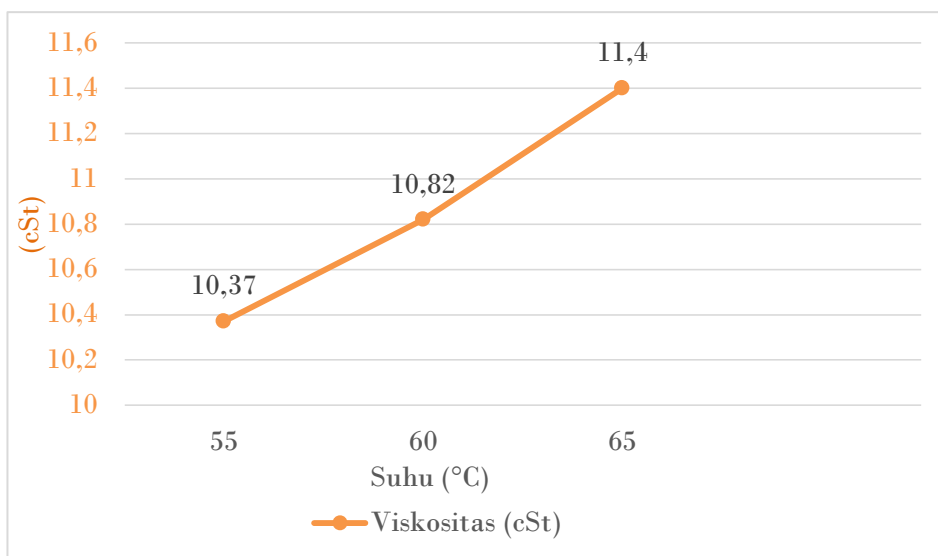
Pada Gambar 1, hasil *yield* cenderung penurunan konversi saat suhu mendekati 65°C dapat dijelaskan melalui pendekatan kesetimbangan reaksi. Titik metanol sekitar 64,7°C menyebabkan potensi penguapan meningkat pada suhu tersebut, sehingga rasio molar efektif dalam sistem berkurang. Kondisi ini dapat menggeser kesetimbangan pembentukan metil ester. Temuan ini sejalan dengan penelitian [14] yang melaporkan bahwa suhu optimum transesterifikasi minyak limbah berada pada kisaran 50–60°C. Penelitian dari [15] juga menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat memicu reaksi samping seperti saponifikasi yang menurunkan hasil biodiesel. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa suhu optimum tidak selalu berada pada titik tertinggi yang diuji.



Gambar 2. Pengaruh variasi suhu reaksi terhadap densitas biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis abu sekam padi

Hasil parameter densitas yang ada pada Gambar 2 menunjukkan kecenderungan membaik pada suhu 65°C hingga masuk dalam rentang standar SNI 7182:2015. Hal ini sejalan dengan [16] yang menyatakan bahwa peningkatan suhu hingga titik tertentu dapat meningkatkan pembentukan FAME dan memperbaiki sifat fisik biodiesel. Namun, hasil

biodiesel pada suhu tersebut justru lebih rendah, yang menunjukkan adanya perbedaan dinamika antara kuantitas produk dan kualitas komposisi biodiesel yang terbentuk. Artinya, peningkatan massa jenis tidak secara otomatis menunjukkan peningkatan konversi total, kecuali kemungkinan komposisi fraksi yang lebih stabil secara fisik.



Gambar 3. Pengaruh variasi suhu reaksi terhadap viskositas biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis abu sekam padi

Parameter viskositas pada Gambar 3, seluruh variasi suhu menghasilkan nilai di atas standar SNI. Kondisi ini mengindikasikan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester belum berlangsung sepenuhnya optimal. Nilai viskositas biodiesel berkaitan erat dengan efektivitas proses transesterifikasi, khususnya terhadap masih tersisnya senyawa monogliserida, digliserida, dan trigliserida yang belum mengalami konversi menjadi metil ester secara optimal [17]. Selain itu, penelitian [18] menekankan bahwa, aktivitas permukaan katalis dan hambatan difusi massa menjadi faktor penghambat reaksi. Karena penelitian ini menggunakan abu sekam padi alami tanpa aktivasi kimia tambahan, batasan tersebut dapat menjelaskan mengapa peningkatan suhu tidak otomatis menurunkan viskositas.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Penelitian

Sumber	Hasil Penelitian
Penulis	Yield biodiesel berada pada kisaran 19,73–20,66%. Densitas 811,3–857,9 kg/m ³ , dengan sebagian belum memenuhi standar. Viskositas 10,37–11,40 cSt, menunjukkan konversi belum optimal.
Referensi 1	Yield biodiesel mencapai 75,26–84,50% pada variasi rasio molar. Densitas berada pada kisaran 0,86–0,87 g/mL dan viskositas 2,56–2,78 cSt, sehingga telah memenuhi standar biodiesel [9].
Referensi 2	Yield biodiesel mencapai sekitar 71,54% pada kondisi optimum. Densitas berada pada kisaran 0,803–0,810 g/mL dan viskositas 4,54–4,83 cSt. Meskipun viskositas memenuhi standar, kualitas biodiesel secara keseluruhan belum memenuhi SNI berdasarkan analisis methyl ester [11].

Berdasarkan Tabel 4, yield biodiesel yang diperoleh dalam penelitian ini berada pada kisaran 19,73–20,66%, yang masih lebih rendah dibandingkan dengan penelitian lain yang menggunakan katalis heterogen termodifikasi dengan yield mencapai lebih dari 70–90%. Perbedaan ini terutama dipengaruhi oleh karakteristik katalis yang digunakan, di mana abu sekam padi tanpa aktivasi memiliki jumlah situs aktif yang terbatas sehingga proses konversi tidak berlangsung secara maksimal.

Selain itu, nilai viskositas yang masih tinggi menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi belum berjalan secara optimal. Hal ini mengindikasikan masih adanya trigliserida yang belum sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester. Pada sistem katalis heterogen, keterbatasan tidak hanya berasal dari aspek kinetika reaksi, tetapi juga dipengaruhi oleh hambatan difusi reaktan menuju permukaan katalis. Secara keseluruhan, penggunaan katalis tanpa modifikasi cenderung menghasilkan efisiensi reaksi yang lebih rendah dibandingkan katalis yang telah diaktivasi, baik dari segi yield maupun kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya tidak dilakukan replikasi eksperimen, tidak adanya analisis statistik, serta belum dilakukan karakterisasi katalis secara langsung. Setiap kondisi percobaan hanya dijalankan satu kali, sehingga data yang diperoleh masih bersifat awal dan lebih digunakan untuk melihat kecenderungan umum (trend) antar variabel. Akibatnya, data tersebut belum mampu menggambarkan tingkat variasi maupun ketidakpastian secara kuantitatif. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh masih perlu dikonfirmasi lebih lanjut melalui penelitian lanjutan agar validitasnya semakin kuat.

Oleh karena itu, hasil dalam penelitian ini lebih tepat diinterpretasikan sebagai indikasi awal yang memerlukan validasi lebih lanjut melalui penelitian dengan desain eksperimen yang lebih komprehensif.

5. Kesimpulan

Penelitian ini secara menyeluruh menunjukkan bahwa variasi suhu reaksi 55°C, 60°C, dan 65°C pada proses transesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis abu sekam padi tanpa aktivasi kimia berpengaruh terhadap kuantitas dan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Peningkatan suhu tidak berbanding lurus dengan kenaikan hasil, karena *yield* tertinggi justru diperoleh pada 55°C sebesar 20,66% dan mengalami penurunan pada suhu yang lebih tinggi, mengindikasikan bahwa kondisi yang terlalu mendekati titik didih metanol dapat menurunkan efektivitas reaksi akibat penguapan. Dari sisi kualitas fisik, nilai densitas meningkat seiring kenaikan suhu dan pada 65°C telah memenuhi standar SNI 7182:2015, sementara pada 55°C dan 60°C masih berada di bawah batas yang ditetapkan. Sebaliknya, seluruh variasi suhu menghasilkan viskositas di atas standar, yang menandakan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester belum berlangsung optimal dan masih terdapat komponen yang mempengaruhi kekentalan produk akhir. Berdasarkan keseimbangan antara *yield*, densitas, dan viskositas, rentang 55–60°C dapat dipandang sebagai kondisi operasi paling stabil dalam penelitian ini karena memberikan *yield* lebih tinggi dengan karakteristik fisik yang relatif lebih baik dibandingkan suhu 65°C, meskipun belum sepenuhnya memenuhi standar mutu nasional. Secara ilmiah, temuan ini menegaskan pentingnya optimasi suhu dalam sistem berbasis katalis heterogen alami serta menunjukkan bahwa pengembangan biodiesel dari limbah minyak jelantah masih memerlukan peningkatan pada aspek rasio molar, waktu reaksi, dan aktivasi katalis agar tercapai efisiensi konversi dan mutu bahan bakar yang lebih kompetitif.

Referensi

- [1] E. Megawati, A. H. Pratama, I. K. Warsa, A. O. P Putra, N. Effendi, and Y. Yuniarti, "Optimasi volume katalis H₂SO₄ dan waktu proses esterifikasi pada tahapan proses biodisel," *J. Tek. Kim.*, vol. 28, no. 1, pp. 37–43, 2022, doi: 10.36706/jtk.v28i1.1066.
- [2] M. Busyairi, A. Z. Muttaqin, I. Meicahyanti, and S. Saryadi, "Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi," *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 933–940, 2020, doi: 10.32672/jse.v5i2.1920.
- [3] K. Cao, S. Pratigto, and I. Istadi, "Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kedelai Menjadi Biodiesel," vol. 22, no. 5, pp. 213–219, 2019.
- [4] M. A. Gonçalves *et al.*, "Catalytic conversion of residual raw material into biodiesel using a superior magnetic solid acid catalyst based on Zn-Fe ferrite: thermodynamic and kinetic studies," *RSC Adv.*, vol. 14, no. 29, pp. 20743–20756, 2024, doi: 10.1039/d4ra03580a.
- [5] A. I. Nurhasyiri, M. Zamhari, and D. A. Mediniariasty, "SINTESIS KATALIS ABU SEKAM PADI TERIMPREGNASI DENGAN CaO DARI CANGKANG TELUR DAN KOH UNTUK PEMBUATAN BODIESEL DARI MINYAK JELANTAH SYNTHESIS OF RICE HUSK ASH CATALYST IMPREGNATED WITH CaO EGG SHELL AND KOH TO PRODUCE BODIESEL FROM WASTE COOKING OIL," *J. Kinet.*, vol. 13, no. 03, pp. 56–61, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- [6] V. C. Niculescu and M. S. Raboaca, "Efficient rice-husk-derived silica nanocatalysts for organic dye removal from water," *Catalysts*, vol. 11, no. 7, 2021, doi: 10.3390/catal11070815.
- [7] T. Process, C. Oil, and M. Ester, "ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia Pengaruh Kadar Free Fatty Acid dalam Used Cooking Oil (UCO) dan Massa Katalis pada Proses Transesterifikasi terhadap Karakteristik dan Kelimpahan Used Cooking Oil Methyl Ester (UCOME) 1 (The Effect of Free Fatty Acid Content in Used Cooking Oil (UCO) and Catalyst Mass in," vol. 21, no. 1, pp. 94–103, 2025, doi: 10.20961/alchemy.21.1.84661.94-103.
- [8] M. A. Gonçalves, H. C. L. dos Santos, T. S. Ribeiro, A. da Cas Viegas, G. N. da Rocha Filho, and L. R. Vieira da Conceição, "Boosting biodiesel production of waste frying oil using solid magnetic acid catalyst from agro-industrial waste," *Arab. J. Chem.*, vol. 17, no. 2, 2024, doi: 10.1016/j.arabjc.2023.105521.
- [9] and D. D. A. Buchori, L., Iqfan Dwi Setiadi, Faustina Alda Nurushofa, "Effect of CaO/Fe₂O₃ Mass Ratio and Oil/Methanol Molar Ratio on Biodiesel Production from Waste Cooking Oil," *Methanol Molar Ratio*, vol. 24, no. 1, pp. 1–6, 2024.
- [10] R. B. Istiningrum, P. E.A, L. A. . Sulfiah, and N. D, "Pemanfaatan Abu Sekam Padi Untuk Pemurnian Bahan Baku Dan Produk Biodiesel Dari Minyak Jelantah," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, pp. 61–71, 2017, doi: 10.23887/jstundiksha.v6i1.9440.
- [11] A. Syafitri, A. Mediniariasty, and M. Yerizam, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur dan Sekam Padi sebagai Katalis dalam Pembuaatan Biodiesel dari Minyak Jelantah," *J. Pendidik. dan Teknol. Indones.*, vol. 4, no. 1, pp. 5–10, 2024, doi: 10.52436/1.jpti.368.
- [12] M. Zaki, H. Husin, M.T., P. N. Alam, D. Darmadi, C. M. Rosnelly, and N. Nurhazanah, "Transesterifikasi Minyak Biji Buta-Buta menjadi Biodiesel pada Katalis Heterogen Kalsium Oksida (CaO)," *J. Rekayasa Kim. Lingkungan.*, vol. 14, no. 1, pp. 36–43, 2019, doi: 10.23955/rkl.v14i1.13495.
- [13] E. Science, "Utilization of rice husk silica as solid catalyst in the transesterification process for biodiesel production Utilization of rice husk silica as solid catalyst in the

- transesterification process for biodiesel production,” 2020, doi: 10.1088/1755-1315/739/1/012083.
- [14] P. E. Yulianda, C. Bida, and A. Bestari, “Optimization Transesterification Reaction in the Synthesis of Biodiesel from Household Catering Waste Cooking Oil,” vol. 4, no. 1, pp. 80–94, 2024.
- [15] K. Minyak *et al.*, “Journal of Biodiesel Research and Innovation (J-Brain),” vol. 1, no. September, pp. 17–23, 2023.
- [16] M. Jarak *et al.*, “Pengaruh suhu dan waktu reaksi transesterifikasi minyak jarak kepyar,” vol. 2, no. Oktober, pp. 64–80, 2021.
- [17] B. Quality, A. Casas, and Á. P., “Effects of Diacetinmonoglycerides and Triacetin on,” 2023.
- [18] O. Dominic, E. Joseph, U. Callistus, and N. Kenechi, “Improving heterogeneous catalysis for biodiesel production process,” *Clean. Chem. Eng.*, vol. 3, no. April, p. 100038, 2022, doi: 10.1016/j.clce.2022.100038.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)
