

Bukti Korespondensi

KARAKTERISASI KUALITAS BODIESEL HASIL
TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT DENGAN KATALIS
HOMOGEN KOH DAN NAOH

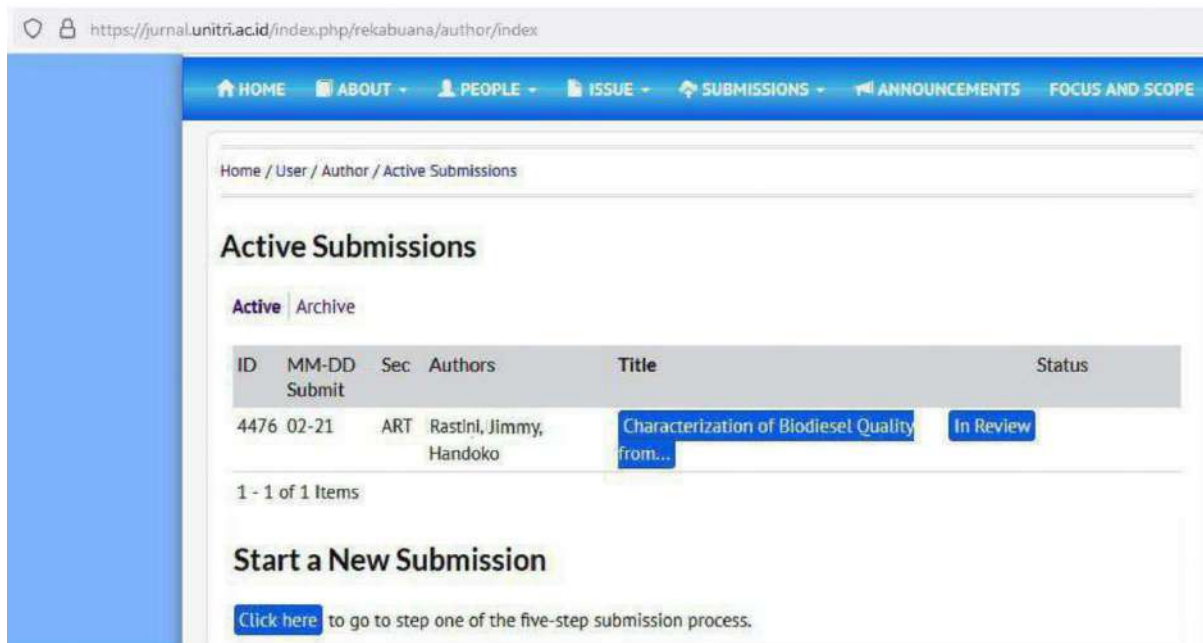
Endah Kusuma Rastini

PENULIS UTAMA, KORESPONDENSI | ARTIKEL DI JURNAL REKA BUANA (SINTA 3)

Daftar Isi

Cover	i
Daftar Isi	ii
Submit di Jurnal Reka Buana (21 – 02 – 2022)	1
Penyampaian ke Reviewer dan Proses Review (16 – 07– 2022).....	2
Proses Korespondensi (26 – 08 – 2022)	3
Berkas Artikel dari Reviewer 1 dan 2 (26 – 08 – 2022)	4
Revisi pertama (26 – 08 – 2022)	27
Revisi kedua (27 – 08 – 2022)	39
Artikel diterima, melalui email (22 – 09 – 2022)	51

Submit di Jurnal Reka Buana (21 – 02 – 2022)



The screenshot shows a web browser window with the URL <https://jurnal.uniri.ac.id/index.php/rekabuana/author/index>. The page has a blue navigation bar with links for HOME, ABOUT, PEOPLE, ISSUE, SUBMISSIONS, ANNOUNCEMENTS, and FOCUS AND SCOPE. Below the navigation bar, the breadcrumb trail reads "Home / User / Author / Active Submissions". The main heading is "Active Submissions", with tabs for "Active" and "Archive". A table lists the active submissions:

ID	MM-DD Submit	Sec	Authors	Title	Status
4476	02-21	ART	Rastini, Jimmy, Handoko	Characterization of Biodiesel Quality from...	In Review

Below the table, it indicates "1 - 1 of 1 Items". There is a section titled "Start a New Submission" with a link that says "Click here to go to step one of the five-step submission process."

Penyampaian ke Reviewer dan Proses Review (Peer Review, 16 – 07– 2022)

Peer Review

Round 1

Review Version	4476-12701-2-RV.docx	2022-07-16
Initiated	2022-07-16	
Last modified	2022-08-26	
Uploaded file	Reviewer A	4476-13416-1-RV.docx 2022-08-26
	Reviewer B	4476-13415-1-RV.docx 2022-08-26

Editor Decision

Decision	Accept Submission	2022-09-22	
Notify Editor	Editor/Author Email Record	2022-09-22	
Editor Version	4476-13304-1-ED.docx	2022-07-16	
Author Version	4476-13431-1-ED.docx	2022-08-27	Delete
Upload Author Version	Browse...	No file selected.	Upload

**Proses Korespondensi
(26 – 08 – 2022)**

Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, X (X), 20XX, page

Tersedia *online* di <https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/rekabuana>

ISSN 2503-2682 (*Online*)

ISSN 2503-3654 (*Cetak*)



Karakterisasi Kualitas Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Homogen
(*Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts*)

IDENTITAS PENULIS DIHAPUS UNTUK TUJUAN REVIEW

ARTICLE INFO	ABSTRAK
<p>Article history Received : Revised : Accepted :</p> <p>DOI :</p> <p>Keywords :</p> <p>e-mail corresponding author :</p>	<p>Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan sebagai alternatif bahan bakar pada mesin diesel. Penggunaannya dapat dikombinasi dengan petrodiesel. Pembuatan biodiesel dengan katalis homogen (KOH/NaOH) memerlukan biaya produksi yang murah. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik fisika dan kimia produk biodiesel dengan katalis homogen dari minyak kelapa sawit <i>food grade</i> yang dikerjakan pada temperatur kamar, waktu pengadukan 8 menit (200 rpm), waktu reaksi 4 jam dengan rasio mol metanol:minyak 6:1. Hasil pengujian kelayakan terhadap massa jenis (KOH 859 kg/m³, NaOH 868 kg/m³) dan viskositas (KOH 2,70 cSt, NaOH 3,08 cSt) menunjukkan bahwa biodiesel telah memenuhi syarat mutu bahan bakar nabati. Hasil pengujian kelayakan FFA, bilangan asam, gliserol total, bilangan penyabunan dan kadar ester alkil untuk biodiesel dengan katalis KOH (berturut-turut 0,205%, 0,3716 mg-KOH/g, 0,012%- massa, 58,99 mg-KOH/g, 99,074%-massa) telah memenuhi syarat mutu, namun untuk NaOH kadar gliserol belum memenuhi syarat mutu bahan bakar nabati sehingga perlu dikaji ulang kondisi optimumnya. Pengujian lanjutan kualitas biodiesel dengan mengaplikasikan pada mesin diesel diperlukan untuk kelayakan produksi. Kata kunci: biodiesel, katalis homogen, karakteristik fisika dan kimia, bahan bakar, mesin diesel</p>
<p>PENERBIT</p> <p>UNITRI PRESS Jl. Telagawarna, Tlogomas- Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500</p>  <p>This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA</p>	<p>ABSTRACT</p> <p><i>Biodiesel is a renewable fuel as an alternative fuel in diesel engines. Its use can be combined with petrodiesel. Making biodiesel with a homogeneous catalyst (KOH/NaOH) requires low production costs. This research was conducted to determine the physical and chemical characteristics of biodiesel products using a homogeneous catalyst from food grade palm oil which was worked at room temperature, stirring time 8 minutes (200 rpm), reaction time 4 hours with a mole ratio of methanol:oil 6:1. The results of the feasibility test for density (KOH 859 kg/m³, NaOH 868 kg/m³) and viscosity (KOH 2.70 cSt, NaOH 3.08 cSt) show that biodiesel meets the quality requirements of biofuels. FFA feasibility test results, acid number, total glycerol, saponification number and alkyl ester content for biodiesel with KOH catalyst (0.205%, 0.3716 mg-KOH/g, 0.012%-mass, 58.99 mg-KOH/g, 99.074%-mass, respectively) has met the quality requirements, but for NaOH the glycerol content has not met the quality requirements for biofuels so it is necessary to review the optimum conditions. Further testing of biodiesel quality by applying it to diesel engines is required for production feasibility. Keywords: biodiesel, homogeneous catalyst, physical and chemical characteristics, fuel, diesel engine</i></p>
<p>Cara Mengutip : Rastini, E. K., Jimmy, Handoko, F., Sya'ni, M. A. (2023). Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts. <i>Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia</i>, 6(1), 1-10. doi:https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2165</p>	

Pemenuhan kebutuhan akan bahan bakar minyak (BBM) saat ini semakin meningkat. Bahan bakar digunakan bukan hanya untuk transportasi (kendaraan bermotor), namun juga

industri-industri besar, menengah maupun kecil dan kebutuhan rumah tangga. Di Indonesia sendiri, kebutuhan terbesar akan bahan bakar minyak pada sektor transportasi dan industri dengan bahan bakar minyak solar menunjukkan penggunaan terbesar [1]. Hal ini cukup masuk akal karena pada sektor transportasi dan industri banyak menggunakan mesin-mesin diesel. Mesin diesel memiliki kemampuan cukup mumpuni dalam bekerja, karakteristik torsi baik, efisiensi termal tinggi, dapat dipakai secara luas juga pada sektor pertanian dan pembangkit listrik [2-4]. Namun penggunaan mesin diesel dengan bahan bakar solar selain memiliki dampak positif, juga memiliki dampak negatif yaitu pada proses pembakaran membebaskan gas-gas yang membahayakan lingkungan seperti emisi partikulat (sulfur, senyawa aromatic polisiklik, timbal), SO_x dan NO_x. Oleh karena itu hampir semua negara mencanangkan pengurangan pemakaian bahan bakar minyak berasal dari minyak bumi (tidak terbarukan) agar menurunkan timbulnya emisi gas berbahaya ke lingkungan. Untuk itu selama beberapa dekade telah dikembangkan pembuatan bahan bakar terbarukan sebagai alternatif minyak solar yaitu biodiesel. Penggunaan biodiesel pada mesin diesel dapat dikombinasikan dengan petrodiesel atau tanpa kombinasi. Beberapa rasio campuran minyak solar dengan biodiesel (v/v) telah diteliti dan menunjukkan bahwa komposisi tersebut mampu mengurangi emisi yang terjadi di lingkungan [2], [5-6], [14].

Biodiesel berasal dari tumbuhan dan hewan yang dapat menghasilkan minyak (edible/non edible) dan lemak, namun dapat juga dibuat dari minyak goreng bekas dan produk limbah. Minyak tumbuhan atau lemak hewani diproses secara transesterifikasi sehingga menghasilkan asam lemak rantai panjang monoalkil ester (fatty acid methyl ester/FAME) yang memiliki karakteristik sama dengan minyak solar. Kelebihan biodiesel dibanding dengan petrodiesel yaitu memiliki viskositas lebih tinggi sekitar 10 kalinya, nilai kalor lebih rendah, secara stoikiometri meningkatkan rasio bahan bakar/udara karena molekul oksigen, *biodegradable*, tidak beracun dan bersih, emisi SO_x mendekati nol, emisi NO_x menurun (dikombinasikan dengan petrodiesel), rendah polusi dengan titik nyala tinggi, produksi bahan baku biodiesel relatif aman. Usia mesin juga dapat diperpanjang berkat penggunaan biodiesel dan mengurangi 90% total hidrokarbon yang tak terbakar [3-5], [7-9]. Pemilihan tumbuhan yang dapat menghasilkan minyak biodiesel merupakan hal penting karena komposisi asam lemak menentukan sifat bahan bakarnya seperti karakteristik destilasi, berat jenis, stabilitas oksidasi, angka setana.

Teknologi produksi biodiesel secara transesterifikasi beragam dapat menggunakan katalis basa, katalis asam, alkohol superkritis, ultrasonic, transesterifikasi berbasis lipase, proses esterifikasi dua tahap berkatalis asam-alkali. Masing-masing teknik memiliki kelebihan dan kekurangannya [2-3], [15]. Reaksi transesterifikasi minyak dan alkohol (methanol, etanol/ butanol) dengan adanya katalis terjadi secara bertahap dimulai dari konversi trigliserida menjadi digliserida, dilanjutkan digliserida terkonversi menjadi monogliserida kemudian hasil akhir monogliserida terkonversi menjadi metil ester (FAME) dan gliserol sebagai hasil samping. Setiap tahapan reaksi tersebut membutuhkan satu mol alkohol [10-14]. Metil ester hasil transesterifikasi memiliki panjang rantai karbon antara C₁₄ dan C₂₄ [5-6, 23].

Tabel 1. Perbandingan Ragam Teknologi Produksi Biodiesel

Variabel	Alkali	Asam	Dua Tahap	Ultrasonic	Lipase	Superkritis
Suhu reaksi (°C)	40 – 70	55 – 80	40 – 70	30 – 40	30 – 40	240 – 385
Yield	Normal	Normal	Baik	Tinggi	Tinggi	Baik
Glycerol recovery	Rumit	Rumit	Rumit	Rumit	Mudah	-
Pemurnian ester	Pencucian	Pencucian	Pencucian	Pencucian	-	-
Biaya produksi	Murah	Murah	Murah	Sedang	Mahal	Sedang

Sumber: Handbook of Plant-Based Biofuels, 2009

Berdasarkan tabel 1, maka proses produksi biodiesel dengan biaya cukup ekonomis adalah menggunakan katalis alkali, asam, dan proses esterifikasi dua tahap.

Hasil penelitian sebelumnya mengenai pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit secara transesterifikasi dengan berbagai katalis telah dilakukan, ditunjukkan pada tabel 2. Pada tabel tersebut, penggunaan variasi waktu, suhu, katalis, rasio mol methanol:minyak dan kondisi opsional akan mempengaruhi *yield* ester yang dihasilkan. Penggunaan katalis alkali memerlukan waktu reaksi 1 – 2 jam dengan suhu 40 – 60°C. Katalis padat seperti CaO, Na₂O, dan kombinasi katalis padat yang lain juga telah digunakan dalam pembuatan biodiesel, namun masih perlu riset lebih lanjut karena waktu yang dibutuhkan relatif lama, suhu diatas 60°C, *yield* ester tidak menentu. Pembuatan biodiesel dari minyak nabati lainnya (minyak jarak pagar, minyak kedelai) dengan menggunakan katalis KOH, NaOH 1%, rasio mol methanol:minyak = 6:1, dan rentang suhu 30 – 60°C memerlukan waktu reaksi 2 – 4 jam untuk menghasilkan yield ester tinggi [10], [12].

Tabel 2. Transesterifikasi minyak kelapa sawit pada kondisi optimum

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Katalis	Rasio mol methanol:minyak	Kondisi opsional	Yield ester (%)
1	40-50	KOH 1% wt	6:1	-	60
2	50	KOH 1% wt	10:1	400 rpm	89,84
1	50-58	KOH 1% wt	6:1	-	81,94
1	60	KOH 1% wt	10:1	400 rpm, esterifikasi dengan katalis BZSA	88,67
1	60	KOH 1% wt	10:1	400 rpm, esterifikasi dengan asam kromosulfat	85
2	60	KOH 1% b	20:1	-	80,14
2	60	3% wt zeolit alam/KOH	8:1	Tanpa data [KOH]	97,79
2	60	4% wt zeolite/KOH	8:1	KOH 75%	96,99
2	60	3% wt K/zeolite	8:1	KOH 75%	92,04
2	60	7,36% K/zeolite alam	8:1	KOH solution 50 g/100 ml	95,84
2,5	60	KOH 2% wt	18:1	2 bar, reaktor membran	72,02
3	60	CaO/abu terbang 7% wt	8:1	400 rpm	61,72
3	60	Na ₂ O/abu terbang 4% wt	8:1	400 rpm; abu terbang (SiO ₂ , Na ₂ O & Na ₂ CaSi ₃ O ₈)	77,33

Tabel 2 – Transesterifikasi minyak kelapa sawit pada kondisi optimum (*lanjutan*)

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Katalis	Rasio mol metanol:minyak	Kondisi opsional	Yield ester (%)
3	60	Na ₂ O/Fe ₃ O ₄ 2%-w	8:1	-	59,92
3	60	Na ₂ O/abu terbang 4%wt	8:1	Tanpa data abu terbang	81,2
4	60	4% K ₂ O/Al ₂ O ₃ (w/w)	12:1	200 rpm, sentrifus: 20 menit, 3000 rpm	85,58
1,67	65	ZnO 2%-w	18:1	-	94,26
1,67	65	CaO 2%-b	12:1	-	29,5
2	65	Zeolite/KI	10:1	Conveyance catalyst (90°C) 2,5% (b/v)	67,39
2	70	Fe ₃ O ₄ /CaO 6%	10:1	-	90
2	70	CaO 2% wt	11:1	-	87,41
2	70	Ca ₂ Fe ₂ O ₅ 1% wt	11:1	-	52,34
2	70	CaO/limbah besi 3% wt	6:1	400 rpm	67,64
3	70	CaO/abu terbang 6% wt	6:1	-	59,34

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kualitas produk biodiesel hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis homogen (KOH dan NaOH) pada kondisi optimum riset sebelumnya (yield ester tinggi). Kondisi transesterifikasi yang digunakan yaitu pada temperature kamar, waktu pengadukan terbaik pada 8 menit, waktu reaksi terbaik pada 4 jam dengan rasio mol metanol:minyak = 6:1 [10]. Terdapat beberapa metode pengujian terhadap kualitas biodiesel sebagai syarat mutu standar yang telah ditetapkan pemerintah (standar FBI atau SNI, SK Dirjen EBTKE tahun 2022), dan pada penelitian ini menguji massa jenis, viskositas, kadar angka asam, FFA, gliserol total, bilangan penyabunan dan ester alkil. Pengujian ini diperlukan karena selama proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dengan katalis homogen tersebut dimungkinkan adanya sejumlah kecil reaktan dan produk samping seperti air, gliserol bebas, gliserol terikat, FFA, katalis, serta residu alkohol yang dapat mempengaruhi kualitas produk akhir [15-19]. Hasil pengujian akan menentukan kelayakan kondisi optimum proses transesterifikasi dengan katalis homogen.

2. METODE PENELITIAN

Sampel biodiesel dibuat dari 150 mL minyak kelapa sawit *food grade* (minyak goreng sunco), dengan penambahan methanol 20% dari berat minyak, yang telah dikatalisis secara basa menggunakan KOH dan NaOH. Masing-masing katalis basa (KOH 1% berat minyak dan NaOH 0,5% berat minyak) dicampurkan dahulu dengan methanol 39,45 mL (99% teknis) pada wadah berbeda sampai homogen. Campuran alkali metoksida yang telah homogen dimasukkan ke dalam erlenmeyer berpengaduk magnetik berisi minyak goreng (rasio mol metanol:minyak = 6:1), kecepatan pengadukan diatur pada 200 rpm. Transesterifikasi dilakukan dengan waktu pengadukan selama 8 menit, dan waktu reaksi selama 4 jam. Biodiesel mentah dicuci menggunakan aquadest (1:1) dan dilakukan pengocokan selama 30 menit. Pencucian biodiesel diulang sebanyak 5 kali, kemudian dimasukkan kedalam corong pisah dan didiamkan selama 4 jam. Terbentuk dua lapisan,

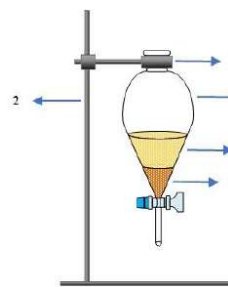
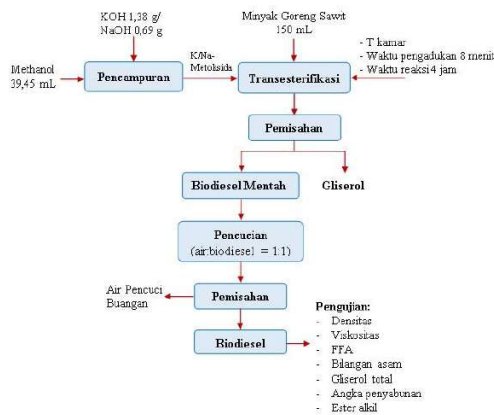
Commented [MD1]: Sebutkan list SNI nya untuk kualitas Biodiesel

Commented [er2R1]: Sudah ada di pembahasan, khususnya yang digunakan untuk karakterisasi penelitian ini

Commented [MD3]: Berikan penjelasan terkait urgensinya melakukan penelitian ini

Commented [er4R3]: sudah ditambahkan di reviewer satunya

dimana lapisan atas berupa metil ester dan lapisan bawah gliserol. Selanjutnya dilakukan pemisahan metil ester dan gliserol. Biodiesel dengan katalis homogen tersebut kemudian diuji kualitasnya dengan menentukan densitas, viskositas, kadar angka asam, FFA, gliserol total, ester alkil dengan mengacu prosedur standar mutu pengujian (FBI-A-01-03 atau bagian 9.13 pada SNI 7182:2015 atau AOCS Cd 3d-63/ASTM D-664, FBI-A02-03 atau bagian 9.14 pada SNI 7182:2015 atau AOCS Ca 14-56/ASTM D-6584, AOCS Ca 5A-4, FBI-A03-03 atau bagian 9.15 pada SNI 7182:2015).



Gambar 1. Proses pembuatan biodiesel pada suhu kamar dan pemisahannya: A. diagram alir, B. Pemisahan biodiesel: (1) klep, (2) statif, (3) corong pisah, (4) biodiesel, (5) gliserol

Commented [MD5]: Gambar mohon diperjelas lagi
 Commented [er6R5]: Sudah diperbaiki di reviewer satunya

Penentuan massa jenis dan viskositas berturut-turut dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{viskositas} = C \times t \dots \dots \dots (2)$$

Kadar FFA, bilangan asam, gliserol total, angka penyabunan dan kadar ester alkil berturut-turut ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\%FFA = \frac{T \times N \times BM}{\text{bobot contoh}(gr) \times 1000} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{bilangan asam} = \frac{56,1 \times V \times N \text{ mg} \frac{KOH}{g} \text{ biodiesel}}{m} \dots \dots \dots (4)$$

$$Gttl(\% - b) = \frac{2,302 \times (B - C) \times N}{W} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Angka penyabunan (As)} = \frac{56,1 \times (B - C) \times N \frac{mgKOH}{g} \text{ biodiesel}}{m} \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{kadar ester alkil}(\% - b) = \frac{100 \times (As - Aa - 4,57Gttl)}{As} \dots \dots \dots (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel hasil penelitian dengan menggunakan katalis homogen diuji karakteristik secara fisika dan kimia dengan standar mutu yang telah ditetapkan (SNI). Pengujian ini sangat penting untuk memastikan bahwa proses transesterifikasi berjalan dengan baik.

Karakteristik Massa jenis dan Viskositas Biodiesel

Massa jenis atau berat jenis merupakan sifat penting pada semua bahan bakar karena mempengaruhi karakteristik kinerja mesin secara langsung, terkait dengan efisiensi atomisasi bahan bakar dan karakteristik pembakaran. Massa jenis juga dibutuhkan pada proses pembuatan, penyimpanan serta distribusi bahan bakar. Hasil penelitian pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan katalis homogen pada tabel 3 menunjukkan massa jenis sampel biodiesel sesuai standar yang ditetapkan (SNI), untuk katalis KOH massa jenis 859 kg/m³ sedangkan untuk katalis NaOH massa jenis 868 kg/m³. Tinggi rendahnya massa jenis dari biodiesel dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan asam lemak yang terkandung pada bahan baku minyak. Apabila tingkat kejenuhan tinggi maka massa jenis menjadi rendah [2, 26].

Tabel 3. Karakteristik massa jenis dan viskositas biodiesel

No	Uji Kualitas/ Parameter uji	Satuan, min/max	SNI	Hasil Penelitian		Metode Pengujian
				KOH	NaOH	
1	Massa jenis (40°C)	kg/m ³	850 – 890	859	868	SNI 7182:2015
2	Viskositas kinematik (40°C)	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	2,70	3,08	SNI 7182:2015

Viskositas mempengaruhi kualitas atomisasi, tetesan bahan bakar, kemudahan nyala mesin, karakteristik penyemprotan bahan bakar, kualitas pembakaran. Viskositas bahan bakar yang sangat tinggi atau rendah mempengaruhi mesin. Jika viskositas sangat rendah maka pelumasan pada mesin akan tidak cukup sehingga menyebabkan keausan mesin. Semakin tinggi kekentalan bahan bakar akan menyebabkan tetesan selama injeksi menjadi besar yang mempengaruhi emisi pembakaran [3, 26]. Viskositas kinematik merupakan sifat penting pada biodiesel. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas biodiesel dengan katalis KOH sebesar 2,7 cSt sedangkan dengan katalis NaOH sebesar 3,08 cSt. Hasil yang diperoleh masih dalam rentang standar mutu kualitas biodiesel.

Karakteristik kadar FFA, bilangan asam, gliserol total, dan ester alkil

Pada tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan standar mutu kadar FFA antara CPO dan minyak goreng dari kelapa sawit. Terdapat tiga klasifikasi kualitas CPO yaitu *low grade*, *grade*, dan *high grade* dengan kadar FFA masing – masing berkisar >5%, 1 – 5% , 0,1 – 1% namun banyak riset menyatakan kualitas CPO yang digunakan termasuk *off grade* [12, 24]. Pada minyak goreng berbahan dasar kelapa sawit, kadar FFA maksimum 0,3% (SNI). Hasil pengujian kadar FFA minyak goreng sawit yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah 0,307%. Hasil pengujian Kadar FFA biodiesel dari minyak goreng sawit menggunakan katalis KOH adalah 0,205% dan menggunakan katalis NaOH adalah 0,368%. Berdasarkan data tersebut biodiesel dengan katalis KOH memenuhi

Commented [MD7]: SNI berapa?

Commented [er8R7]: sudah ditambahkan di reviewer satunya

standar mutu CPO maupun SNI minyak goreng sawit, sedangkan untuk biodiesel dengan katalis NaOH memenuhi standar mutu CPO namun tidak memenuhi standar SNI. Kadar FFA dalam biodiesel harus serendah mungkin, karena bersifat korosif serta menimbulkan kerak pada injektor mesin diesel. Kadar FFA yang tinggi dapat terjadi akibat penggunaan katalis alkali, dimana saat dilarutkan dengan alkohol membentuk air yang mudah bereaksi dengan trigliserida minyak sawit menghasilkan FFA selain metil ester biodiesel yang pada akhirnya terbentuk sabun dan menurunkan yield ester [2, 8, 25]. Oleh karena itu semakin kecil kadar FFA maka kualitas biodiesel semakin baik.

Tabel 4. Karakteristik kadar FFA pada biodiesel

Uji Kualitas	Satuan, min/max	Standar Mutu		Hasil Penelitian		Metode Pengujian
		Klasifikasi CPO	Minyak goreng sawit	KOH	NaOH	
% FFA	%, max	Low grade	> 5	SNI 0,3	0,205	0,368
		Grade	1-5			
		High grade	0,1-1			

Tabel 5 menunjukkan uji kualitas biodiesel yang metode pengujiannya menggunakan standar prosedur FBI. Pengujian bilangan asam pada biodiesel hasil penelitian adalah 0,3716 mg-KOH/g untuk katalis KOH dan 0,38 mg-KOH/g untuk katalis NaOH, dimana tidak melebihi standar mutu SNI dan standar yang ditetapkan oleh Dirjen EBTKE (SK Dirjen EBTKE No.195.K/EK.05/DJE/2022 tanggal 9 Desember 2022). Berat molekul untuk menghitung bilangan asam berdasarkan kandungan asam lemak terbanyak yang terdapat dalam minyak kelapa sawit, yaitu asam palmitat (sekitar 47,9% wt) dengan berat molekul 256. Fungsi bilangan asam adalah untuk menetralkan asam lemak bebas atau sisa asam mineral dalam satu gram contoh biodiesel. Rendahnya bilangan asam yang dihasilkan menandakan bahwa minyak goreng sawit hampir sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester. Bilangan asam yang melebihi standar mutu pada biodiesel akan berpengaruh pada saat biodiesel tersebut digunakan yaitu dapat terdeposit pada system bahan bakar, mengurangi usia pompa dan filter, menyebabkan korosi selama penyimpanan dan transportasi [3, 11, 18, 20, 21].

Tabel 5. Karakteristik bilangan asam, gliserol total, kadar ester alkil pada Biodiesel

No	Uji Kualitas/ Parameter uji	Satuan, min/max	SNI	Hasil Penelitian		Metode Pengujian
				KOH	NaOH	
1	Bilangan Asam	mg-KOH/g max	0,4	0,3716	0,38	FBI-A01-03
2	Gliserol total	%-massa, max	0,24	0,012	0,296	FBI-A02-03
3	Angka penyabunan	mg-KOH/g	-	58,99	29,37	FBI-A03-03
4	Kadar ester alkil	%-massa, min	96,5	99,074	96,7	FBI-A03-03

Gliserol total pada sampel biodiesel merupakan kandungan gliserida dalam bentuk mono-, di-, trigliserida setelah diubah menjadi metil ester dan gliserol secara transesterifikasi. Konsep dasar reaksi titrasi gliserol adalah teroksidasinya natrium periodat sehingga terbentuk asam format dengan gugus hidroksil lebih dari dua pada molekulnya.

Selama oksidasi terbentuk formaldehid pada gugus hidroksil primer dan asam format pada gugus hidroksil sekunder [9].



Pengujian sampel biodiesel terhadap kadar gliserol total diperoleh sebesar 0,012%-massa dengan katalis KOH dan 0,296%-massa dengan katalis NaOH. Berdasarkan data kadar gliserol total tersebut, penggunaan katalis KOH memenuhi standar SNI dan SK Dirjen EBTKE tahun 2022, namun dengan katalis NaOH kadar gliserol total tidak memenuhi standar. Munculnya kadar gliserol yang melebihi standar saat menggunakan katalis NaOH disebabkan oleh proses transesterifikasi kurang sempurna atau terjadi reaksi balik antara metil ester dengan gliserida. Pada pembuatan biodiesel dari minyak goreng kelapa sawit, gliserol merupakan hasil samping dari reaksi transesterifikasi. Proses transesterifikasi yang lebih lama dapat menurunkan kandungan gliserol dalam biodiesel. Waktu transesterifikasi pada penelitian ini adalah 4 jam dengan pengadukan selama 8 menit. Lamanya proses transesterifikasi mengakibatkan trigliserida dalam minyak terkonversi menjadi metil ester biodiesel lebih banyak. Semakin sedikit kadar gliserol maka semakin baik kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Bilangan penyabunan dimaksudkan untuk menyabunkan satu gram minyak/lemak yang terbentuk selama proses transesterifikasi biodiesel (reaksi antara KOH/NaOH dengan metil ester) berupa *monoacylglycerols* (MAG), *diacylglycerols* (DAG), dan *triacylglycerols* (TAG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan penyabunan dengan katalis KOH diperoleh sebesar 58,99 mg-KOH/g biodiesel dan dengan katalis NaOH didapatkan 29,37 mg-KOH/g. Bilangan penyabunan bergantung pada kadar asam lemak dan berat molekul minyak/ biodiesel, dimana semakin tinggi berat molekul maka semakin rendah penyabunan dan berlaku sebaliknya [27]. Bilangan penyabunan yang diperoleh digunakan untuk menentukan kadar ester alkil dalam biodiesel. Penentuan kadar ester alkil biodiesel dihitung berdasarkan selisih bilangan asam dan bilangan penyabunan. Kadar ester alkil hasil penelitian untuk katalis KOH sebesar 99,074%-massa sedangkan untuk katalis NaOH sebesar 96,7%-massa yang memenuhi standar SNI, dimana standar minimal SNI sebesar 96,5%-massa. Kadar ester alkil yang semakin tinggi menunjukkan tingkat kemurnian biodiesel yang dihasilkan, artinya proses transesterifikasi berlangsung efektif.

4. KESIMPULAN

Pembuatan biodiesel secara transesterifikasi menggunakan katalis homogen pada temperature kamar, waktu pengadukan 8 menit dan waktu reaksi 4 jam menghasilkan massa jenis dan viskositas yang telah memenuhi standar mutu biodiesel. Analisis karakteristik FFA, bilangan asam, gliserol total, angka penyabunan dan kadar ester alkil memenuhi standar mutu biodiesel untuk katalis KOH, namun untuk katalis NaOH pada pengujian gliserol total belum memenuhi standar mutu. Transesterifikasi pada temperature kamar memerlukan waktu lebih lama namun dapat menurunkan konsumsi energi. Perlu dilakukan penentuan kondisi optimum yang tepat pada penggunaan katalis homogen NaOH agar biodiesel hasil memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan. Biodiesel dengan

Commented [MD9]: Sudah cukup baik dalam membahas dan dibandingkan dengan penelitian terdahulu

Commented [er10R9]: Terimakasih banyak pak... 😊

katalis KOH/NaOH yang telah memenuhi standar mutu perlu diujikan kelayakannya pada mesin diesel.

5. PENGHARGAAN (OPSIONAL)

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada LPPM ITN Malang yang telah memberikan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2013. *Outlook Energi Indonesia 2013*. Jakarta: BPPT.
- [2] M. Prabhakar, M. K. D. Kiani, K. Bhaskar, S. Sendilvelan, S. Prakash, dan L. R. Sasykova, "Studies on pongamia oil methyl ester fueled direct injection diesel engine to increase efficiency and to reduce harmful emissions". *ADVANCED BIOFUELS Applications, Technologies And Environmental Sustainability*. Woodhead Publishing, 2015.
- [3] A. Pandey, *Handbook of Plant-Based Biofuels*. CRC Press, 2009.
- [4] H. Belkhanchi, M. Rouan, M. Hammi, Y. Ziat, dan M. Chigr, "Synthesis of biodiesel by transesterification of used frying oils (UFO) through basic homogeneous catalysts (NaOH and KOH)," *Biointerface Res. Appl. Chem.*, vol. 11, no. 5, hal. 12858–12868, 2021, doi: 10.33263/BRIAC115.1285812868.
- [5] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 1, hal. 14–34, 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001.
- [6] C. Ragonese, P. Q. Tranchida, D. Sciarrone, dan L. Mondello, "Conventional and fast gas chromatography analysis of biodiesel blends using an ionic liquid stationary phase," *J. Chromatogr. A*, vol. 1216, no. 51, hal. 8992–8997, 2009, doi: 10.1016/j.chroma.2009.10.066.
- [7] P. Vignesh *et al.*, "Biodiesel and green diesel generation: an overview," *Oil Gas Sci. Technol. – Rev. IFP Energies Nouv.*, vol. 76, no. 6, hal. 1–15, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03106562>.
- [8] S. Pradhan *et al.*, "Synthesis of potassium glyceroxide catalyst for sustainable green fuel (biodiesel) production," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 46, hal. 266–272, 2017, doi: 10.1016/j.jiec.2016.10.038.
- [9] M. L. Pisarello, B. O. Dalla Costa, N. S. Veizaga, dan C. A. Querini, "Volumetric method for free and total glycerin determination in biodiesel." *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 49, no. 19, hal. 8935–8941, 2010, doi: 10.1021/ie100725f.
- [10] J. Jimmy, E. Y. Setyawan, dan E. K. Rastini, "Alkali-Catalyzed Palm Oil Transesterification at Room Temperature: Effect of Stirring Time and Reaction Time," *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 7, no. 1, hal. 63–73, 2022, doi: 10.33366/rekabuana.v7i1.3211.
- [11] T. Issariyakul dan A. K. Dalai, "Comparative kinetics of transesterification for biodiesel production from palm oil and mustard oil," *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 90, no. 2, hal. 342–350, 2012, doi: 10.1002/cjce.20679.

Commented [MD11]: Perlu lanjutan penelitian terkait katalis NaOH untuk bisa mendapatkan kondisi optimum dalam mendapatkan kualitas biodiesel

Commented [er12R11]: Terimakasih pak, sudah ditambahkan di reviewer satunya

- [12] S. Sumari, A. Santoso, dan M. R. Asrori, "A review: Synthesis of biodiesel from low/off grade crude palm oil on pretreatment, transesterification, and characteristics," *Orbital*, vol. 13, no. 4, hal. 385–391, 2021, doi: 10.17807/ORBITAL.V13I4.1632.
- [13] Jimmy dan C. Andrew, "Microwave assisted to biodiesel production from palm oil in time and material feeding frequency," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 8, no. 4, hal. 1695–1700, 2015.
- [14] G. Fikria dan C. Rustana, "Analysis of the Physical Characteristics of Biodiesel Products Made From Used Cooking Oil," *J. Neutrino*, vol. 14, no. 2, hal. 63–69, 2022, doi: 10.18860/neu.v14i2.14131.
- [15] T. C. Venkateswarulu *et al.*, "Review on methods of transesterification of oils and fats in bio-diesel formation," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 6, no. 4, hal. 2568–2576, 2014.
- [16] E. Deemer *et al.*, "Analytical Technique for Measuring Bound Glycerides in A Biodiesel Composition," *United States Pat.*, vol. 87, no. 12, hal. 3369–3372, 2013.
- [17] A. Santoso, Sumari, U. Urfa Zakiyya, dan A. Tiara Nur, "Methyl Ester Synthesis of Crude Palm Oil off Grade Using the K_2O/Al_2O_3 Catalyst and Its Potential as Biodiesel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 515, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/515/1/012042.
- [18] H. Wang, H. Tang, J. Wilson, S. O. Salley, dan K. Y. S. Ng, "Total acid number determination of biodiesel and biodiesel blends," *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 85, no. 11, hal. 1083–1086, 2008, doi: 10.1007/s11746-008-1289-8.
- [19] D. Vishal, S. Dubey, R. Goyal, G. Dwivedi, P. Baredar, dan M. Chhabra, "Optimization of alkali-catalyzed transesterification of rubber oil for biodiesel production & its impact on engine performance," *Renew. Energy*, vol. 158, hal. 167–180, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.05.136.
- [20] Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Suwannakarn, K., Bruce, D. A., & Goodwin, J. G. (2005). Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(14), 5353–5363. <https://doi.org/10.1021/ie049157g>
- [21] A. Hayyan, M. Ali Hashim, F. S. Mjalli, M. Hayyan, dan I. M. AlNashef, "A novel phosphonium-based deep eutectic catalyst for biodiesel production from industrial low grade crude palm oil," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 92, hal. 81–88, 2013, doi: 10.1016/j.ces.2012.12.024.
- [22] "Kepdirjen EBTKE Standar Dan Mutu (Spesifikasi) BBN Jenis Diesel Nabati (Diesel Biohidrokarbon) Sebagai Bahan Bakar Lain Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri." 2022.
- [23] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 1, hal. 14–34, 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001.
- [24] A. Santoso, Sumari, U. Urfa Zakiyya, dan A. Tiara Nur, "Methyl Ester Synthesis of Crude Palm Oil off Grade Using the K_2O/Al_2O_3 Catalyst and Its Potential as Biodiesel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 515, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/515/1/012042.

- [25] M. F. Jauhari dan R. S. Maryati, "Analisa Perbandingan Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Penggunaan Jenis Reaktor," *J. INTEKNA*, vol. 18, no. 1, hal. 31–39, 2018.
- [26] M. Mofijur, M. G. Rasul, N. M. S. Hassan, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, dan H. M. Mahmudul, "Assessment of physical, chemical, and tribological properties of different biodiesel fuels," *Clean Energy Sustain. Dev. Comp. Contrasts New Approaches*, hal. 441–463, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-805423-9.00014-4.
- [27] Rahmawati, A. Noor, Maming, dan M. Zakir, "Quality analysis of Biodiesel from Palm Oil," *Mar. Chim. Acta Int. J.*, 2016.

Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, X (X), 20XX, page

Tersedia online di <https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/rekabuana>

ISSN 2503-2682 (Online)

ISSN 2503-3654 (Cetak)



Karakterisasi Kualitas Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Homogen
(*Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts*)

Commented [CK1]: Mohon disebutkan di judul apa jenis katalisnya

IDENTITAS PENULIS DIHAPUS UNTUK TUJUAN REVIEW

ARTICLE INFO	ABSTRAK
<p>Article history Received : Revised : Accepted :</p> <p>DOI :</p> <p>Keywords :</p> <p>e-mail corresponding author :</p>	<p>Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan sebagai alternatif bahan bakar pada mesin diesel. Penggunaannya dapat dikombinasi dengan petrodiesel. Pembuatan biodiesel dengan katalis homogen (KOH/NaOH) memerlukan biaya produksi yang murah. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik fisika dan kimia produk biodiesel dengan katalis homogen dari minyak kelapa sawit <i>food grade</i> yang dikerjakan pada temperatur kamar, waktu pengadukan 8 menit (200 rpm), waktu reaksi 4 jam dengan rasio mol metanol:minyak 6:1. Hasil pengujian kelayakan terhadap massa jenis (KOH 859 kg/m³, NaOH 868 kg/m³) dan viskositas (KOH 2,70 cSt, NaOH 3,08 cSt) menunjukkan bahwa biodiesel telah memenuhi syarat mutu bahan bakar nabati. Hasil pengujian kelayakan FFA, bilangan asam, gliserol total, bilangan penyabunan dan kadar ester alkil untuk biodiesel dengan katalis KOH (berturut-turut 0,205%, 0,3716 mg-KOH/g, 0,012%-massa, 58,99 mg-KOH/g, 99,074%-massa) telah memenuhi syarat mutu, namun untuk NaOH kadar gliserol belum memenuhi syarat mutu bahan bakar nabati sehingga perlu dikaji ulang kondisi optimumnya. Pengujian lanjutan kualitas biodiesel dengan mengaplikasikan pada mesin diesel diperlukan untuk kelayakan produksi. Kata kunci: biodiesel, katalis homogen, karakteristik fisika dan kimia, bahan bakar, mesin diesel</p>
<p>PENERBIT</p> <p>UNITRI PRESS Jl. Telagawarna, Tlogomas- Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500</p>  <p>This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA</p>	<p>ABSTRACT</p> <p><i>Biodiesel is a renewable fuel as an alternative fuel in diesel engines. Its use can be combined with petrodiesel. Making biodiesel with a homogeneous catalyst (KOH/NaOH) requires low production costs. This research was conducted to determine the physical and chemical characteristics of biodiesel products using a homogeneous catalyst from food grade palm oil which was worked at room temperature, stirring time 8 minutes (200 rpm), reaction time 4 hours with a mole ratio of methanol:oil 6:1. The results of the feasibility test for density (KOH 859 kg/m³, NaOH 868 kg/m³) and viscosity (KOH 2.70 cSt, NaOH 3.08 cSt) show that biodiesel meets the quality requirements of biofuels. FFA feasibility test results, acid number, total glycerol, saponification number and alkyl ester content for biodiesel with KOH catalyst (0.205%, 0.3716 mg-KOH/g, 0.012%-mass, 58.99 mg-KOH/g, 99.074%-mass, respectively) has met the quality requirements, but for NaOH the glycerol content has not met the quality requirements for biofuels so it is necessary to review the optimum conditions. Further testing of biodiesel quality by applying it to diesel engines is required for production feasibility.</i> <i>Keywords: biodiesel, homogeneous catalyst, physical and chemical characteristics, fuel, diesel engine</i></p>
<p>Cara Mengutip : Rastini, E. K., Jimmy, Handoko, F., Sya'ni, M. A. (2023). Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts. <i>Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia</i>, 6(1), 1-10. doi:https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2165</p>	

1. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan akan bahan bakar minyak (BBM) saat ini semakin meningkat. Bahan bakar digunakan bukan hanya untuk transportasi (kendaraan bermotor), namun juga industri-industri besar, menengah maupun kecil dan kebutuhan rumah tangga. Di Indonesia sendiri, kebutuhan terbesar akan bahan bakar minyak pada sektor transportasi dan industri dengan bahan bakar minyak solar menunjukkan penggunaan terbesar [1]. Hal ini cukup masuk akal karena pada sektor transportasi dan industri banyak menggunakan mesin-mesin diesel. Mesin diesel memiliki kemampuan cukup mumpuni dalam bekerja, karakteristik torsi baik, efisiensi termal tinggi, dapat dipakai secara luas juga pada sektor pertanian dan pembangkit listrik [2-4]. Namun penggunaan mesin diesel dengan bahan bakar solar selain memiliki dampak positif, juga memiliki dampak negatif yaitu pada proses pembakaran membebaskan gas-gas yang membahayakan lingkungan seperti emisi partikulat (sulfur, senyawa aromatic polisiklik, timbal), SO_x dan NO_x. Oleh karena itu hampir semua negara mencanangkan pengurangan pemakaian bahan bakar minyak berasal dari minyak bumi (tidak terbarukan) agar menurunkan timbulnya emisi gas berbahaya ke lingkungan. Untuk itu selama beberapa dekade telah dikembangkan pembuatan bahan bakar terbarukan sebagai alternatif minyak solar yaitu biodiesel. Penggunaan biodiesel pada mesin diesel dapat dikombinasikan dengan petrodiesel atau tanpa kombinasi. Beberapa rasio campuran minyak solar dengan biodiesel (v/v) telah diteliti dan menunjukkan bahwa komposisi tersebut mampu mengurangi emisi yang terjadi di lingkungan [2], [5-6], [14].

Biodiesel berasal dari tumbuhan dan hewan yang dapat menghasilkan minyak (edible/non edible) dan lemak, namun dapat juga dibuat dari minyak goreng bekas dan produk limbah. Minyak tumbuhan atau lemak hewani diproses secara transesterifikasi sehingga menghasilkan asam lemak rantai panjang monoalkil ester (fatty acid methyl ester/FAME) yang memiliki karakteristik sama dengan minyak solar. Kelebihan biodiesel dibanding dengan petrodiesel yaitu memiliki viskositas lebih tinggi sekitar 10 kalinya, nilai kalor lebih rendah, secara stoikiometri meningkatkan rasio bahan bakar/udara karena molekul oksigen, *biodegradable*, tidak beracun dan bersih, emisi SO_x mendekati nol, emisi NO_x menurun (dikombinasi dengan petrodiesel), rendah polusi dengan titik nyala tinggi, produksi bahan baku biodiesel relatif aman. Usia mesin juga dapat diperpanjang berkat penggunaan biodiesel dan mengurangi 90% total hidrokarbon yang tak terbakar [3-5], [7-9]. Pemilihan tumbuhan yang dapat menghasilkan minyak biodiesel merupakan hal penting karena komposisi asam lemak menentukan sifat bahan bakarnya seperti karakteristik destilasi, berat jenis, stabilitas oksidasi, angka setana.

Teknologi produksi biodiesel secara transesterifikasi beragam dapat menggunakan katalis basa, katalis asam, alkohol superkritis, ultrasonic, transesterifikasi berbasis lipase, proses esterifikasi dua tahap berkatalis asam-alkali. Masing-masing teknik memiliki kelebihan dan kekurangannya [2-3], [15]. Reaksi transesterifikasi minyak dan alkohol (metanol, etanol/ butanol) dengan adanya katalis terjadi secara bertahap dimulai dari konversi trigliserida menjadi digliserida, dilanjutkan digliserida terkonversi menjadi monogliserida kemudian hasil akhir monogliserida terkonversi menjadi metil ester

(FAME) dan gliserol sebagai hasil samping. Setiap tahapan reaksi tersebut membutuhkan satu mol alkohol [10-14]. Metil ester hasil transesterifikasi memiliki panjang rantai karbon antara C₁₄ dan C₂₄ [5-6, 23].

Tabel 1. Perbandingan Ragam Teknologi Produksi Biodiesel

Variabel	Alkali	Asam	Dua Tahap	Ultrasonic	Lipase	Superkritis
Suhu reaksi (°C)	40 – 70	55 – 80	40 – 70	30 – 40	30 – 40	240 – 385
Yield	Normal	Normal	Baik	Tinggi	Tinggi	Baik
Glycerol recovery	Rumit	Rumit	Rumit	Rumit	Mudah	-
Pemurnian ester	Pencucian	Pencucian	Pencucian	Pencucian	-	-
Biaya produksi	Murah	Murah	Murah	Sedang	Mahal	Sedang

Sumber: Handbook of Plant-Based Biofuels, 2009

Berdasarkan tabel 1, maka proses produksi biodiesel dengan biaya cukup ekonomis adalah menggunakan katalis alkali, asam, dan proses esterifikasi dua tahap.

Hasil penelitian sebelumnya mengenai pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit secara transesterifikasi dengan berbagai katalis telah dilakukan, ditunjukkan pada tabel 2. Pada tabel tersebut, penggunaan variasi waktu, suhu, katalis, rasio mol methanol:minyak dan kondisi opsional akan mempengaruhi *yield* ester yang dihasilkan. Penggunaan katalis alkali memerlukan waktu reaksi 1 – 2 jam dengan suhu 40 – 60°C. Katalis padat seperti CaO, Na₂O, dan kombinasi katalis padat yang lain juga telah digunakan dalam pembuatan biodiesel, namun masih perlu riset lebih lanjut karena waktu yang dibutuhkan relatif lama, suhu diatas 60°C, *yield* ester tidak menentu. Pembuatan biodiesel dari minyak nabati lainnya (minyak jarak pagar, minyak kedelai) dengan menggunakan katalis KOH, NaOH 1%, rasio mol methanol:minyak = 6:1, dan rentang suhu 30 – 60°C memerlukan waktu reaksi 2 – 4 jam untuk menghasilkan *yield* ester tinggi [10], [12].

Tabel 2. Transesterifikasi minyak kelapa sawit pada kondisi optimum

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Katalis	Rasio mol methanol:minyak	Kondisi opsional	Yield ester (%)
1	40-50	KOH 1% wt	6:1	-	60
2	50	KOH 1% wt	10:1	400 rpm	89,84
1	50-58	KOH 1% wt	6:1	-	81,94
1	60	KOH 1% wt	10:1	400 rpm, esterifikasi dengan katalis BZSA	88,67
1	60	KOH 1% wt	10:1	400 rpm, esterifikasi dengan asam kromosulfat	85
2	60	KOH 1% b	20:1	-	80,14
2	60	3% wt zeolit alam/KOH	8:1	Tanpa data [KOH]	97,79
2	60	4% wt zeolite/KOH	8:1	KOH 75%	96,99
2	60	3% wt K/zeolite	8:1	KOH 75%	92,04
2	60	7,36% K/zeolite alam	8:1	KOH solution 50 g/100 ml	95,84
2,5	60	KOH 2% wt	18:1	2 bar, reaktor membran	72,02
3	60	CaO/abu terbang 7% wt	8:1	400 rpm	61,72
3	60	Na ₂ O/abu terbang 4% wt	8:1	400 rpm; abu terbang (SiO ₂ , Na ₂ O & Na ₂ CaSi ₃ O ₈)	77,33

Tabel 2 – Transesterifikasi minyak kelapa sawit pada kondisi optimum (*lanjutan*)

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Katalis	Rasio mol metanol:minyak	Kondisi opsional	Yield ester (%)
3	60	Na ₂ O/Fe ₃ O ₄ 2%-w	8:1	-	59,92
3	60	Na ₂ O/abu terbang 4%wt	8:1	Tanpa data abu terbang	81,2
4	60	4% K ₂ O/Al ₂ O ₃ (w/w)	12:1	200 rpm, sentrifus: 20 menit, 3000 rpm	85,58
1,67	65	ZnO 2%-w	18:1	-	94,26
1,67	65	CaO 2%-b	12:1	-	29,5
2	65	Zeolite/KI	10:1	Conveyance catalyst (90°C) 2,5% (b/v)	67,39
2	70	Fe ₃ O ₄ /CaO 6%	10:1	-	90
2	70	CaO 2% wt	11:1	-	87,41
2	70	Ca ₂ Fe ₂ O ₅ 1% wt	11:1	-	52,34
2	70	CaO/limbah besi 3% wt	6:1	400 rpm	67,64
3	70	CaO/abu terbang 6%wt	6:1	-	59,34

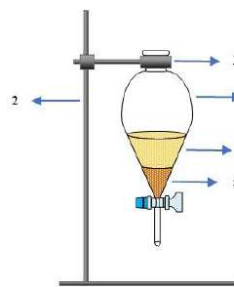
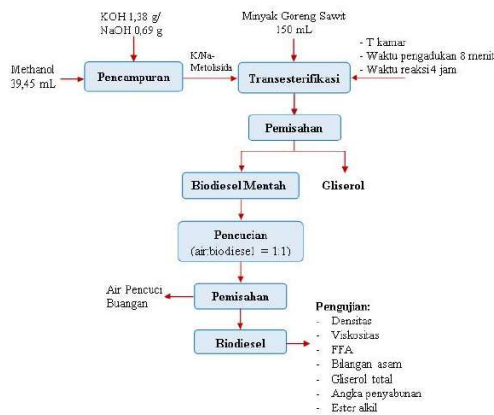
Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kualitas produk biodiesel hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis homogen (KOH dan NaOH) pada kondisi optimum riset sebelumnya (yield ester tinggi). Kondisi transesterifikasi yang digunakan yaitu pada temperature kamar, waktu pengadukan terbaik pada 8 menit, waktu reaksi terbaik pada 4 jam dengan rasio mol metanol:minyak = 6:1 [10]. Terdapat beberapa metode pengujian terhadap kualitas biodiesel sebagai syarat mutu standar yang telah ditetapkan pemerintah (standar FBI atau SNI, SK Dirjen EBTKE tahun 2022), dan pada penelitian ini menguji massa jenis, viskositas, kadar angka asam, FFA, gliserol total, bilangan penyabunan dan ester alkil. Pengujian ini diperlukan karena selama proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dengan katalis homogen tersebut dimungkinkan adanya sejumlah kecil reaktan dan produk samping seperti air, gliserol bebas, gliserol terikat, FFA, katalis, serta residu alkohol yang dapat mempengaruhi kualitas produk akhir [15-19]. Hasil pengujian akan menentukan kelayakan kondisi optimum proses transesterifikasi dengan katalis homogen.

2. METODE PENELITIAN

Sampel biodiesel dibuat dari 150 mL minyak kelapa sawit *food grade* (minyak goreng sunco), dengan penambahan methanol 20% dari berat minyak, yang telah dikatalisis secara basa menggunakan KOH dan NaOH. Masing-masing katalis basa (KOH 1% berat minyak dan NaOH 0,5% berat minyak) dicampurkan dahulu dengan methanol 39,45 mL (99% teknis) pada wadah berbeda sampai homogen. Campuran alkali metoksida yang telah homogen dimasukkan ke dalam erlenmeyer berpengaduk magnetik berisi minyak goreng (rasio mol metanol:minyak = 6:1), kecepatan pengadukan diatur pada 200 rpm. Transesterifikasi dilakukan dengan waktu pengadukan selama 8 menit, dan waktu reaksi selama 4 jam. Biodiesel mentah dicuci menggunakan aquadest (1:1) dan dilakukan pengocokan selama 30 menit. Pencucian biodiesel diulang sebanyak 5 kali, kemudian dimasukkan kedalam corong pisah dan didiamkan selama 4 jam. Terbentuk dua lapisan,

Commented [CK2]: Mohon dirangkum di akhir pendahuluan ini, sebagai penutup secara singkat kebaruan/neoveltly penelitian ini...dan kontribusinya bagi ilmu pengetahuan.. sehingga tergambar urgensitas penelitian ini

dimana lapisan atas berupa metil ester dan lapisan bawah gliserol. Selanjutnya dilakukan pemisahan metil ester dan gliserol. Biodiesel dengan katalis homogen tersebut kemudian diuji kualitasnya dengan menentukan densitas, viskositas, kadar angka asam, FFA, gliserol total, ester alkil dengan mengacu prosedur standar mutu pengujian (FBI-A-01-03 atau bagian 9.13 pada SNI 7182:2015 atau AOCS Cd 3d-63/ASTM D-664, FBI-A02-03 atau bagian 9.14 pada SNI 7182:2015 atau AOCS Ca 14-56/ASTM D-6584, AOCS Ca 5A-4, FBI-A03-03 atau bagian 9.15 pada SNI 7182:2015).



Gambar 1. Proses pembuatan biodiesel pada suhu kamar dan pemisahannya: A. diagram alir, B. Pemisahan biodiesel: (1) klep, (2) statif, (3) corong pisah, (4) biodiesel, (5) gliserol

Commented [CK3]: Mohon untuk gambar A diperbesar (diperjelas) lebih baik dipisah dengan gambar B.

Penentuan massa jenis dan viskositas berturut-turut dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (1)$$

$$viskositas = C \times t \dots \dots \dots (2)$$

Kadar FFA, bilangan asam, gliserol total, angka penyabunan dan kadar ester alkil berturut-turut ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\%FFA = \frac{T \times N \times BM}{\text{bobot contoh}(gr) \times 1000} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{bilangan asam} = \frac{56,1 \times V \times N \text{ mg} \frac{KOH}{g} \text{ biodiesel}}{m} \dots \dots \dots (4)$$

$$Gttl(\% - b) = \frac{2,302 \times (B - C) \times N}{W} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Angka penyabunan (As)} = \frac{56,1 \times (B - C) \times N \frac{mgKOH}{g} \text{ biodiesel}}{m} \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{kadar ester alkil}(\% - b) = \frac{100 \times (As - Aa - 4,57Gttl)}{As} \dots \dots \dots (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel hasil penelitian dengan menggunakan katalis homogen diuji karakteristik secara fisika dan kimia dengan standar mutu yang telah ditetapkan (SNI). Pengujian ini sangat penting untuk memastikan bahwa proses transesterifikasi berjalan dengan baik.

Karakteristik Massa jenis dan Viskositas Biodiesel

Massa jenis atau berat jenis merupakan sifat penting pada semua bahan bakar karena mempengaruhi karakteristik kinerja mesin secara langsung, terkait dengan efisiensi atomisasi bahan bakar dan karakteristik pembakaran. Massa jenis juga dibutuhkan pada proses pembuatan, penyimpanan serta distribusi bahan bakar. Hasil penelitian pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan katalis homogen pada tabel 3 menunjukkan massa jenis sampel biodiesel sesuai standar yang ditetapkan (SNI), untuk katalis KOH massa jenis 859 kg/m³ sedangkan untuk katalis NaOH massa jenis 868 kg/m³. Tinggi rendahnya massa jenis dari biodiesel dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan asam lemak yang terkandung pada bahan baku minyak. Apabila tingkat kejenuhan tinggi maka massa jenis menjadi rendah [2, 26].

Tabel 3. Karakteristik massa jenis dan viskositas biodiesel

No	Uji Kualitas/ Parameter uji	Satuan, min/max	SNI	Hasil Penelitian		Metode Pengujian
				KOH	NaOH	
1	Massa jenis (40°C)	kg/m ³	850 – 890	859	868	SNI 7182:2015
2	Viskositas kinematik (40°C)	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	2,70	3,08	SNI 7182:2015

Viskositas mempengaruhi kualitas atomisasi, tetesan bahan bakar, kemudahan nyala mesin, karakteristik penyemprotan bahan bakar, kualitas pembakaran. Viskositas bahan bakar yang sangat tinggi atau rendah mempengaruhi mesin. Jika viskositas sangat rendah maka pelumasan pada mesin akan tidak cukup sehingga menyebabkan keausan mesin. Semakin tinggi kekentalan bahan bakar akan menyebabkan tetesan selama injeksi menjadi besar yang mempengaruhi emisi pembakaran [3, 26]. Viskositas kinematik merupakan sifat penting pada biodiesel. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas biodiesel dengan katalis KOH sebesar 2,7 cSt sedangkan dengan katalis NaOH sebesar 3,08 cSt. Hasil yang diperoleh masih dalam rentang standar mutu kualitas biodiesel.

Karakteristik kadar FFA, bilangan asam, gliserol total, dan ester alkil

Pada tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan standar mutu kadar FFA antara CPO dan minyak goreng dari kelapa sawit. Terdapat tiga klasifikasi kualitas CPO yaitu *low grade*, *grade*, dan *high grade* dengan kadar FFA masing – masing berkisar >5%, 1 – 5% , 0,1 – 1% namun banyak riset menyatakan kualitas CPO yang digunakan termasuk *off grade* [12, 24]. Pada minyak goreng berbahan dasar kelapa sawit, kadar FFA maksimum 0,3% (SNI). Hasil pengujian kadar FFA minyak goreng sawit yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah 0,307%. Hasil pengujian Kadar FFA biodiesel dari minyak goreng sawit menggunakan katalis KOH adalah 0,205% dan menggunakan katalis NaOH adalah 0,368%. Berdasarkan data tersebut biodiesel dengan katalis KOH memenuhi

standar mutu CPO maupun SNI minyak goreng sawit, sedangkan untuk biodiesel dengan katalis NaOH memenuhi standar mutu CPO namun tidak memenuhi standar SNI. Kadar FFA dalam biodiesel harus serendah mungkin, karena bersifat korosif serta menimbulkan kerak pada injektor mesin diesel. Kadar FFA yang tinggi dapat terjadi akibat penggunaan katalis alkali, dimana saat dilarutkan dengan alkohol membentuk air yang mudah bereaksi dengan trigliserida minyak sawit menghasilkan FFA selain metil ester biodiesel yang pada akhirnya terbentuk sabun dan menurunkan yield ester [2, 8, 25]. Oleh karena itu semakin kecil kadar FFA maka kualitas biodiesel semakin baik.

Tabel 4. Karakteristik kadar FFA pada biodiesel

Uji Kualitas	Satuan, min/max	Standar Mutu		Hasil Penelitian		Metode Pengujian		
		Klasifikasi CPO	Minyak goreng sawit	KOH	NaOH			
% FFA	%, max	Low grade	> 5	SNI	0,3	0,205	0,368	AOCS Ca 5A-40 (Titrimetri)
		Grade	1-5					
		High grade	0,1-1					

Tabel 5 menunjukkan uji kualitas biodiesel yang metode pengujiannya menggunakan standar prosedur FBI. Pengujian bilangan asam pada biodiesel hasil penelitian adalah 0,3716 mg-KOH/g untuk katalis KOH dan 0,38 mg-KOH/g untuk katalis NaOH, dimana tidak melebihi standar mutu SNI dan standar yang ditetapkan oleh Dirjen EBTKE (SK Dirjen EBTKE No.195.K/EK.05/DJE/2022 tanggal 9 Desember 2022). Berat molekul untuk menghitung bilangan asam berdasarkan kandungan asam lemak terbanyak yang terdapat dalam minyak kelapa sawit, yaitu asam palmitat (sekitar 47,9% wt) dengan berat molekul 256. Fungsi bilangan asam adalah untuk menetralkan asam lemak bebas atau sisa asam mineral dalam satu gram contoh biodiesel. Rendahnya bilangan asam yang dihasilkan menandakan bahwa minyak goreng sawit hampir sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester. Bilangan asam yang melebihi standar mutu pada biodiesel akan berpengaruh pada saat biodiesel tersebut digunakan yaitu dapat terdeposit pada system bahan bakar, mengurangi usia pompa dan filter, menyebabkan korosi selama penyimpanan dan transportasi [3, 11, 18, 20, 21].

Tabel 5. Karakteristik bilangan asam, gliserol total, kadar ester alkil pada Biodiesel

No	Uji Kualitas/ Parameter uji	Satuan, min/max	SNI	Hasil Penelitian		Metode Pengujian
				KOH	NaOH	
1	Bilangan Asam	mg-KOH/g max	0,4	0,3716	0,38	FBI-A01-03
2	Gliserol total	%-massa, max	0,24	0,012	0,296	FBI-A02-03
3	Angka penyabunan	mg-KOH/g	-	58,99	29,37	FBI-A03-03
4	Kadar ester alkil	%-massa, min	96,5	99,074	96,7	FBI-A03-03

Gliserol total pada sampel biodiesel merupakan kandungan gliserida dalam bentuk mono-, di-, trigliserida setelah diubah menjadi metil ester dan gliserol secara transesterifikasi. Konsep dasar reaksi titrasi gliserol adalah teroksidasinya natrium periodat sehingga terbentuk asam format dengan gugus hidroksil lebih dari dua pada molekulnya.

Selama oksidasi terbentuk formaldehid pada gugus hidroksil primer dan asam format pada gugus hidroksil sekunder [9].



Pengujian sampel biodiesel terhadap kadar gliserol total diperoleh sebesar 0,012%-massa dengan katalis KOH dan 0,296%-massa dengan katalis NaOH. Berdasarkan data kadar gliserol total tersebut, penggunaan katalis KOH memenuhi standar SNI dan SK Dirjen EBTKE tahun 2022, namun dengan katalis NaOH kadar gliserol total tidak memenuhi standar. Munculnya kadar gliserol yang melebihi standar saat menggunakan katalis NaOH disebabkan oleh proses transesterifikasi kurang sempurna atau terjadi reaksi balik antara metil ester dengan gliserida. Pada pembuatan biodiesel dari minyak goreng kelapa sawit, gliserol merupakan hasil samping dari reaksi transesterifikasi. Proses transesterifikasi yang lebih lama dapat menurunkan kandungan gliserol dalam biodiesel. Waktu transesterifikasi pada penelitian ini adalah 4 jam dengan pengadukan selama 8 menit. Lamanya proses transesterifikasi mengakibatkan trigliserida dalam minyak terkonversi menjadi metil ester biodiesel lebih banyak. Semakin sedikit kadar gliserol maka semakin baik kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Bilangan penyabunan dimaksudkan untuk menyabunkan satu gram minyak/lemak yang terbentuk selama proses transesterifikasi biodiesel (reaksi antara KOH/NaOH dengan metil ester) berupa *monoacylglycerols* (MAG), *diacylglycerols* (DAG), dan *triacylglycerols* (TAG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan penyabunan dengan katalis KOH diperoleh sebesar 58,99 mg-KOH/g biodiesel dan dengan katalis NaOH didapatkan 29,37 mg-KOH/g. Bilangan penyabunan bergantung pada kadar asam lemak dan berat molekul minyak/ biodiesel, dimana semakin tinggi berat molekul maka semakin rendah penyabunan dan berlaku sebaliknya [27]. Bilangan penyabunan yang diperoleh digunakan untuk menentukan kadar ester alkil dalam biodiesel. Penentuan kadar ester alkil biodiesel dihitung berdasarkan selisih bilangan asam dan bilangan penyabunan. Kadar ester alkil hasil penelitian untuk katalis KOH sebesar 99,074%-massa sedangkan untuk katalis NaOH sebesar 96,7%-massa yang memenuhi standar SNI, dimana standar minimal SNI sebesar 96,5%-massa. Kadar ester alkil yang semakin tinggi menunjukkan tingkat kemurnian biodiesel yang dihasilkan, artinya proses transesterifikasi berlangsung efektif.

4. KESIMPULAN

Pembuatan biodiesel secara transesterifikasi menggunakan katalis homogen pada temperature kamar, waktu pengadukan 8 menit dan waktu reaksi 4 jam menghasilkan massa jenis dan viskositas yang telah memenuhi standar mutu biodiesel. Analisis karakteristik FFA, bilangan asam, gliserol total, angka penyabunan dan kadar ester alkil memenuhi standar mutu biodiesel untuk katalis KOH, namun untuk katalis NaOH pada pengujian gliserol total belum memenuhi standar mutu. Transesterifikasi pada temperature kamar memerlukan waktu lebih lama namun dapat menurunkan konsumsi energi. Perlu dilakukan penentuan kondisi optimum yang tepat pada penggunaan katalis homogen NaOH agar biodiesel hasil memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan. Biodiesel dengan

Commented [CK4]: Mohon ditampikan standar mutu biodiesel (SNI berapa)

katalis KOH/NaOH yang telah memenuhi standar mutu perlu diujikan kelayakannya pada mesin diesel.

5. PENGHARGAAN (OPSIONAL)

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada LPPM ITN Malang yang telah memberikan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2013. *Outlook Energi Indonesia 2013*. Jakarta: BPPT.
- [2] M. Prabhakar, M. K. D. Kiani, K. Bhaskar, S. Sendilvelan, S. Prakash, dan L. R. Sasykova, "Studies on pongamia oil methyl ester fueled direct injection diesel engine to increase efficiency and to reduce harmful emissions". *ADVANCED BIOFUELS Applications, Technologies And Environmental Sustainability*. Woodhead Publishing, 2015.
- [3] A. Pandey, *Handbook of Plant-Based Biofuels*. CRC Press, 2009.
- [4] H. Belkhanchi, M. Rouan, M. Hammi, Y. Ziat, dan M. Chigr, "Synthesis of biodiesel by transesterification of used frying oils (UFO) through basic homogeneous catalysts (NaOH and KOH)," *Biointerface Res. Appl. Chem.*, vol. 11, no. 5, hal. 12858–12868, 2021, doi: 10.33263/BRIAC115.1285812868.
- [5] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 1, hal. 14–34, 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001.
- [6] C. Ragonese, P. Q. Tranchida, D. Sciarrone, dan L. Mondello, "Conventional and fast gas chromatography analysis of biodiesel blends using an ionic liquid stationary phase," *J. Chromatogr. A*, vol. 1216, no. 51, hal. 8992–8997, 2009, doi: 10.1016/j.chroma.2009.10.066.
- [7] P. Vignesh *et al.*, "Biodiesel and green diesel generation: an overview," *Oil Gas Sci. Technol. – Rev. IFP Energies Nouv.*, vol. 76, no. 6, hal. 1–15, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03106562>.
- [8] S. Pradhan *et al.*, "Synthesis of potassium glyceroxide catalyst for sustainable green fuel (biodiesel) production," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 46, hal. 266–272, 2017, doi: 10.1016/j.jiec.2016.10.038.
- [9] M. L. Pisarello, B. O. Dalla Costa, N. S. Veizaga, dan C. A. Querini, "Volumetric method for free and total glycerin determination in biodiesel." *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 49, no. 19, hal. 8935–8941, 2010, doi: 10.1021/ie100725f.
- [10] J. Jimmy, E. Y. Setyawan, dan E. K. Rastini, "Alkali-Catalyzed Palm Oil Transesterification at Room Temperature: Effect of Stirring Time and Reaction Time," *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 7, no. 1, hal. 63–73, 2022, doi: 10.33366/rekabuana.v7i1.3211.
- [11] T. Issariyakul dan A. K. Dalai, "Comparative kinetics of transesterification for biodiesel production from palm oil and mustard oil," *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 90, no. 2, hal. 342–350, 2012, doi: 10.1002/cjce.20679.

Commented [CK5]: Mohon dicek karena mendeley tidak sinkron

- [12] S. Sumari, A. Santoso, dan M. R. Asrori, "A review: Synthesis of biodiesel from low/off grade crude palm oil on pretreatment, transesterification, and characteristics," *Orbital*, vol. 13, no. 4, hal. 385–391, 2021, doi: 10.17807/ORBITAL.V13I4.1632.
- [13] Jimmy dan C. Andrew, "Microwave assisted to biodiesel production from palm oil in time and material feeding frequency," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 8, no. 4, hal. 1695–1700, 2015.
- [14] G. Fikria dan C. Rustana, "Analysis of the Physical Characteristics of Biodiesel Products Made From Used Cooking Oil," *J. Neutrino*, vol. 14, no. 2, hal. 63–69, 2022, doi: 10.18860/neu.v14i2.14131.
- [15] T. C. Venkateswarulu *et al.*, "Review on methods of transesterification of oils and fats in bio-diesel formation," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 6, no. 4, hal. 2568–2576, 2014.
- [16] E. Deemer *et al.*, "Analytical Technique for Measuring Bound Glycerides in A Biodiesel Composition," *United States Pat.*, vol. 87, no. 12, hal. 3369–3372, 2013.
- [17] A. Santoso, Sumari, U. Urfa Zakiyya, dan A. Tiara Nur, "Methyl Ester Synthesis of Crude Palm Oil off Grade Using the K_2O/Al_2O_3 Catalyst and Its Potential as Biodiesel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 515, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/515/1/012042.
- [18] H. Wang, H. Tang, J. Wilson, S. O. Salley, dan K. Y. S. Ng, "Total acid number determination of biodiesel and biodiesel blends," *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 85, no. 11, hal. 1083–1086, 2008, doi: 10.1007/s11746-008-1289-8.
- [19] D. Vishal, S. Dubey, R. Goyal, G. Dwivedi, P. Baredar, dan M. Chhabra, "Optimization of alkali-catalyzed transesterification of rubber oil for biodiesel production & its impact on engine performance," *Renew. Energy*, vol. 158, hal. 167–180, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.05.136.
- [20] Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Suwannakarn, K., Bruce, D. A., & Goodwin, J. G. (2005). Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(14), 5353–5363. <https://doi.org/10.1021/ie049157g>
- [21] A. Hayyan, M. Ali Hashim, F. S. Mjalli, M. Hayyan, dan I. M. AlNashef, "A novel phosphonium-based deep eutectic catalyst for biodiesel production from industrial low grade crude palm oil," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 92, hal. 81–88, 2013, doi: 10.1016/j.ces.2012.12.024.
- [22] "Kepdirjen EBTKE Standar Dan Mutu (Spesifikasi) BBN Jenis Diesel Nabati (Diesel Biohidrokarbon) Sebagai Bahan Bakar Lain Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri." 2022.
- [23] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 1, hal. 14–34, 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001.
- [24] A. Santoso, Sumari, U. Urfa Zakiyya, dan A. Tiara Nur, "Methyl Ester Synthesis of Crude Palm Oil off Grade Using the K_2O/Al_2O_3 Catalyst and Its Potential as Biodiesel," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 515, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/515/1/012042.

- [25] M. F. Jauhari dan R. S. Maryati, "Analisa Perbandingan Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Penggunaan Jenis Reaktor," *J. INTEKNA*, vol. 18, no. 1, hal. 31–39, 2018.
- [26] M. Mofijur, M. G. Rasul, N. M. S. Hassan, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, dan H. M. Mahmudul, "Assessment of physical, chemical, and tribological properties of different biodiesel fuels," *Clean Energy Sustain. Dev. Comp. Contrasts New Approaches*, hal. 441–463, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-805423-9.00014-4.
- [27] Rahmawati, A. Noor, Maming, dan M. Zakir, "Quality analysis of Biodiesel from Palm Oil," *Mar. Chim. Acta Int. J.*, 2016.

Revisi Pertama
(26 – 08 – 2022)

Karakterisasi Kualitas Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Homogen KOH dan NaOH (Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts KOH and NaOH)

Commented [CK1]: Mohon disebutkan di judul apa jenis katalisnya

IDENTITAS PENULIS DIHAPUS UNTUK TUJUAN REVIEW

ARTICLE INFO	ABSTRAK
<p>Article history Received : Revised : Accepted :</p> <p>DOI :</p> <p>Keywords :</p> <p>e-mail corresponding author :</p>	<p>Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan sebagai alternatif bahan bakar pada mesin diesel. Penggunaannya dapat dikombinasi dengan petrodiesel. Pembuatan biodiesel dengan katalis homogen (KOH/NaOH) memerlukan biaya produksi yang murah. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik fisika dan kimia produk biodiesel dengan katalis homogen dari minyak kelapa sawit <i>food grade</i> yang dikerjakan pada temperatur kamar, waktu pengadukan 8 menit (200 rpm), waktu reaksi 4 jam dengan rasio mol metanol:minyak 6:1. Hasil pengujian kelayakan terhadap massa jenis (KOH 859 kg/m³, NaOH 868 kg/m³) dan viskositas (KOH 2,70 cSt, NaOH 3,08 cSt) menunjukkan bahwa biodiesel telah memenuhi syarat mutu bahan bakar nabati. Hasil pengujian kelayakan FFA, bilangan asam, gliserol total, bilangan penyabunan dan kadar ester alkil untuk biodiesel dengan katalis KOH (berturut-turut 0,205%, 0,3716 mg-KOH/g, 0,012%-massa, 58,99 mg-KOH/g, 99,074%-massa) telah memenuhi syarat mutu, namun untuk NaOH kadar gliserol belum memenuhi syarat mutu bahan bakar nabati sehingga perlu dikaji ulang kondisi optimumnya. Pengujian lanjutan kualitas biodiesel dengan mengaplikasikan pada mesin diesel diperlukan untuk kelayakan produksi. Kata kunci: biodiesel, katalis homogen, karakteristik fisika dan kimia, bahan bakar, mesin diesel</p>
<p>PENERBIT</p> <p>UNITRI PRESS Jl. Telagawarna, Tlogomas- Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500</p>  <p>This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA</p>	<p>ABSTRACT</p> <p><i>Biodiesel is a renewable fuel as an alternative fuel in diesel engines. Its use can be combined with petrodiesel. Making biodiesel with a homogeneous catalyst (KOH/NaOH) requires low production costs. This research was conducted to determine the physical and chemical characteristics of biodiesel products using a homogeneous catalyst from food grade palm oil which was worked at room temperature, stirring time 8 minutes (200 rpm), reaction time 4 hours with a mole ratio of methanol:oil 6:1. The results of the feasibility test for density (KOH 859 kg/m³, NaOH 868 kg/m³) and viscosity (KOH 2.70 cSt, NaOH 3.08 cSt) show that biodiesel meets the quality requirements of biofuels. FFA feasibility test results, acid number, total glycerol, saponification number and alkyl ester content for biodiesel with KOH catalyst (0.205%, 0.3716 mg-KOH/g, 0.012%-mass, 58.99 mg-KOH/g, 99.074%-mass, respectively) has met the quality requirements, but for NaOH the glycerol content has not met the quality requirements for biofuels so it is necessary to review the optimum conditions. Further testing of biodiesel quality by applying it to diesel engines is required for production feasibility. Keywords: biodiesel, homogeneous catalyst, physical and chemical characteristics, fuel, diesel engine</i></p>
<p>Cara Mengutip : Rastini, E. K., Jimmy, Handoko, F., Sya'ni, M. A. (2023). Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts. <i>Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia</i>, 6(1), 1-10. doi:https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2165</p>	

1. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan akan bahan bakar minyak (BBM) saat ini semakin meningkat. Bahan bakar digunakan bukan hanya untuk transportasi (kendaraan bermotor), namun juga industri-industri besar, menengah maupun kecil dan kebutuhan rumah tangga. Di Indonesia sendiri, kebutuhan terbesar akan bahan bakar minyak pada sektor transportasi dan industri dengan bahan bakar minyak solar menunjukkan penggunaan terbesar [1]. Hal ini cukup masuk akal karena pada sektor transportasi dan industri banyak menggunakan mesin-mesin diesel. Mesin diesel memiliki kemampuan cukup mumpuni dalam bekerja, karakteristik torsi baik, efisiensi termal tinggi, dapat dipakai secara luas juga pada sektor pertanian dan pembangkit listrik [2-4]. Namun penggunaan mesin diesel dengan bahan bakar solar selain memiliki dampak positif, juga memiliki dampak negatif yaitu pada proses pembakaran membebaskan gas-gas yang membahayakan lingkungan seperti emisi partikulat (sulfur, senyawa aromatic polisiklik, timbal), SO_x dan NO_x. Oleh karena itu hampir semua negara mencanangkan pengurangan pemakaian bahan bakar minyak berasal dari minyak bumi (tidak terbarukan) agar menurunkan timbulnya emisi gas berbahaya ke lingkungan. Untuk itu selama beberapa dekade telah dikembangkan pembuatan bahan bakar terbarukan sebagai alternatif minyak solar yaitu biodiesel. Penggunaan biodiesel pada mesin diesel dapat dikombinasikan dengan petrodiesel atau tanpa kombinasi. Beberapa rasio campuran minyak solar dengan biodiesel (v/v) telah diteliti dan menunjukkan bahwa komposisi tersebut mampu mengurangi emisi yang terjadi di lingkungan [2], [5-6], [14].

Biodiesel berasal dari tumbuhan dan hewan yang dapat menghasilkan minyak (edible/non edible) dan lemak, namun dapat juga dibuat dari minyak goreng bekas dan produk limbah. Minyak nabati atau lemak hewani diproses secara transesterifikasi sehingga menghasilkan asam lemak rantai panjang monoalkil ester (fatty acid methyl ester/FAME) yang memiliki karakteristik sama dengan minyak solar. Kelebihan biodiesel dibanding dengan petrodiesel yaitu memiliki viskositas lebih tinggi sekitar 10 kalinya, nilai kalor lebih rendah, secara stoikiometri meningkatkan rasio bahan bakar/udara karena molekul oksigen, *biodegradable*, tidak beracun dan bersih, emisi SO_x mendekati nol, emisi NO_x menurun (dikombinasi dengan petrodiesel), rendah polusi dengan titik nyala tinggi, produksi bahan baku biodiesel relatif aman. Usia mesin juga dapat diperpanjang berkat penggunaan biodiesel dan mengurangi 90% total hidrokarbon yang tak terbakar [3-5], [7-9]. Pemilihan tanaman yang dapat menghasilkan minyak biodiesel merupakan hal penting karena komposisi asam lemak menentukan sifat bahan bakarnya seperti karakteristik destilasi, berat jenis, stabilitas oksidasi, angka setana.

Teknologi produksi biodiesel secara transesterifikasi beragam dapat menggunakan katalis basa, katalis asam, alkohol superkritis, ultrasonik, transesterifikasi berbasis lipase, proses esterifikasi dua tahap berkatalis asam-alkali. Masing-masing teknik memiliki kelebihan dan kekurangannya [2-3], [15]. Reaksi transesterifikasi minyak dan alkohol (metanol, etanol/ butanol) dengan adanya katalis terjadi secara bertahap dimulai dari konversi trigliserida menjadi digliserida, dilanjutkan digliserida terkonversi menjadi monogliserida kemudian hasil akhir monogliserida terkonversi menjadi metil ester (FAME)

dan gliserol sebagai hasil samping. Setiap tahapan reaksi tersebut membutuhkan satu mol alkohol [10-14]. Metil ester hasil transesterifikasi memiliki panjang rantai karbon antara C₁₄ dan C₂₄ [5-6].

Tabel 1. Perbandingan Ragam Teknologi Produksi Biodiesel

Variabel	Alkali	Asam	Dua Tahap	Ultrasonik	Lipase	Superkritis
Suhu reaksi (°C)	40 – 70	55 – 80	40 – 70	30 – 40	30 – 40	240 – 385
Yield	Normal	Normal	Baik	Tinggi	Tinggi	Baik
Recovery gliserol	Rumit	Rumit	Rumit	Rumit	Mudah	-
Pemurnian ester	Pencucian	Pencucian	Pencucian	Pencucian	-	-
Biaya produksi	Murah	Murah	Murah	Sedang	Mahal	Sedang

Sumber: Handbook of Plant-Based Biofuels, 2009

Berdasarkan tabel 1, maka proses produksi biodiesel dengan biaya cukup ekonomis adalah menggunakan katalis alkali, asam, dan proses esterifikasi dua tahap.

Hasil penelitian sebelumnya mengenai pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit secara transesterifikasi dengan berbagai katalis telah dilakukan, ditunjukkan pada tabel 2. Pada tabel tersebut, penggunaan variasi waktu, suhu, katalis, rasio mol methanol:minyak dan kondisi opsional akan memengaruhi *yield* ester yang dihasilkan. Penggunaan katalis alkali memerlukan waktu reaksi 1 – 2 jam dengan suhu 40 – 60°C. Katalis padat seperti CaO, Na₂O, dan kombinasi katalis padat yang lain juga telah digunakan dalam pembuatan biodiesel, namun masih memerlukan riset lebih lanjut karena waktu yang dibutuhkan relatif lama, suhu diatas 60°C, *yield* ester tidak menentu. Pembuatan biodiesel dari minyak nabati lainnya (minyak jarak pagar, minyak kedelai) dengan menggunakan katalis KOH, NaOH 1%, rasio mol methanol:minyak = 6:1, dan rentang suhu 30 – 60°C memerlukan waktu reaksi 2 – 4 jam untuk menghasilkan *yield* ester tinggi [10], [12].

Tabel 2. Transesterifikasi minyak kelapa sawit pada kondisi optimum

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Katalis	Rasio mol methanol:minyak	Kondisi opsional	Yield ester (%)
1	40-50	KOH 1% wt	6:1	-	60
2	50	KOH 1% wt	10:1	400 rpm	89,84
1	50-58	KOH 1% wt	6:1	-	81,94
1	60	KOH 1% wt	10:1	400 rpm, esterifikasi dengan katalis BZSA	88,67
1	60	KOH 1% wt	10:1	400 rpm, esterifikasi dengan asam kromosulfat	85
2	60	KOH 1% b	20:1	-	80,14
2	60	3% wt zeolit alam/KOH	8:1	Tanpa data [KOH]	97,79
2	60	4% wt zeolite/KOH	8:1	KOH 75%	96,99
2	60	3% wt K/zeolite	8:1	KOH 75%	92,04
2	60	7,36% K/zeolite alam	8:1	KOH solution 50 g/100 ml	95,84
2,5	60	KOH 2% wt	18:1	2 bar, reaktor membran	72,02
3	60	CaO/abu terbang 7% wt	8:1	400 rpm	61,72
3	60	Na ₂ O/abu terbang 4% wt	8:1	400 rpm; abu terbang (SiO ₂ , Na ₂ O & Na ₂ CaSi ₃ O ₈)	77,33

Tabel 2 – Transesterifikasi minyak kelapa sawit pada kondisi optimum (*lanjutan*)

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Katalis	Rasio mol metanol:minyak	Kondisi opsional	Yield ester (%)
3	60	Na ₂ O/Fe ₃ O ₄ 2%-w	8:1	-	59,92
3	60	Na ₂ O/abu terbang 4%wt	8:1	Tanpa data abu terbang	81,2
4	60	4% K ₂ O/Al ₂ O ₃ (w/w)	12:1	200 rpm, sentrifus: 20 menit, 3000 rpm	85,58
1,67	65	ZnO 2%-w	18:1	-	94,26
1,67	65	CaO 2%-b	12:1	-	29,5
2	65	Zeolite/KI	10:1	Conveyance catalyst (90°C) 2,5% (b/v)	67,39
2	70	Fe ₃ O ₄ /CaO 6%	10:1	-	90
2	70	CaO 2% wt	11:1	-	87,41
2	70	Ca ₂ Fe ₂ O ₅ 1% wt	11:1	-	52,34
2	70	CaO/limbah besi 3% wt	6:1	400 rpm	67,64
3	70	CaO/abu terbang 6%wt	6:1	-	59,34

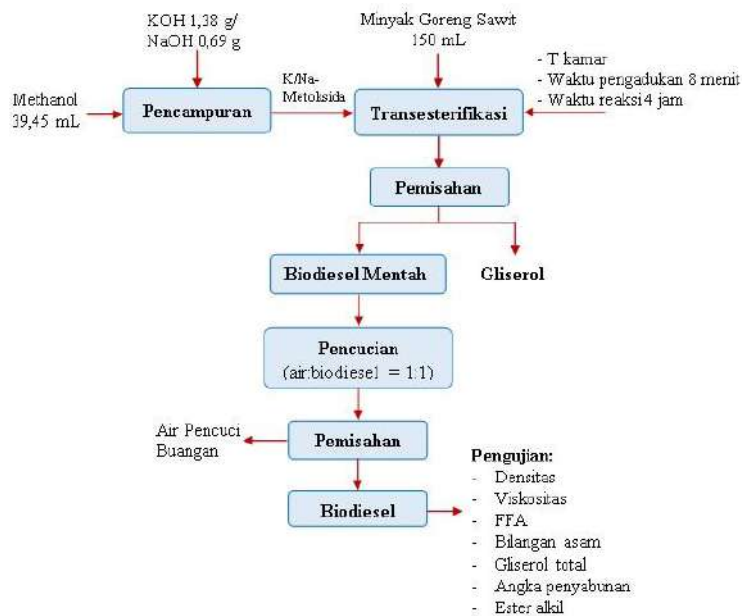
Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kualitas produk biodiesel hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis homogen (KOH dan NaOH) pada kondisi optimum riset sebelumnya (yield ester tinggi). Kondisi transesterifikasi yang digunakan yaitu pada temperature kamar, waktu pengadukan terbaik pada 8 menit, waktu reaksi terbaik pada 4 jam dengan rasio mol methanol:minyak = 6:1 [10]. Terdapat beberapa metode pengujian terhadap kualitas biodiesel sebagai syarat mutu standar yang telah ditetapkan pemerintah (standar FBI atau SNI, SK Dirjen EBTKE tahun 2022), dan pada penelitian ini menguji massa jenis, viskositas, kadar angka asam, FFA, gliserol total, bilangan penyabunan dan ester alkil. Pengujian ini diperlukan karena selama proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dengan katalis homogen tersebut dimungkinkan adanya sejumlah kecil reaktan dan produk samping seperti air, gliserol bebas, gliserol terikat, FFA, katalis, serta residu alkohol yang dapat memengaruhi kualitas produk akhir [15-19]. Hasil pengujian akan menentukan kelayakan kondisi optimum proses transesterifikasi dengan katalis homogen. Pembuatan biodiesel berkatalis homogen (KOH dan NaOH) dalam penelitian ini dilakukan pada temperatur kamar dengan maksud meminimalisasi konsumsi energi proses, sehingga produk hasil memiliki nilai ekonomis yang nantinya dapat diproduksi dalam jumlah besar untuk dipergunakan oleh masyarakat sebagai pengganti minyak diesel (petrodiesel).

2. METODE PENELITIAN

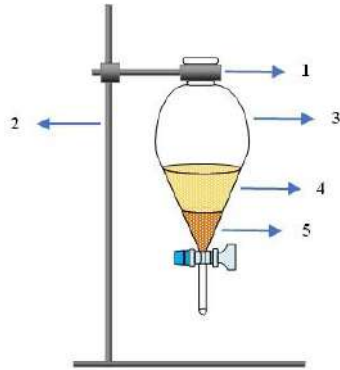
Sampel biodiesel dibuat dari 150 mL minyak kelapa sawit *food grade* (minyak goreng sunco), dengan penambahan methanol 20% dari berat minyak, yang telah dikatalisis secara basa menggunakan KOH dan NaOH. Masing-masing katalis basa (KOH 1% berat minyak dan NaOH 0,5% berat minyak) dicampurkan dahulu dengan methanol 39,45 mL (99% teknis) pada wadah berbeda sampai homogen. Campuran alkali metoksida yang telah homogen dimasukkan ke dalam erlenmeyer berpengaduk magnetik berisi minyak goreng (rasio mol methanol:minyak = 6:1), kecepatan pengadukan diatur pada 200 rpm.

Commented [CK2]: Mohon dirangkum di akhir pendahuluan ini, sebagai penutup secara singkat kebaruan/neovelty penelitian ini...dan kontribusinya bagi ilmu pengetahuan.. sehingga tergambar urgensi penelitian ini

Transesterifikasi dilakukan dengan waktu pengadukan selama 8 menit, dan waktu reaksi selama 4 jam. Biodiesel mentah dicuci menggunakan aquadest (1:1) dan dilakukan pengocokan selama 30 menit. Pencucian biodiesel diulang sebanyak 5 kali, kemudian dimasukkan kedalam corong pisah dan didiamkan selama 4 jam. Terbentuk dua lapisan, dimana lapisan atas berupa metil ester dan lapisan bawah gliserol. Selanjutnya dilakukan pemisahan metil ester dan gliserol. Biodiesel dengan katalis homogen tersebut kemudian diuji kualitasnya dengan menentukan densitas, viskositas, kadar angka asam, FFA, gliserol total, ester alkil dengan mengacu prosedur standar mutu pengujian (FBI-A-01-03 atau bagian 9.13 pada SNI 7182:2015 atau AOCS Cd 3d-63/ASTM D-664, FBI-A02-03 atau bagian 9.14 pada SNI 7182:2015 atau AOCS Ca 14-56/ASTM D-6584, AOCS Ca 5A-4, FBI-A03-03 atau bagian 9.15 pada SNI 7182:2015).



Gambar 1. Bagan alir proses pembuatan biodiesel pada suhu kamar



Commented [CK3]: Mohon untuk gambar A diperbesar (diperjelas) lebih baik dipisah dengan gambar B.

Gambar 2. Pemisahan biodiesel: (1) klep, (2) statif, (3) corong pisah, (4) biodiesel, (5) gliserol

Penentuan massa jenis dan viskositas berturut-turut dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{viskositas} = C \times t \dots \dots \dots (2)$$

Kadar FFA, bilangan asam, gliserol total, angka penyabunan dan kadar ester alkil berturut-turut ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\%FFA = \frac{T \times N \times BM}{\text{bobot contoh}(gr) \times 1000} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{bilangan asam} = \frac{56,1 \times V \times N \text{ mg } \frac{KOH}{g} \text{ biodiesel}}{m} \dots \dots \dots (4)$$

$$Gttl(\% - b) = \frac{2,302 \times (B - C) \times N}{W} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Angka penyabunan (As)} = \frac{56,1 \times (B - C) \times N \text{ mg } \frac{KOH}{g} \text{ biodiesel}}{m} \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{kadar ester alkil}(\% - b) = \frac{100 \times (As - Aa - 4,57Gttl)}{As} \dots \dots \dots (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel hasil penelitian dengan menggunakan katalis homogen diuji karakteristik secara fisika dan kimia dengan standar mutu yang telah ditetapkan (SNI 7182:2015). Pengujian ini sangat penting untuk memastikan bahwa proses transesterifikasi berjalan dengan baik.

Karakteristik Massa jenis dan Viskositas Biodiesel

Massa jenis atau berat jenis merupakan sifat penting pada semua bahan bakar karena memengaruhi karakteristik kinerja mesin secara langsung, terkait dengan efisiensi atomisasi bahan bakar dan karakteristik pembakaran. Massa jenis juga dibutuhkan pada proses pembuatan, penyimpanan serta distribusi bahan bakar. Hasil penelitian pembuatan biodiesel

dari minyak kelapa sawit dengan katalis homogen pada tabel 3 menunjukkan massa jenis sampel biodiesel sesuai standar yang ditetapkan (SNI), untuk katalis KOH massa jenis 859 kg/m³ sedangkan untuk katalis NaOH massa jenis 868 kg/m³. Tinggi rendahnya massa jenis dari biodiesel dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan asam lemak yang terkandung pada bahan baku minyak. Apabila tingkat kejenuhan tinggi maka massa jenis menjadi rendah [2, 24].

Tabel 3. Karakteristik massa jenis dan viskositas biodiesel

No	Uji Kualitas/ Parameter uji	Satuan, min/max	SNI	Hasil Penelitian		Metode Pengujian
				KOH	NaOH	
1	Massa jenis (40°C)	kg/m ³	850 – 890	859	868	SNI 7182:2015
2	Viskositas kinematik (40°C)	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	2,70	3,08	SNI 7182:2015

Viskositas memengaruhi kualitas atomisasi, tetesan bahan bakar, kemudahan nyala mesin, karakteristik penyemprotan bahan bakar, kualitas pembakaran. Viskositas bahan bakar yang sangat tinggi atau rendah memengaruhi mesin. Jika viskositas sangat rendah maka pelumasan pada mesin akan tidak cukup sehingga menyebabkan keausan mesin. Semakin tinggi kekentalan bahan bakar akan menyebabkan tetesan selama injeksi menjadi besar yang memengaruhi emisi pembakaran [3, 24]. Viskositas kinematik merupakan sifat penting pada biodiesel. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas biodiesel dengan katalis KOH sebesar 2,70 cSt sedangkan dengan katalis NaOH sebesar 3,08 cSt. Hasil yang diperoleh masih dalam rentang standar mutu kualitas biodiesel.

Karakteristik kadar FFA, bilangan asam, gliserol total, dan ester alkil

Pada tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan standar mutu kadar FFA antara CPO dan minyak goreng dari kelapa sawit. Terdapat tiga klasifikasi kualitas CPO yaitu *low grade*, *grade*, dan *high grade* dengan kadar FFA masing – masing berkisar >5%, 1 – 5% , 0,1 – 1% namun banyak riset menyatakan kualitas CPO yang digunakan termasuk *off grade* [12, 17]. Pada minyak goreng berbahan dasar kelapa sawit, kadar FFA maksimum 0,3% (SNI). Hasil pengujian kadar FFA minyak goreng sawit yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah 0,307%. Hasil pengujian Kadar FFA biodiesel dari minyak goreng sawit menggunakan katalis KOH adalah 0,205% dan menggunakan katalis NaOH adalah 0,368%. Berdasarkan data tersebut biodiesel dengan katalis KOH memenuhi standar mutu CPO maupun SNI minyak goreng sawit, sedangkan untuk biodiesel dengan katalis NaOH memenuhi standar mutu CPO namun tidak memenuhi standar SNI. Kadar FFA dalam biodiesel harus serendah mungkin, karena bersifat korosif serta menimbulkan kerak pada injektor mesin diesel. Kadar FFA yang tinggi dapat terjadi akibat penggunaan katalis alkali, dimana saat dilarutkan dengan alkohol membentuk air yang mudah bereaksi dengan trigliserida minyak sawit menghasilkan FFA selain metil ester biodiesel yang pada akhirnya terbentuk sabun dan menurunkan yield ester [2, 8, 23]. Oleh karena itu semakin kecil kadar FFA maka kualitas biodiesel semakin baik.

Tabel 4. Karakteristik kadar FFA pada biodiesel

Uji Kualitas	Satuan, min/max	Standar Mutu		Hasil Penelitian		Metode Pengujian		
		Klasifikasi CPO	Minyak goreng sawit	KOH	NaOH			
% FFA	%, max	Low grade	> 5	SNI	0,3	0,205	0,368	AOCS Ca 5A-40 (Titrimetri)
		Grade	1-5					
		High grade	0,1-1					

Tabel 5 menunjukkan uji kualitas biodiesel yang metode pengujiannya menggunakan standar prosedur FBI. Pengujian bilangan asam pada biodiesel hasil penelitian adalah 0,3716 mg-KOH/g untuk katalis KOH dan 0,38 mg-KOH/g untuk katalis NaOH, dimana tidak melebihi standar mutu SNI dan standar yang ditetapkan oleh Dirjen EBTKE (SK Dirjen EBTKE No.195.K/EK.05/DJE/2022 tanggal 9 Desember 2022). Berat molekul untuk menghitung bilangan asam berdasarkan kandungan asam lemak terbanyak yang terdapat dalam minyak kelapa sawit, yaitu asam palmitat (sekitar 47,9% wt) dengan berat molekul 256. Fungsi bilangan asam adalah untuk menetralkan asam lemak bebas atau sisa asam mineral dalam satu gram contoh biodiesel. Rendahnya bilangan asam yang dihasilkan menandakan bahwa minyak goreng sawit hampir sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester. Bilangan asam yang melebihi standar mutu pada biodiesel akan berpengaruh pada saat biodiesel tersebut digunakan yaitu dapat terdeposit pada sistem bahan bakar, mengurangi usia pompa dan filter, menyebabkan korosi selama penyimpanan dan transportasi [3, 11, 18, 20, 21].

Tabel 5. Karakteristik bilangan asam, gliserol total, kadar ester alkil pada Biodiesel

No	Uji Kualitas/ Parameter uji	Satuan, min/max	SNI	Hasil Penelitian		Metode Pengujian
				KOH	NaOH	
1	Bilangan Asam	mg-KOH/g max	0,4	0,3716	0,38	FBI-A01-03
2	Gliserol total	%-massa, max	0,24	0,012	0,296	FBI-A02-03
3	Angka penyabunan	mg-KOH/g	-	58,99	29,37	FBI-A03-03
4	Kadar ester alkil	%-massa, min	96,5	99,074	96,7	FBI-A03-03

Gliserol total pada sampel biodiesel merupakan kandungan gliserida dalam bentuk mono-, di-, trigliserida setelah diubah menjadi metil ester dan gliserol secara transesterifikasi. Konsep dasar reaksi titrasi gliserol adalah teroksidasinya natrium periodat sehingga terbentuk asam format dengan gugus hidroksil lebih dari dua pada molekulnya. Selama oksidasi terbentuk formaldehid pada gugus hidroksil primer dan asam format pada gugus hidroksil sekunder [9].



Pengujian sampel biodiesel terhadap kadar gliserol total diperoleh sebesar 0,012%-massa dengan katalis KOH dan 0,296%-massa dengan katalis NaOH. Berdasarkan data kadar gliserol total tersebut, penggunaan katalis KOH memenuhi standar SNI dan SK Dirjen EBTKE tahun 2022, namun dengan katalis NaOH kadar gliserol total tidak memenuhi standar. Munculnya kadar gliserol yang melebihi standar saat menggunakan katalis NaOH

disebabkan oleh proses transesterifikasi kurang sempurna atau terjadi reaksi balik antara metil ester dengan gliserida. Pada pembuatan biodiesel dari minyak goreng kelapa sawit, gliserol merupakan hasil samping dari reaksi transesterifikasi. Proses transesterifikasi yang lebih lama dapat menurunkan kandungan gliserol dalam biodiesel. Waktu transesterifikasi pada penelitian ini adalah 4 jam dengan pengadukan selama 8 menit. Lamanya proses transesterifikasi mengakibatkan trigliserida dalam minyak terkonversi menjadi metil ester biodiesel lebih banyak. Semakin sedikit kadar gliserol maka semakin baik kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Bilangan penyabunan dimaksudkan untuk menyabunkan satu gram minyak/lemak yang terbentuk selama proses transesterifikasi biodiesel (reaksi antara KOH/NaOH dengan metil ester) berupa *monoacylglycerols* (MAG), *diacylglycerols* (DAG), dan *triacylglycerols* (TAG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan penyabunan dengan katalis KOH diperoleh sebesar 58,99 mg-KOH/g biodiesel dan dengan katalis NaOH didapatkan 29,37 mg-KOH/g. Bilangan penyabunan bergantung pada kadar asam lemak dan berat molekul minyak/ biodiesel, dimana semakin tinggi berat molekul maka semakin rendah penyabunan dan berlaku sebaliknya [25]. Bilangan penyabunan yang diperoleh digunakan untuk menentukan kadar ester alkil dalam biodiesel. Penentuan kadar ester alkil biodiesel dihitung berdasarkan selisih bilangan asam dan bilangan penyabunan. Kadar ester alkil hasil penelitian untuk katalis KOH sebesar 99,074%-massa sedangkan untuk katalis NaOH sebesar 96,7%-massa yang memenuhi standar SNI, dimana standar minimal SNI sebesar 96,5%-massa. Kadar ester alkil yang semakin tinggi menunjukkan tingkat kemurnian biodiesel yang dihasilkan, artinya proses transesterifikasi berlangsung efektif.

4. KESIMPULAN

Pembuatan biodiesel secara transesterifikasi menggunakan katalis homogen pada temperature kamar, waktu pengadukan 8 menit dan waktu reaksi 4 jam menghasilkan massa jenis dan viskositas yang telah memenuhi standar mutu biodiesel (SNI 7182:2015). Analisis karakteristik FFA, bilangan asam, gliserol total, angka penyabunan dan kadar ester alkil memenuhi standar mutu biodiesel untuk katalis KOH, namun untuk katalis NaOH pada pengujian gliserol total belum memenuhi standar mutu. Transesterifikasi pada temperatur kamar memerlukan waktu lebih lama namun dapat menurunkan konsumsi energi. Perlu dilakukan penentuan kondisi optimum yang tepat pada penggunaan katalis homogen NaOH agar biodiesel hasil memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan. Biodiesel dengan katalis KOH/NaOH yang telah memenuhi standar mutu perlu diujikan kelayakannya pada mesin diesel.

5. PENGHARGAAN (OPSIONAL)

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada LPPM ITN Malang yang telah memberikan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sugiyono, A. D. Permana, M. S. Boedoyo, and Adiarso, *Renewable Energy Outlook 2013*. Jakarta: Jakarta : Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, Badan

Commented [CK4]: Mohon ditampilkan standar mutu biodiesel (SNI berapa)

Commented [CK5]: Mohon dicek karena mendeley tidak sinkron

Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2013.

- [2] M. Prabhakar, M. K. D. Kiani, K. Bhaskar, S. Sendilvelan, S. Prakash, and L. R. Sassykova, *Studies on pongamia oil methyl ester fueled direct injection diesel engine to increase efficiency and to reduce harmful emissions*. Woodhead publishing, 2015.
- [3] A. Pandey, *Handbook Of Plant-Based Biofuels*. CRC Press, 2009.
- [4] H. Belkhanchi, M. Rouan, M. Hammi, Y. Ziat, and M. Chigr, "Synthesis of biodiesel by transesterification of used frying oils (UFO) through basic homogeneous catalysts (NaOH and KOH)," *Biointerface Res. Appl. Chem.*, vol. 11, no. 5, pp. 12858–12868, 2021, doi: 10.33263/BRIAC115.1285812868.
- [5] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 1, pp. 14–34, 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001.
- [6] C. Ragonese, P. Q. Tranchida, D. Sciarrone, and L. Mondello, "Conventional and fast gas chromatography analysis of biodiesel blends using an ionic liquid stationary phase," *J. Chromatogr. A*, vol. 1216, no. 51, pp. 8992–8997, 2009, doi: 10.1016/j.chroma.2009.10.066.
- [7] P. Vignesh *et al.*, "Biodiesel and green diesel generation: an overview," *Oil Gas Sci. Technol. – Rev. IFP Energies Nouv.*, vol. 76, no. 6, pp. 1–15, 2021, [Online]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03106562>.
- [8] S. Pradhan *et al.*, "Synthesis of potassium glyceroxide catalyst for sustainable green fuel (biodiesel) production," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 46, pp. 266–272, 2017, doi: 10.1016/j.jiec.2016.10.038.
- [9] M. L. Pisarello, B. O. Dalla Costa, N. S. Veizaga, and C. A. Querini, "Volumetric method for free and total glycerin determination in biodiesel," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 49, no. 19, pp. 8935–8941, 2010, doi: 10.1021/ie100725f.
- [10] J. Jimmy, E. Y. Setyawan, and E. K. Rastini, "Alkali-Catalyzed Palm Oil Transesterification at Room Temperature: Effect of Stirring Time and Reaction Time," *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 7, no. 1, pp. 63–73, 2022, doi: 10.33366/rekabuana.v7i1.3211.
- [11] T. Issariyakul and A. K. Dalai, "Comparative kinetics of transesterification for biodiesel production from palm oil and mustard oil," *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 90, no. 2, pp. 342–350, 2012, doi: 10.1002/cjce.20679.
- [12] S. Sumari, A. Santoso, and M. R. Asrori, "A review: Synthesis of biodiesel from low/off grade crude palm oil on pretreatment, transesterification, and characteristics," *Orbital*, vol. 13, no. 4, pp. 385–391, 2021, doi: 10.17807/ORBITAL.V13I4.1632.
- [13] Jimmy and C. Andrew, "Microwave assisted to biodiesel production from palm oil in time and material feeding frequency," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 8, no. 4, pp. 1695–1700, 2015.
- [14] G. Fikria and C. Rustana, "Analysis of the Physical Characteristics of Biodiesel Products Made From Used Cooking Oil," *J. Neutrino*, vol. 14, no. 2, pp. 63–69, 2022, doi: 10.18860/neu.v14i2.14131.
- [15] T. C. Venkateswarulu *et al.*, "Review on methods of transesterification of oils and fats in bio-diesel formation," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 2568–2576, 2014.

- [16] E. Deemer *et al.*, “Analytical Technique For Measuring Bound Glycerdes In A Biodiesel Composition,” *United States Pat.*, vol. 87, no. 12, pp. 3369–3372, 2013.
- [17] A. Santoso, Sumari, U. Urfa Zakiyya, and A. Tiara Nur, “Methyl Ester Synthesis of Crude Palm Oil off Grade Using the K₂O/Al₂O₃ Catalyst and Its Potential as Biodiesel,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 515, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/515/1/012042.
- [18] H. Wang, H. Tang, J. Wilson, S. O. Salley, and K. Y. S. Ng, “Total acid number determination of biodiesel and biodiesel blends,” *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 85, no. 11, pp. 1083–1086, 2008, doi: 10.1007/s11746-008-1289-8.
- [19] D. Vishal, S. Dubey, R. Goyal, G. Dwivedi, P. Baredar, and M. Chhabra, “Optimization of alkali-catalyzed transesterification of rubber oil for biodiesel production & its impact on engine performance,” *Renew. Energy*, vol. 158, pp. 167–180, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.05.136.
- [20] E. Lotero, Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce, and J. G. Goodwin, “Synthesis of biodiesel via acid catalysis,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 44, no. 14, pp. 5353–5363, 2005, doi: 10.1021/ie049157g.
- [21] A. Hayyan, M. Ali Hashim, F. S. Mjalli, M. Hayyan, and I. M. AlNashef, “A novel phosphonium-based deep eutectic catalyst for biodiesel production from industrial low grade crude palm oil,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 92, pp. 81–88, 2013, doi: 10.1016/j.ces.2012.12.024.
- [22] EBTKE Indonesia, “KEPDIRJEN EBTKE Standar dan Mutu Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri,” 2022, [Online].
- [23] M. F. Jauhari and R. S. Maryati, “Analisa Perbandingan Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Penggunaan Jenis Reaktor,” *J. INTEKNA*, vol. 18, no. 1, pp. 31–39, 2018.
- [24] M. Mofijur, M. G. Rasul, N. M. S. Hassan, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, and H. M. Mahmudul, “Assessment of physical, chemical, and tribological properties of different biodiesel fuels,” *Clean Energy Sustain. Dev. Comp. Contrasts New Approaches*, pp. 441–463, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-805423-9.00014-4.
- [25] Rahmawati, A. Noor, Maming, and M. Zakir, “Quality analysis of Biodiesel from Palm Oil,” *Mar. Chim. Acta Int. J.*, 2016.

Revisi Kedua
(27 – 08 – 2022)

Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, X (X), 20XX, page

Tersedia online di <https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/rekabuana>

ISSN 2503-2682 (Online)

ISSN 2503-3654 (Cetak)




Karakterisasi Kualitas Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Homogen KOH dan NaOH
(Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts KOH and NaOH)

Commented [CK1]: Mohon disebutkan di judul apa jenis katalisnya

Commented [er2R1]: sudah ditambahkan (highlight warna biru)

IDENTITAS PENULIS DIHAPUS UNTUK TUJUAN REVIEW

ARTICLE INFO	ABSTRAK
<p>Article history</p> <p>Received :</p> <p>Revised :</p> <p>Accepted :</p> <p>DOI :</p> <p>Keywords :</p> <p>e-mail corresponding author :</p>	<p>Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan sebagai alternatif bahan bakar pada mesin diesel. Penggunaannya dapat dikombinasi dengan petrodiesel. Pembuatan biodiesel dengan katalis homogen (KOH/NaOH) memerlukan biaya produksi yang murah. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik fisika dan kimia produk biodiesel dengan katalis homogen dari minyak kelapa sawit <i>food grade</i> yang dikerjakan pada temperatur kamar, waktu pengadukan 8 menit (200 rpm), waktu reaksi 4 jam dengan rasio mol methanol:minyak 6:1. Hasil pengujian kelayakan terhadap massa jenis (KOH 859 kg/m³, NaOH 868 kg/m³) dan viskositas (KOH 2,70 cSt, NaOH 3,08 cSt) menunjukkan bahwa biodiesel telah memenuhi syarat mutu bahan bakar nabati. Hasil pengujian kelayakan FFA, bilangan asam, gliserol total, bilangan penyabunan dan kadar ester alkil untuk biodiesel dengan katalis KOH (berturut-turut 0,205%, 0,3716 mg-KOH/g, 0,012%-massa, 58,99 mg-KOH/g, 99,074%-massa) telah memenuhi syarat mutu, namun untuk NaOH kadar gliserol belum memenuhi syarat mutu bahan bakar nabati sehingga perlu dikaji ulang kondisi optimumnya. Pengujian lanjutan kualitas biodiesel dengan mengaplikasikan pada mesin diesel diperlukan untuk kelayakan produksi.</p> <p>Kata kunci: biodiesel, katalis homogen, karakteristik fisika dan kimia, bahan bakar, mesin diesel</p>
<p>PENERBIT</p> <p>UNITRI PRESS Jl. Telagawarna, Tlogomas- Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500</p> <p></p> <p>This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA</p>	<p>ABSTRACT</p> <p><i>Biodiesel is a renewable fuel as an alternative fuel in diesel engines. Its use can be combined with petrodiesel. Making biodiesel with a homogeneous catalyst (KOH/NaOH) requires low production costs. This research was conducted to determine the physical and chemical characteristics of biodiesel products using a homogeneous catalyst from food grade palm oil which was worked at room temperature, stirring time 8 minutes (200 rpm), reaction time 4 hours with a mole ratio of methanol:oil 6:1. The results of the feasibility test for density (KOH 859 kg/m³, NaOH 868 kg/m³) and viscosity (KOH 2.70 cSt, NaOH 3.08 cSt) show that biodiesel meets the quality requirements of biofuels. FFA feasibility test results, acid number, total glycerol, saponification number and alkyl ester content for biodiesel with KOH catalyst (0.205%, 0.3716 mg-KOH/g, 0.012%-mass, 58.99 mg-KOH/g, 99.074%-mass, respectively) has met the quality requirements, but for NaOH the glycerol content has not met the quality requirements for biofuels so it is necessary to review the optimum conditions. Further testing of biodiesel quality by applying it to diesel engines is required for production feasibility.</i></p> <p><i>Keywords: biodiesel, homogeneous catalyst, physical and chemical characteristics, fuel, diesel engine</i></p>
<p>Cara Mengutip : Rastini, E. K., Jimmy, Handoko, F., Sya'ni, M. A. (2023). Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts. <i>Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia</i>, 6(1), 1-10. doi:https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i1.2165</p>	

1. PENDAHULUAN

Pemenuhan kebutuhan akan bahan bakar minyak (BBM) saat ini semakin meningkat. Bahan bakar digunakan bukan hanya untuk transportasi (kendaraan bermotor), namun juga industri-industri besar, menengah maupun kecil dan kebutuhan rumah tangga. Di Indonesia sendiri, kebutuhan terbesar akan bahan bakar minyak pada sektor transportasi dan industri dengan bahan bakar minyak solar menunjukkan penggunaan terbesar [1]. Hal ini cukup masuk akal karena pada sektor transportasi dan industri banyak menggunakan mesin-mesin diesel. Mesin diesel memiliki kemampuan cukup mumpuni dalam bekerja, karakteristik torsi baik, efisiensi termal tinggi, dapat dipakai secara luas juga pada sektor pertanian dan pembangkit listrik [2-4]. Namun penggunaan mesin diesel dengan bahan bakar solar selain memiliki dampak positif, juga memiliki dampak negatif yaitu pada proses pembakaran membebaskan gas-gas yang membahayakan lingkungan seperti emisi partikulat (sulfur, senyawa aromatic polisiklik, timbal), SO_x dan NO_x. Oleh karena itu hampir semua negara mencanangkan pengurangan pemakaian bahan bakar minyak berasal dari minyak bumi (tidak terbarukan) agar menurunkan timbulnya emisi gas berbahaya ke lingkungan. Untuk itu selama beberapa dekade telah dikembangkan pembuatan bahan bakar terbarukan sebagai alternatif minyak solar yaitu biodiesel. Penggunaan biodiesel pada mesin diesel dapat dikombinasikan dengan petrodiesel atau tanpa kombinasi. Beberapa rasio campuran minyak solar dengan biodiesel (v/v) telah diteliti dan menunjukkan bahwa komposisi tersebut mampu mengurangi emisi yang terjadi di lingkungan [2], [5-6], [14].

Biodiesel berasal dari tumbuhan dan hewan yang dapat menghasilkan minyak (edible/non edible) dan lemak, namun dapat juga dibuat dari minyak goreng bekas dan produk limbah. Minyak nabati atau lemak hewani diproses secara transesterifikasi sehingga menghasilkan asam lemak rantai panjang monoalkil ester (fatty acid methyl ester/FAME) yang memiliki karakteristik sama dengan minyak solar. Kelebihan biodiesel dibanding dengan petrodiesel yaitu memiliki viskositas lebih tinggi sekitar 10 kalinya, nilai kalor lebih rendah, secara stoikiometri meningkatkan rasio bahan bakar/udara karena molekul oksigen, *biodegradable*, tidak beracun dan bersih, emisi SO_x mendekati nol, emisi NO_x menurun (dikombinasi dengan petrodiesel), rendah polusi dengan titik nyala tinggi, produksi bahan baku biodiesel relatif aman. Usia mesin juga dapat diperpanjang berkat penggunaan biodiesel dan mengurangi 90% total hidrokarbon yang tak terbakar [3-5], [7-9]. Pemilihan tanaman yang dapat menghasilkan minyak biodiesel merupakan hal penting karena komposisi asam lemak menentukan sifat bahan bakarnya seperti karakteristik destilasi, berat jenis, stabilitas oksidasi, angka setana.

Teknologi produksi biodiesel secara transesterifikasi beragam dapat menggunakan katalis basa, katalis asam, alkohol superkritis, ultrasonik, transesterifikasi berbasis lipase, proses esterifikasi dua tahap berkatalis asam-alkali. Masing-masing teknik memiliki kelebihan dan kekurangannya [2-3], [15]. Reaksi transesterifikasi minyak dan alkohol (metanol, etanol/ butanol) dengan adanya katalis terjadi secara bertahap dimulai dari konversi trigliserida menjadi digliserida, dilanjutkan digliserida terkonversi menjadi monogliserida kemudian hasil akhir monogliserida terkonversi menjadi metil ester (FAME)

dan gliserol sebagai hasil samping. Setiap tahapan reaksi tersebut membutuhkan satu mol alkohol [10-14]. Metil ester hasil transesterifikasi memiliki panjang rantai karbon antara C₁₄ dan C₂₄ [5-6].

Tabel 1. Perbandingan Ragam Teknologi Produksi Biodiesel

Variabel	Alkali	Asam	Dua Tahap	Ultrasonik	Lipase	Superkritis
Suhu reaksi (°C)	40 – 70	55 – 80	40 – 70	30 – 40	30 – 40	240 – 385
Yield	Normal	Normal	Baik	Tinggi	Tinggi	Baik
Recovery gliserol	Rumit	Rumit	Rumit	Rumit	Mudah	-
Pemurnian ester	Pencucian	Pencucian	Pencucian	Pencucian	-	-
Biaya produksi	Murah	Murah	Murah	Sedang	Mahal	Sedang

Sumber: Handbook of Plant-Based Biofuels, 2009

Berdasarkan tabel 1, maka proses produksi biodiesel dengan biaya cukup ekonomis adalah menggunakan katalis alkali, asam, dan proses esterifikasi dua tahap.

Hasil penelitian sebelumnya mengenai pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit secara transesterifikasi dengan berbagai katalis telah dilakukan, ditunjukkan pada tabel 2. Pada tabel tersebut, penggunaan variasi waktu, suhu, katalis, rasio mol methanol:minyak dan kondisi opsional akan memengaruhi *yield* ester yang dihasilkan. Penggunaan katalis alkali memerlukan waktu reaksi 1 – 2 jam dengan suhu 40 – 60°C. Katalis padat seperti CaO, Na₂O, dan kombinasi katalis padat yang lain juga telah digunakan dalam pembuatan biodiesel, namun masih memerlukan riset lebih lanjut karena waktu yang dibutuhkan relatif lama, suhu diatas 60°C, *yield* ester tidak menentu. Pembuatan biodiesel dari minyak nabati lainnya (minyak jarak pagar, minyak kedelai) dengan menggunakan katalis KOH, NaOH 1%, rasio mol methanol:minyak = 6:1, dan rentang suhu 30 – 60°C memerlukan waktu reaksi 2 – 4 jam untuk menghasilkan *yield* ester tinggi [10], [12].

Tabel 2. Transesterifikasi minyak kelapa sawit pada kondisi optimum

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Katalis	Rasio mol methanol:minyak	Kondisi opsional	Yield ester (%)
1	40-50	KOH 1% wt	6:1	-	60
2	50	KOH 1% wt	10:1	400 rpm	89,84
1	50-58	KOH 1% wt	6:1	-	81,94
1	60	KOH 1% wt	10:1	400 rpm, esterifikasi dengan katalis BZSA	88,67
1	60	KOH 1% wt	10:1	400 rpm, esterifikasi dengan asam kromosulfat	85
2	60	KOH 1% b	20:1	-	80,14
2	60	3% wt zeolit alam/KOH	8:1	Tanpa data [KOH]	97,79
2	60	4% wt zeolite/KOH	8:1	KOH 75%	96,99
2	60	3% wt K/zeolite	8:1	KOH 75%	92,04
2	60	7,36% K/zeolite alam	8:1	KOH solution 50 g/100 ml	95,84
2,5	60	KOH 2% wt	18:1	2 bar, reaktor membran	72,02
3	60	CaO/abu terbang 7% wt	8:1	400 rpm	61,72
3	60	Na ₂ O/abu terbang 4% wt	8:1	400 rpm; abu terbang (SiO ₂ , Na ₂ O & Na ₂ CaSi ₃ O ₈)	77,33

Tabel 2 – Transesterifikasi minyak kelapa sawit pada kondisi optimum (*lanjutan*)

Waktu (jam)	Suhu (°C)	Katalis	Rasio mol metanol:minyak	Kondisi opsional	Yield ester (%)
3	60	Na ₂ O/Fe ₃ O ₄ 2%-w	8:1	-	59,92
3	60	Na ₂ O/abu terbang 4%wt	8:1	Tanpa data abu terbang	81,2
4	60	4% K ₂ O/Al ₂ O ₃ (w/w)	12:1	200 rpm, sentrifus: 20 menit, 3000 rpm	85,58
1,67	65	ZnO 2%-w	18:1	-	94,26
1,67	65	CaO 2%-b	12:1	-	29,5
2	65	Zeolite/KI	10:1	Conveyance catalyst (90°C) 2,5% (b/v)	67,39
2	70	Fe ₃ O ₄ /CaO 6%	10:1	-	90
2	70	CaO 2% wt	11:1	-	87,41
2	70	Ca ₂ Fe ₂ O ₅ 1% wt	11:1	-	52,34
2	70	CaO/limbah besi 3% wt	6:1	400 rpm	67,64
3	70	CaO/abu terbang 6%wt	6:1	-	59,34

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kualitas produk biodiesel hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis homogen (KOH dan NaOH) pada kondisi optimum riset sebelumnya (yield ester tinggi). Kondisi transesterifikasi yang digunakan yaitu pada temperatur kamar, waktu pengadukan terbaik pada 8 menit, waktu reaksi terbaik pada 4 jam dengan rasio mol metanol:minyak = 6:1 [10]. Terdapat beberapa metode pengujian terhadap kualitas biodiesel sebagai syarat mutu standar yang telah ditetapkan pemerintah (standar FBI atau SNI, SK Dirjen EBTKE tahun 2022), dan pada penelitian ini menguji massa jenis, viskositas, kadar angka asam, FFA, gliserol total, bilangan penyabunan dan ester alkil. Pengujian ini diperlukan karena selama proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dengan katalis homogen tersebut dimungkinkan adanya sejumlah kecil reaktan dan produk samping seperti air, gliserol bebas, gliserol terikat, FFA, katalis, serta residu alkohol yang dapat memengaruhi kualitas produk akhir [15-19]. Hasil pengujian akan menentukan kelayakan kondisi optimum proses transesterifikasi dengan katalis homogen. Penggunaan katalis homogen dan proses transesterifikasi dilakukan pada suhu kamar dimaksudkan dapat menekan biaya bahan baku dan meminimalisasi konsumsi energi proses pembuatan biodiesel, sehingga bernilai ekonomis bila diproduksi dalam jumlah besar untuk dipergunakan oleh masyarakat sebagai pengganti minyak diesel (petrodiesel).

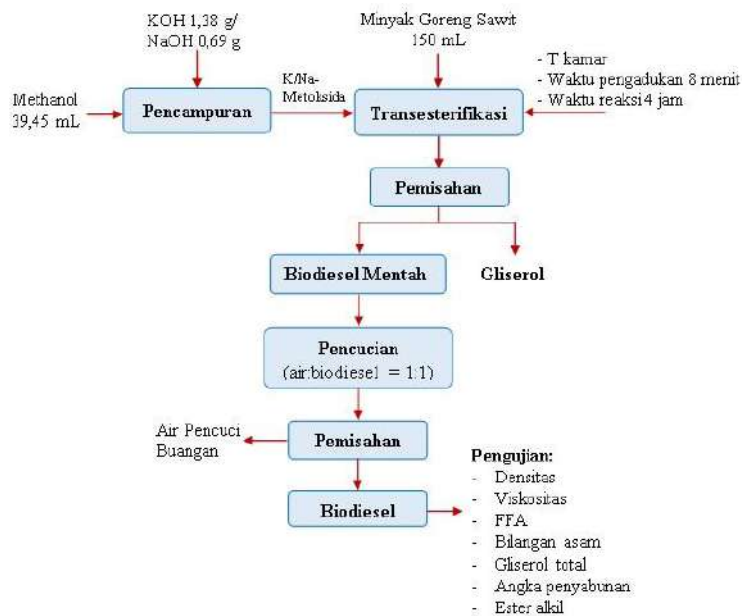
2. METODE PENELITIAN

Sampel biodiesel dibuat dari 150 mL minyak kelapa sawit *food grade* (minyak goreng sunco), dengan penambahan metanol 20% dari berat minyak, yang telah dikatalisis secara basa menggunakan KOH dan NaOH. Masing-masing katalis basa (KOH 1% berat minyak dan NaOH 0,5% berat minyak) dicampurkan dahulu dengan metanol 39,45 mL (99% teknis) pada wadah berbeda sampai homogen. Campuran alkali metoksida yang telah homogen dimasukkan ke dalam erlenmeyer berpengaduk magnetik berisi minyak goreng (rasio mol metanol:minyak = 6:1), kecepatan pengadukan diatur pada 200 rpm.

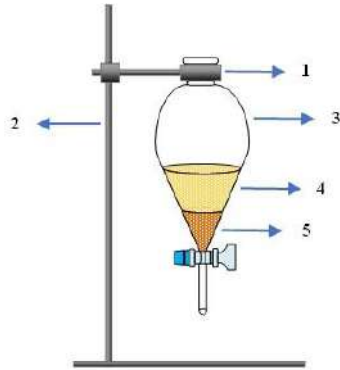
Commented [CK3]: Mohon dirangkum di akhir pendahuluan ini, sebagai penutup secara singkat kebaruan/neovelty penelitian ini...dan kontribusinya bagi ilmu pengetahuan.. sehingga tergambar urgensi penelitian ini

Commented [er4R3]: sudah ditambahkan (highlight warna biru)

Transesterifikasi dilakukan dengan waktu pengadukan selama 8 menit, dan waktu reaksi selama 4 jam. Biodiesel mentah dicuci menggunakan aquadest (1:1) dan dilakukan pengocokan selama 30 menit. Pencucian biodiesel diulang sebanyak 5 kali, kemudian dimasukkan kedalam corong pisah dan didiamkan selama 4 jam. Terbentuk dua lapisan, dimana lapisan atas berupa metil ester dan lapisan bawah gliserol. Selanjutnya dilakukan pemisahan metil ester dan gliserol. Biodiesel dengan katalis homogen tersebut kemudian diuji kualitasnya dengan menentukan densitas, viskositas, kadar angka asam, FFA, gliserol total, ester alkil dengan mengacu prosedur standar mutu pengujian (FBI-A-01-03 atau bagian 9.13 pada SNI 7182:2015 atau AOCS Cd 3d-63/ASTM D-664, FBI-A02-03 atau bagian 9.14 pada SNI 7182:2015 atau AOCS Ca 14-56/ASTM D-6584, AOCS Ca 5A-4, FBI-A03-03 atau bagian 9.15 pada SNI 7182:2015).



Gambar 1. Bagan alir proses pembuatan biodiesel pada suhu kamar



Gambar 2. Pemisahan biodiesel: (1) klep, (2) statif, (3) corong pisah, (4) biodiesel, (5) gliserol

Commented [CK5]: Mohon untuk gambar A diperbesar (diperjelas) lebih baik dipisah dengan gambar B.
Commented [er6R5]: sudah dipecah & diperbesar gbr 1 dan 2 (highlight warna biru)

Penentuan massa jenis dan viskositas berturut-turut dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{viskositas} = C \times t \dots \dots \dots (2)$$

Kadar FFA, bilangan asam, gliserol total, angka penyabunan dan kadar ester alkil berturut-turut ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\%FFA = \frac{T \times N \times BM}{\text{bobot contoh}(gr) \times 1000} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{bilangan asam} = \frac{56,1 \times V \times N \text{ mg } \frac{KOH}{g} \text{ biodiesel}}{m} \dots \dots \dots (4)$$

$$Gttl(\% - b) = \frac{2,302 \times (B - C) \times N}{W} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Angka penyabunan (As)} = \frac{56,1 \times (B - C) \times N \text{ mg } \frac{KOH}{g} \text{ biodiesel}}{m} \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{kadar ester alkil}(\% - b) = \frac{100 \times (As - Aa - 4,57 Gttl)}{As} \dots \dots \dots (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel hasil penelitian dengan menggunakan katalis homogen diuji karakteristik secara fisika dan kimia dengan standar mutu yang telah ditetapkan (SNI 7182:2015). Pengujian ini sangat penting untuk memastikan bahwa proses transesterifikasi berjalan dengan baik.

Karakteristik Massa jenis dan Viskositas Biodiesel

Massa jenis atau berat jenis merupakan sifat penting pada semua bahan bakar karena memengaruhi karakteristik kinerja mesin secara langsung, terkait dengan efisiensi atomisasi bahan bakar dan karakteristik pembakaran. Massa jenis juga dibutuhkan pada proses pembuatan, penyimpanan serta distribusi bahan bakar. Hasil penelitian pembuatan biodiesel

dari minyak kelapa sawit dengan katalis homogen pada tabel 3 menunjukkan massa jenis sampel biodiesel sesuai standar yang ditetapkan (SNI), untuk katalis KOH massa jenis 859 kg/m³ sedangkan untuk katalis NaOH massa jenis 868 kg/m³. Tinggi rendahnya massa jenis dari biodiesel dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan asam lemak yang terkandung pada bahan baku minyak. Apabila tingkat kejenuhan tinggi maka massa jenis menjadi rendah [2, 24].

Tabel 3. Karakteristik massa jenis dan viskositas biodiesel

No	Uji Kualitas/ Parameter uji	Satuan, min/max	SNI	Hasil Penelitian		Metode Pengujian
				KOH	NaOH	
1	Massa jenis (40°C)	kg/m ³	850 – 890	859	868	SNI 7182:2015
2	Viskositas kinematik (40°C)	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	2,70	3,08	SNI 7182:2015

Viskositas memengaruhi kualitas atomisasi, tetesan bahan bakar, kemudahan nyala mesin, karakteristik penyemprotan bahan bakar, kualitas pembakaran. Viskositas bahan bakar yang sangat tinggi atau rendah memengaruhi mesin. Jika viskositas sangat rendah maka pelumasan pada mesin akan tidak cukup sehingga menyebabkan keausan mesin. Semakin tinggi kekentalan bahan bakar akan menyebabkan tetesan selama injeksi menjadi besar yang memengaruhi emisi pembakaran [3, 24]. Viskositas kinematik merupakan sifat penting pada biodiesel. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas biodiesel dengan katalis KOH sebesar 2,70 cSt sedangkan dengan katalis NaOH sebesar 3,08 cSt. Hasil yang diperoleh masih dalam rentang standar mutu kualitas biodiesel.

Karakteristik kadar FFA, bilangan asam, gliserol total, dan ester alkil

Pada tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan standar mutu kadar FFA antara CPO dan minyak goreng dari kelapa sawit. Terdapat tiga klasifikasi kualitas CPO yaitu *low grade*, *grade*, dan *high grade* dengan kadar FFA masing – masing berkisar >5%, 1 – 5% , 0,1 – 1% namun banyak riset menyatakan kualitas CPO yang digunakan termasuk *off grade* [12, 17]. Pada minyak goreng berbahan dasar kelapa sawit, kadar FFA maksimum 0,3% (SNI). Hasil pengujian kadar FFA minyak goreng sawit yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah 0,307%. Hasil pengujian Kadar FFA biodiesel dari minyak goreng sawit menggunakan katalis KOH adalah 0,205% dan menggunakan katalis NaOH adalah 0,368%. Berdasarkan data tersebut biodiesel dengan katalis KOH memenuhi standar mutu CPO maupun SNI minyak goreng sawit, sedangkan untuk biodiesel dengan katalis NaOH memenuhi standar mutu CPO namun tidak memenuhi standar SNI. Kadar FFA dalam biodiesel harus serendah mungkin, karena bersifat korosif serta menimbulkan kerak pada injektor mesin diesel. Kadar FFA yang tinggi dapat terjadi akibat penggunaan katalis alkali, dimana saat dilarutkan dengan alkohol membentuk air yang mudah bereaksi dengan trigliserida minyak sawit menghasilkan FFA selain metil ester biodiesel yang pada akhirnya terbentuk sabun dan menurunkan yield ester [2, 8, 23]. Oleh karena itu semakin kecil kadar FFA maka kualitas biodiesel semakin baik.

Tabel 4. Karakteristik kadar FFA pada biodiesel

Uji Kualitas	Satuan, min/max	Standar Mutu		Hasil Penelitian		Metode Pengujian		
		Klasifikasi CPO	Minyak goreng sawit	KOH	NaOH			
% FFA	%, max	Low grade	> 5	SNI	0,3	0,205	0,368	AOCS Ca 5A-40 (Titrimetri)
		Grade	1-5					
		High grade	0,1-1					

Tabel 5 menunjukkan uji kualitas biodiesel yang metode pengujiannya menggunakan standar prosedur FBI. Pengujian bilangan asam pada biodiesel hasil penelitian adalah 0,3716 mg-KOH/g untuk katalis KOH dan 0,38 mg-KOH/g untuk katalis NaOH, dimana tidak melebihi standar mutu SNI dan standar yang ditetapkan oleh Dirjen EBTKE (SK Dirjen EBTKE No.195.K/EK.05/DJE/2022 tanggal 9 Desember 2022). Berat molekul untuk menghitung bilangan asam berdasarkan kandungan asam lemak terbanyak yang terdapat dalam minyak kelapa sawit, yaitu asam palmitat (sekitar 47,9% wt) dengan berat molekul 256. Fungsi bilangan asam adalah untuk menetralkan asam lemak bebas atau sisa asam mineral dalam satu gram contoh biodiesel. Rendahnya bilangan asam yang dihasilkan menandakan bahwa minyak goreng sawit hampir sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester. Bilangan asam yang melebihi standar mutu pada biodiesel akan berpengaruh pada saat biodiesel tersebut digunakan yaitu dapat terdeposit pada sistem bahan bakar, mengurangi usia pompa dan filter, menyebabkan korosi selama penyimpanan dan transportasi [3, 11, 18, 20, 21].

Tabel 5. Karakteristik bilangan asam, gliserol total, kadar ester alkil pada Biodiesel

No	Uji Kualitas/ Parameter uji	Satuan, min/max	SNI	Hasil Penelitian		Metode Pengujian
				KOH	NaOH	
1	Bilangan Asam	mg-KOH/g max	0,4	0,3716	0,38	FBI-A01-03
2	Gliserol total	%-massa, max	0,24	0,012	0,296	FBI-A02-03
3	Angka penyabunan	mg-KOH/g	-	58,99	29,37	FBI-A03-03
4	Kadar ester alkil	%-massa, min	96,5	99,074	96,7	FBI-A03-03

Gliserol total pada sampel biodiesel merupakan kandungan gliserida dalam bentuk mono-, di-, trigliserida setelah diubah menjadi metil ester dan gliserol secara transesterifikasi. Konsep dasar reaksi titrasi gliserol adalah teroksidasinya natrium periodat sehingga terbentuk asam format dengan gugus hidroksil lebih dari dua pada molekulnya. Selama oksidasi terbentuk formaldehid pada gugus hidroksil primer dan asam format pada gugus hidroksil sekunder [9].



Pengujian sampel biodiesel terhadap kadar gliserol total diperoleh sebesar 0,012%-massa dengan katalis KOH dan 0,296%-massa dengan katalis NaOH. Berdasarkan data kadar gliserol total tersebut, penggunaan katalis KOH memenuhi standar SNI dan SK Dirjen EBTKE tahun 2022, namun dengan katalis NaOH kadar gliserol total tidak memenuhi standar. Munculnya kadar gliserol yang melebihi standar saat menggunakan katalis NaOH

disebabkan oleh proses transesterifikasi kurang sempurna atau terjadi reaksi balik antara metil ester dengan gliserida. Pada pembuatan biodiesel dari minyak goreng kelapa sawit, gliserol merupakan hasil samping dari reaksi transesterifikasi. Proses transesterifikasi yang lebih lama dapat menurunkan kandungan gliserol dalam biodiesel. Waktu transesterifikasi pada penelitian ini adalah 4 jam dengan pengadukan selama 8 menit. Lamanya proses transesterifikasi mengakibatkan trigliserida dalam minyak terkonversi menjadi metil ester biodiesel lebih banyak. Semakin sedikit kadar gliserol maka semakin baik kualitas biodiesel yang dihasilkan.

Bilangan penyabunan dimaksudkan untuk menyabun satu gram minyak/lemak yang terbentuk selama proses transesterifikasi biodiesel (reaksi antara KOH/NaOH dengan metil ester) berupa *monoacylglycerols* (MAG), *diacylglycerols* (DAG), dan *triacylglycerols* (TAG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bilangan penyabunan dengan katalis KOH diperoleh sebesar 58,99 mg-KOH/g biodiesel dan dengan katalis NaOH didapatkan 29,37 mg-KOH/g. Bilangan penyabunan bergantung pada kadar asam lemak dan berat molekul minyak/ biodiesel, dimana semakin tinggi berat molekul maka semakin rendah penyabunan dan berlaku sebaliknya [25]. Bilangan penyabunan yang diperoleh digunakan untuk menentukan kadar ester alkil dalam biodiesel. Penentuan kadar ester alkil biodiesel dihitung berdasarkan selisih bilangan asam dan bilangan penyabunan. Kadar ester alkil hasil penelitian untuk katalis KOH sebesar 99,074%-massa sedangkan untuk katalis NaOH sebesar 96,7%-massa yang memenuhi standar SNI, dimana standar minimal SNI sebesar 96,5%-massa. Kadar ester alkil yang semakin tinggi menunjukkan tingkat kemurnian biodiesel yang dihasilkan, artinya proses transesterifikasi berlangsung efektif.

4. KESIMPULAN

Pembuatan biodiesel secara transesterifikasi menggunakan katalis homogen pada temperature kamar, waktu pengadukan 8 menit dan waktu reaksi 4 jam menghasilkan massa jenis dan viskositas yang telah memenuhi standar mutu biodiesel (SNI 7182:2015). Analisis karakteristik FFA, bilangan asam, gliserol total, angka penyabunan dan kadar ester alkil memenuhi standar mutu biodiesel untuk katalis KOH, namun untuk katalis NaOH pada pengujian gliserol total belum memenuhi standar mutu. Transesterifikasi pada temperatur kamar memerlukan waktu lebih lama namun dapat menurunkan konsumsi energi. Perlu dilakukan penentuan kondisi optimum yang tepat pada penggunaan katalis homogen NaOH agar biodiesel hasil memenuhi standar mutu yang dipersyaratkan. Biodiesel dengan katalis KOH/NaOH yang telah memenuhi standar mutu perlu diujikan kelayakannya pada mesin diesel.

5. PENGHARGAAN (OPSIONAL)

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada LPPM ITN Malang yang telah memberikan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sugiyono, A. D. Permana, M. S. Boedoyo, and Adiarso, *Renewable Energy Outlook 2013*. Jakarta: Jakarta : Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi, Badan

Commented [CK7]: Mohon ditampilkan standar mutu biodiesel (SNI berapa)

Commented [er8R7]: sudah ditambahkan (highlight warna biru)

Commented [CK9]: Mohon dicek karena mendeley tidak sinkron

Commented [er10R9]: sudah link mendeley (highlight warna biru) utk reference 1-25

Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2013.

- [2] M. Prabhakar, M. K. D. Kiani, K. Bhaskar, S. Sendilvelan, S. Prakash, and L. R. Sassykova, *Studies on pongamia oil methyl ester fueled direct injection diesel engine to increase efficiency and to reduce harmful emissions*. Woodhead publishing, 2015.
- [3] A. Pandey, *Handbook Of Plant-Based Biofuels*. CRC Press, 2009.
- [4] H. Belkhanchi, M. Rouan, M. Hammi, Y. Ziat, and M. Chigr, "Synthesis of biodiesel by transesterification of used frying oils (UFO) through basic homogeneous catalysts (NaOH and KOH)," *Biointerface Res. Appl. Chem.*, vol. 11, no. 5, pp. 12858–12868, 2021, doi: 10.33263/BRIAC115.1285812868.
- [5] A. Demirbas, "Progress and recent trends in biodiesel fuels," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 1, pp. 14–34, 2009, doi: 10.1016/j.enconman.2008.09.001.
- [6] C. Ragonese, P. Q. Tranchida, D. Sciarrone, and L. Mondello, "Conventional and fast gas chromatography analysis of biodiesel blends using an ionic liquid stationary phase," *J. Chromatogr. A*, vol. 1216, no. 51, pp. 8992–8997, 2009, doi: 10.1016/j.chroma.2009.10.066.
- [7] P. Vignesh *et al.*, "Biodiesel and green diesel generation: an overview," *Oil Gas Sci. Technol. – Rev. IFP Energies Nouv.*, vol. 76, no. 6, pp. 1–15, 2021, [Online]. Available: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03106562>.
- [8] S. Pradhan *et al.*, "Synthesis of potassium glyceroxide catalyst for sustainable green fuel (biodiesel) production," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 46, pp. 266–272, 2017, doi: 10.1016/j.jiec.2016.10.038.
- [9] M. L. Pisarello, B. O. Dalla Costa, N. S. Veizaga, and C. A. Querini, "Volumetric method for free and total glycerin determination in biodiesel," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 49, no. 19, pp. 8935–8941, 2010, doi: 10.1021/ie100725f.
- [10] J. Jimmy, E. Y. Setyawan, and E. K. Rastini, "Alkali-Catalyzed Palm Oil Transesterification at Room Temperature: Effect of Stirring Time and Reaction Time," *Reka Buana J. Ilm. Tek. Sipil dan Tek. Kim.*, vol. 7, no. 1, pp. 63–73, 2022, doi: 10.33366/rekabuana.v7i1.3211.
- [11] T. Issariyakul and A. K. Dalai, "Comparative kinetics of transesterification for biodiesel production from palm oil and mustard oil," *Can. J. Chem. Eng.*, vol. 90, no. 2, pp. 342–350, 2012, doi: 10.1002/cjce.20679.
- [12] S. Sumari, A. Santoso, and M. R. Asrori, "A review: Synthesis of biodiesel from low/off grade crude palm oil on pretreatment, transesterification, and characteristics," *Orbital*, vol. 13, no. 4, pp. 385–391, 2021, doi: 10.17807/ORBITAL.V13I4.1632.
- [13] Jimmy and C. Andrew, "Microwave assisted to biodiesel production from palm oil in time and material feeding frequency," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 8, no. 4, pp. 1695–1700, 2015.
- [14] G. Fikria and C. Rustana, "Analysis of the Physical Characteristics of Biodiesel Products Made From Used Cooking Oil," *J. Neutrino*, vol. 14, no. 2, pp. 63–69, 2022, doi: 10.18860/neu.v14i2.14131.
- [15] T. C. Venkateswarulu *et al.*, "Review on methods of transesterification of oils and fats in bio-diesel formation," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 2568–2576, 2014.

- [16] E. Deemer *et al.*, “Analytical Technique For Measuring Bound Glycerdes In A Biodiesel Composition,” *United States Pat.*, vol. 87, no. 12, pp. 3369–3372, 2013.
- [17] A. Santoso, Sumari, U. Urfa Zakiyya, and A. Tiara Nur, “Methyl Ester Synthesis of Crude Palm Oil off Grade Using the K_2O/Al_2O_3 Catalyst and Its Potential as Biodiesel,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 515, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/515/1/012042.
- [18] H. Wang, H. Tang, J. Wilson, S. O. Salley, and K. Y. S. Ng, “Total acid number determination of biodiesel and biodiesel blends,” *JAACS, J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 85, no. 11, pp. 1083–1086, 2008, doi: 10.1007/s11746-008-1289-8.
- [19] D. Vishal, S. Dubey, R. Goyal, G. Dwivedi, P. Baredar, and M. Chhabra, “Optimization of alkali-catalyzed transesterification of rubber oil for biodiesel production & its impact on engine performance,” *Renew. Energy*, vol. 158, pp. 167–180, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.05.136.
- [20] E. Lotero, Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce, and J. G. Goodwin, “Synthesis of biodiesel via acid catalysis,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 44, no. 14, pp. 5353–5363, 2005, doi: 10.1021/ie049157g.
- [21] A. Hayyan, M. Ali Hashim, F. S. Mjalli, M. Hayyan, and I. M. AlNashef, “A novel phosphonium-based deep eutectic catalyst for biodiesel production from industrial low grade crude palm oil,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 92, pp. 81–88, 2013, doi: 10.1016/j.ces.2012.12.024.
- [22] EBTKE Indonesia, “KEPDIRJEN EBTKE Standar dan Mutu Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri,” 2022, [Online].
- [23] M. F. Jauhari and R. S. Maryati, “Analisa Perbandingan Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Penggunaan Jenis Reaktor,” *J. INTEKNA*, vol. 18, no. 1, pp. 31–39, 2018.
- [24] M. Mofijur, M. G. Rasul, N. M. S. Hassan, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, and H. M. Mahmudul, “Assessment of physical, chemical, and tribological properties of different biodiesel fuels,” *Clean Energy Sustain. Dev. Comp. Contrasts New Approaches*, pp. 441–463, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-805423-9.00014-4.
- [25] Rahmawati, A. Noor, Maming, and M. Zakir, “Quality analysis of Biodiesel from Palm Oil,” *Mar. Chim. Acta Int. J.*, 2016.

**Artikel diterima, melalui email
(22 - 09 - 2022)**



Mail



Chat



Meet



[rekabuana] Editor Decision External Inbox x



Ayu Chandra Kartika Fitri <ejournal@unitri.ac.id>
to Jimmy, me

Thu, Sep 22, 2022, 10:14 AM ☆ ↶ ⋮

Mr. Jimmy Jimmy:

We have reached a decision regarding your submission to Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, "Characterization of Biodiesel Quality from Transesterification of Palm Oil Using Homogeneous Catalysts".

Our decision is to: Accept Submission

Ayu Chandra Kartika Fitri
(SCOPUS ID: 57554134400), Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik,
Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang
Phone 085797094724
ayu.chandra21@gmail.com

Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia
<http://jurnal.unitri.ac.id/index.php/rekabuana>



Endah Kusuma Rastini <endahkr@lecturer.itn.ac.id>

Thu, Sep 22, 2022, 3:39 PM ☆ ↶ ⋮