

Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Basa Heterogen Berbasis Rumput Teki (*Cyperus Rotundus*)

Helen Puspa Kartika^{*1}, M Haidar Al Hakiki¹, Suprihatin¹, Ni Ketut Sari¹, Caecilia Pujiastuti¹

¹Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Jl. Raya Rungkut Madya No.1, Gunung Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya 60294

Email: helenpuspal1@gmail.com, haidarekik@gmail.com, ibu.suprihatin@yahoo.com,
ketutsari.tk@upnjatim.ac.id, caecilia.tk@upnjatim.ac.id

^{*}Corresponding Author

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan katalis basa heterogen berbasis biomassa rumput teki (*Cyperus rotundus*) dan mengaplikasikannya dalam produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit. Katalis dibuat melalui proses pencucian, pengeringan, penghalusan, dan kalsinasi pada suhu 600 °C selama 2 jam, kemudian dikarakterisasi menggunakan XRF, XRD, BET, dan indikator Hammett. Proses transesterifikasi dilakukan pada suhu 60 °C selama 30 menit dengan variasi jumlah metanol (9–21 mol) dan katalis (3–11% berat). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa katalis didominasi oleh K₂O (44,5%) dengan luas permukaan sebesar 89,821 m²/g dan memiliki sifat basa sebesar 0,5 mmol/g. Yield biodiesel meningkat seiring peningkatan jumlah metanol dan katalis hingga kondisi optimum, kemudian menurun akibat keterbatasan perpindahan massa dan kesulitan pemisahan gliserol. Yield maksimum sebesar 96,31% diperoleh pada rasio mol metanol:minyak 15:1 dan katalis 7% berat. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan meliputi densitas 0,8809 g/cm³, viskositas 3,0691 mm²/s, angka asam 0,3366 mg KOH/g, dan titik nyala 235 °C, yang telah memenuhi standar SNI 7182:2015. Hasil GC-MS menunjukkan komponen utama berupa metil oleat dan metil palmitat. Penelitian ini menunjukkan bahwa rumput teki berpotensi sebagai sumber katalis ramah lingkungan untuk produksi.

Kata kunci: biodiesel, biomassa, katalis heterogen, rumput teki, transesterifikasi

Abstract

This study aimed to develop a heterogeneous base catalyst derived from *Cyperus rotundus* biomass and to evaluate its application in biodiesel production from palm oil. The catalyst was prepared through a series of processes, including washing, drying, grinding, and calcination at 600 °C for 2 h. The prepared catalyst was then characterized using X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), Brunauer–Emmett–Teller (BET) analysis, and the Hammett indicator method. The transesterification reaction was carried out at 60 °C for 30 min, with variations in the methanol-to-oil molar ratio (9:1–21:1) and catalyst loading (3–11 wt%). The characterization results revealed that the catalyst contained a high proportion of K₂O (44.5%), had a specific surface area of 89.821 m²/g, and exhibited a basicity of 0.5 mmol/g. The biodiesel yield increased with increasing methanol-to-oil molar ratio and catalyst loading until the optimum conditions were reached, after which the yield decreased due to mass transfer limitations and difficulties in glycerol separation. The highest biodiesel yield of 96.31% was obtained at a methanol-to-oil molar ratio of 15:1 and a catalyst loading of 7 wt%. The resulting biodiesel had a density of 0.8809 g/cm³, a kinematic viscosity of 3.0691 mm²/s, an acid value of 0.3366 mg KOH/g, and a flash point of 235 °C. These properties met the requirements of the SNI 7182:2015 standard. GC-MS analysis identified methyl oleate and methyl palmitate as the major components of the biodiesel. Overall, the results demonstrate that *Cyperus rotundus* biomass has potential as an environmentally friendly source of heterogeneous base catalysts for biodiesel production.

Keywords: biodiesel, biomass, heterogeneous catalyst, *Cyperus rotundus*, transesterification

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi terbarukan terus meningkat seiring dengan menurunnya cadangan bahan bakar fosil serta dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Salah satu alternatif energi terbarukan yang menjanjikan

adalah biodiesel, yang dapat diproduksi dari minyak nabati atau lemak hewani melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol, seperti metanol. Efisiensi reaksi transesterifikasi sangat dipengaruhi oleh keberadaan katalis yang berperan dalam menurunkan energi aktivasi

sehingga mampu meningkatkan laju reaksi dan konversi produk. Secara konvensional, katalis homogen seperti NaOH dan KOH banyak digunakan karena memiliki aktivitas katalitik yang tinggi. Namun demikian, katalis homogen memiliki beberapa kelemahan, antara lain sulit dipisahkan dari produk reaksi, bersifat korosif terhadap peralatan, serta menghasilkan limbah dalam jumlah besar yang berdampak pada peningkatan biaya proses dan permasalahan lingkungan (Yaghi *et al.*, 2025).

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, penggunaan katalis basa heterogen mulai banyak diteliti sebagai solusi atas keterbatasan katalis homogen. Katalis heterogen memiliki sejumlah keunggulan, seperti kemudahan pemisahan dari fase produk, dapat digunakan kembali, serta mampu mengurangi limbah kimia cair. Beberapa jenis katalis basa heterogen, seperti oksida logam alkali dan alkali tanah maupun katalis logam terdukung, dilaporkan mampu menghasilkan konversi biodiesel yang tinggi, yaitu lebih dari 80–90%, bahkan pada kondisi reaksi yang relatif ringan (Lee *et al.*, 2016).

Selain itu, pemanfaatan bahan baku katalis yang murah dan berkelanjutan, seperti biomassa, menjadi pendekatan yang menarik dalam pengembangan katalis heterogen. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa katalis yang disintesis dari biomassa atau limbah memiliki aktivitas katalitik yang baik dalam reaksi transesterifikasi serta mampu menghasilkan biodiesel dengan rendemen tinggi. Biomassa, khususnya dalam bentuk abu, umumnya mengandung mineral anorganik seperti CaO, K₂O, MgO, Na₂O, P₂O₅, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, SO₃, dan TiO₂ yang berperan sebagai situs aktif katalitik, bahkan dengan kandungan yang lebih tinggi dibandingkan abu batubara (Tsai and Tsai, 2024).

Salah satu biomassa yang berpotensi dimanfaatkan adalah rumput teki, yang selama ini lebih dikenal sebagai gulma karena kemampuannya tumbuh liar di berbagai lingkungan, seperti lahan pertanian, pinggir jalan, dan area terbuka lainnya. Keberadaannya sering mengganggu pertumbuhan tanaman budidaya, sehingga dianggap tidak memiliki nilai ekonomi (Muthoharoh, 2019). Beberapa penelitian menunjukkan dominasi rumput teki sebagai gulma di berbagai lahan, seperti pada perkebunan jeruk dengan persentase mencapai 34,7% (Tustiyani *et al.*, 2019) dan pada perkebunan kelapa sawit sebesar 44% (Rahayu

and Mardiyanto, 2019). Meskipun demikian, pemanfaatan rumput teki masih belum optimal. Padahal, berdasarkan penelitian Sao *et al.* (2007), abu rumput teki mengandung mineral oksida logam yang cukup tinggi, yaitu sekitar 42%, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai katalis ramah lingkungan dalam produksi biodiesel.

Pengembangan katalis heterogen berbasis biomassa telah diteliti oleh Barros *et al.* (2020) yang memanfaatkan abu daun nanas sebagai katalis padat dalam reaksi transesterifikasi minyak kedelai dengan metanol. Katalis disintesis melalui proses kalsinasi limbah daun nanas, kemudian diuji dengan variasi parameter proses seperti suhu, waktu reaksi, rasio molar minyak terhadap metanol, serta jumlah katalis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum dicapai pada suhu 60 °C, waktu reaksi 30 menit, rasio molar 1:40, dan penggunaan katalis sebesar 4 wt% terhadap minyak, dengan konversi biodiesel mencapai lebih dari 98%. Tingginya aktivitas katalitik tersebut dikaitkan dengan kandungan logam alkali yang tinggi, khususnya kalium sebesar 58,8%, yang berperan sebagai situs basa aktif. Selain itu, katalis juga menunjukkan stabilitas yang baik hingga beberapa siklus penggunaan, sehingga berpotensi sebagai katalis yang efisien dan berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan katalis basa heterogen berbasis rumput teki yang diaplikasikan dalam proses produksi biodiesel. Diharapkan melalui penelitian ini dapat dihasilkan material katalis yang mampu menghasilkan biodiesel sesuai standar, sekaligus memberikan kontribusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam yang terbatas serta meningkatkan pemanfaatan limbah biomassa secara berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan, yaitu rumput teki yang diperoleh di Gresik, Jawa Timur, minyak kelapa sawit, methanol 99%, ethanol, kalium hidroksida, asam benzoat, asam oksalat, phenolphthalein, bromothymol blue, dan aquadest. Alat-alat yang digunakan adalah thermometer, beaker glass, magnetic bar, magnetic stirrer, erlenmeyer, dan burret

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Pembuatan Katalis

Sebanyak 1 kg rumput teki dicuci menggunakan akuades untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Selanjutnya, rumput teki dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil dan dijemur selama 24 jam. Bahan yang telah dijemur kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 125 °C selama 45 menit. Setelah kering, rumput teki dihaluskan hingga menjadi serbuk, kemudian dilakukan proses pengabuan menggunakan furnace pada suhu 600 °C selama 2 jam. Abu yang dihasilkan selanjutnya diayak menggunakan ayakan 100 mesh hingga diperoleh ukuran partikel yang seragam dan menghasilkan sekitar 130gram katalis. Katalis yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan metode XRF, XRD, BET, dan indikator Hammett.

2.2.2 Pembuatan Biodiesel

Sebanyak 40 mL minyak kelapa sawit dipanaskan hingga mencapai suhu 60 °C. Selanjutnya, minyak dicampurkan dengan metanol dengan variasi sebesar 9; 12; 15; 18; dan 21 mol, kemudian dilakukan pencampuran pada suhu 60 °C. Setelah itu, katalis ditambahkan dengan variasi konsentrasi sebesar 3; 5; 7; 9; dan 11% berat terhadap minyak. Campuran kemudian diaduk menggunakan pengaduk dengan kecepatan 600 rpm pada suhu 60 °C selama 60 menit untuk berlangsungnya reaksi transesterifikasi. Setelah reaksi selesai, campuran menghasilkan dua fase, yaitu biodiesel dan gliserol. Selanjutnya dilakukan proses pemisahan untuk memisahkan gliserol dari biodiesel. Produk biodiesel yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan kualitasnya melalui pengujian angka asam, densitas, viskositas, serta komposisi senyawa menggunakan GC-MS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Katalis

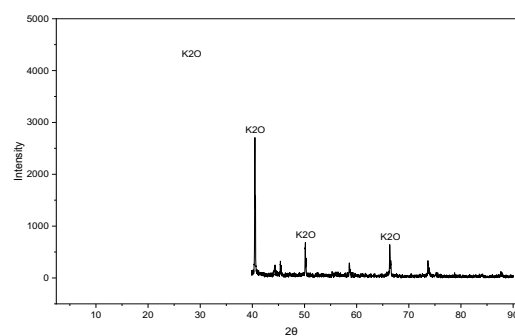
3.1.1 Analisis X-Ray Fluorescence (XRF)

Berdasarkan hasil uji X-Ray Fluorescence pada Tabel 1, abu rumput teki mengandung komponen utama yang ditemukan, yaitu K₂O 44,5 %; CaO 11,5% ; klorida (Cl) 27,2%; SiO₂ 6,8%; dan P₂O₅ 2,9%. Komponen-komponen ini berperan penting dalam aktivitas katalitik. Selain oksida logam tersebut, terdapat beberapa oksida logam lain dalam jumlah yang lebih sedikit seperti pada tabel di atas. Oleh karena itu, K₂O merupakan senyawa oksida logam utama yang terkandung dalam katalis abu

rumpun teki dan berperan atas kekuatan aktivitas katalis (Basumatary *et al.*, 2021).

3.1.2 Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Gambar 1 menunjukkan pola difraksi XRD abu rumput teki yang telah dikalsinasi pada suhu 600 °C selama 2 jam. Berdasarkan difraktogram yang diperoleh, teridentifikasi empat puncak utama dengan intensitas tertinggi pada sudut 2θ masing-masing sebesar 28,3855; 40,5101; 50,1388; dan 66,3438. Puncak paling tajam dengan intensitas tertinggi muncul pada sudut 2θ = 28,3855.



Gambar 1. Hasil XRD Abu Rumput Teki

Tabel 1 Hasil Uji XRF Abu Rumput Teki

Komponen	Komposisi (%)	Komponen	Komposisi (%)
Si	3,5	SiO ₂	6,8
P	1,4	P ₂ O ₅	2,9
S	2,55	SO ₃	5,58
Cl	32,5	Cl	27,2
K	47,1	K ₂ O	44,5
Ca	11,3	CaO	11,5
Ti	0,03	TiO ₂	0,03
Mn	0,26	MnO	0,27
Fe	0,487	Fe ₂ O ₃	0,533
Cu	0,058	CuO	0,057
Zn	0,07	ZnO	0,066
Br	0,036	Br	0,030
Sr	0,04	SrO	0,04
Ba	0,1	BaO	0,1
Eu	0,38	Eu ₂ O ₃	0,28
Re	0,11	Re ₂ O ₇	0,13

Menurut data standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) No. 26-1327, puncak karakteristik K₂O muncul pada sudut 2θ sekitar 25,121; 28,807; dan 40,625. Kemunculan puncak-puncak tersebut pada difraktogram menunjukkan bahwa fase K₂O telah terbentuk selama proses pembakaran dan kalsinasi abu rumput teki. Proses kalsinasi dapat mempercepat pembentukan dan penyempurnaan kristal suatu senyawa. Pertumbuhan kristal akan meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemanasan untuk

membentuk struktur kristalin yang lengkap pada suhu optimum.

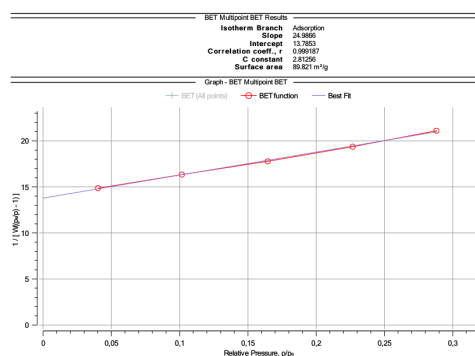
3.1.3 Analisis Tingkat Kebasaan

Kekuatan basa katalis dianalisis menggunakan metode indikator Hammett yang dilakukan dengan titrasi asam-basa menggunakan indikator bromothymol blue ($H_a = 7,6$) dan larutan asam benzoat 0,1 M dalam pelarut etanol. Katalis sebanyak 0,1 gram dilarutkan dalam 10 ml metanol, kemudian diaduk selama 1 jam dan disaring. Selanjutnya, filtrat ditetesi indikator *bromothymol blue* hingga berubah warna menjadi biru dan dititrasi dengan larutan asam benzoat 0,1 M dalam pelarut etanol dan diperoleh tingkat kebasaaan $0,5 \text{ mmol g}^{-1}$.

Nilai tersebut menunjukkan bahwa katalis dari abu rumput teki tergolong sebagai basa, sehingga dapat digunakan untuk mempercepat reaksi transesterifikasi. Tingginya kekuatan basa katalis ini dikarenakan adanya logam oksida pada permukaannya. Abu rumput teki diketahui mengandung kalium (K) sebagai unsur dominan, sehingga keberadaan K_2O bertindak sebagai basa kuat yang memengaruhi kekuatan basa katalis. Oleh karena itu, keberadaan senyawa oksida logam, khususnya K_2O , diduga menjadi faktor utama yang menyebabkan tingginya kekuatan basa pada katalis tersebut (Bahar *et al.*, 2020)

3.1.4 Analisis Brunauer-Emmett-Teller (BET)

Uji karakterisasi BET (Brunauer-Emmett-Teller) pada gambar 2 dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik, karakteristik pori, serta kualitas adsorpsi permukaan katalis. Berdasarkan hasil analisis BET multipoint pada gambar, diperoleh luas permukaan spesifik sebesar $89,821 \text{ m}^2/\text{g}$. Nilai ini menunjukkan bahwa katalis memiliki area aktif yang cukup besar untuk reaksi transesterifikasi pada permukaan katalis.

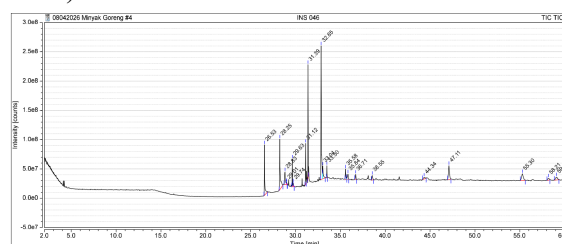


Gambar 2 Hasil Analisis BET Abu Rumput

Dari grafik BET multipoint diperoleh lima titik pada rentang tekanan relatif (P/P_0) 0,05–0,30 yang membentuk hubungan linier dengan persamaan regresi berdasarkan slope sebesar 24,9866 dan intercept 13,7853, serta koefisien korelasi (r) sebesar 0,999187. Nilai korelasi yang mendekati 1 menunjukkan bahwa data memenuhi asumsi linearitas metode BET, sehingga hasil perhitungan luas permukaan dapat dinyatakan valid dan akurat. Parameter-parameter ini berperan penting dalam menentukan aktivitas katalitik pada reaksi transesterifikasi. Luas permukaan yang besar menyediakan lebih banyak situs aktif, sedangkan struktur mesopori memungkinkan difusi reaktan ke dalam pori-pori katalis berlangsung lebih efektif (Bahar *et al.*, 2020)

3.2 Karakterisasi Minyak Kelapa Sawit

Gambar 3 merupakan hasil analisis GC-MS pada bahan baku minyak kelapa sawit yang digunakan dalam proses transesterifikasi pembuatan biodiesel. Diketahui komposisi senyawa yang terkandung di dalamnya yaitu 1-cis vaccenoylglycerol sebesar 24,77% waktu retensi 32,849 menit; cis-13-octadecenoic acid sebesar 12,41% waktu retensi 28,251 menit; Hexadecenoic acid sebesar 10,58% waktu retensi 31,386 menit; Ascorbic acid sebesar 8,75% waktu retensi 26,533 menit; Ethyl isoglycocholate sebesar 6,85% waktu retensi 47,110 menit. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui komponen yang paling dominan yaitu 1-cis vaccenoylglycerol sebesar 24,77% dan dapat disimpulkan bahwa komponen penyusun minyak kelapa sawit tersebut sudah sesuai dengan karakteristik khas dari asam lemak yang terdapat pada minyak kelapa sawit (Murti *et al.*, 2015).

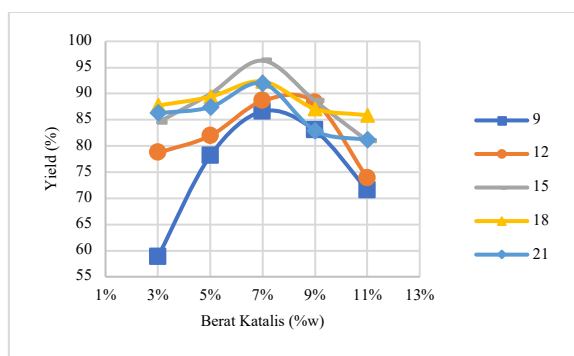


Gambar 3 Hasil GC-MS Minyak Kelapa Sawit

3.3 Pengaruh Berat Katalis dan Mol Metanol Terhadap Yield Biodiesel

3.3.1 Pengaruh Variasi Berat Katalis Terhadap Yield Biodiesel

Gambar 4 menunjukkan pengaruh variasi jumlah katalis terhadap yield biodiesel pada berbagai rasio metanol. Gambar 3 menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katalis dari 3 hingga 11% berat umumnya meningkatkan yield biodiesel. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah situs aktif yang mempercepat reaksi transesterifikasi, sehingga konversi menjadi metil ester meningkat. Namun, setelah mencapai kondisi optimum, penambahan katalis yang berlebihan justru menyebabkan penurunan yield.



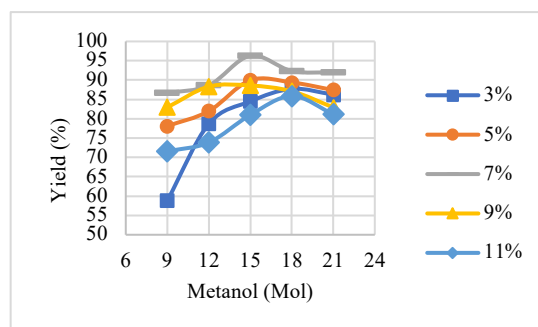
Gambar 4 Grafik Hubungan Berat Katalis terhadap Yield pada Variasi Mol Metanol

Kondisi ini terjadi karena campuran menjadi lebih kental sehingga menghambat perpindahan massa dalam sistem tiga fase (minyak, metanol, dan katalis) dan mengurangi kontak efektif antara reaktan. Sebaliknya, penggunaan katalis yang terlalu rendah juga menghasilkan yield yang lebih kecil akibat keterbatasan situs aktif. Berdasarkan hasil penelitian, yield biodiesel maksimum sebesar 96,31% diperoleh pada kondisi jumlah metanol 15 mol dan konsentrasi katalis 7% berat (Erchamo *et al.*, 2021).

3.3.2 Pengaruh Mol Metanol Katalis Terhadap Yield Biodiesel

Berdasarkan Gambar 5, peningkatan jumlah metanol dari 9 mol hingga 15 mol menunjukkan kenaikan yield biodiesel pada seluruh variasi berat katalis (3–11% berat). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah metanol berperan penting dalam menggeser kesetimbangan reaksi transesterifikasi ke arah pembentukan metil ester, mengingat reaksi ini bersifat reversibel. Dengan penambahan metanol yang lebih besar, reaksi terdorong menuju produk sehingga konversi trigliserida menjadi biodiesel meningkat, sebagaimana juga dilaporkan oleh Ulukardesler (2023). Namun, peningkatan yield hanya terjadi hingga kondisi

optimum. Pada penelitian ini, yield maksimum diperoleh pada rasio mol metanol terhadap minyak sebesar 15:1 dengan penggunaan katalis 7% berat.



Gambar 5 Grafik Hubungan Mol Metanol terhadap Yield pada Variasi Berat Katalis

Setelah melewati kondisi tersebut, yield biodiesel mengalami penurunan pada semua variasi katalis. Penurunan ini disebabkan oleh kelebihan metanol yang meningkatkan kelarutan gliserol dalam fase metanol, sehingga proses pemisahan menjadi kurang efektif. Akibatnya, sebagian gliserol tetap berada dalam sistem reaksi dan menggeser kembali kesetimbangan ke arah reaktan, yang pada akhirnya menurunkan pembentukan metil ester. Hasil ini sejalan dengan penelitian Basumatary *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa meskipun penambahan metanol dapat meningkatkan konversi, kelebihan metanol justru berdampak negatif terhadap yield biodiesel.

3.4 Karakterisasi Biodiesel

3.4.1 Analisis Densitas

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengukuran densitas telah dilakukan pada semua sampel biodiesel hasil transesterifikasi. Terlihat bahwa densitas semua sampel biodiesel berada pada rentang 0,8611 – 0,8878 g/cm³. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa densitas biodiesel hasil transesterifikasi sudah sesuai dengan SNI 7182:2015 (ASTM D 1298) yang menyatakan bahwa densitas biodiesel berada pada rentang 0,85–0,89 g/cm³.

Tabel 2 Hasil Analisis Densitas Biodiesel

Katalis (%wt)	Mol Methanol				
	9	12	15	18	21
3	0,8869	0,8778	0,8670	0,8834	0,8616
5	0,8774	0,8676	0,8771	0,8760	0,8784
7	0,8785	0,8784	0,8809	0,8712	0,8784
9	0,8710	0,8771	0,8687	0,8704	0,8839
11	0,8611	0,8869	0,8840	0,876	0,8830

Nilai densitas yang sudah sesuai ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti reaksi transesterifikasi yang berjalan dengan sempurna,

sehingga semua trigliserida sudah terkonversi menjadi FAME atau biodiesel. Selain itu, metode pemisahan dan pencucian biodiesel dari pengotor yang tepat dapat menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Hal ini dikarenakan tidak ada sisa metanol dan gliserol yang terkandung dalam biodiesel, sehingga nilai densitas menjadi lebih akurat (Oko et al, 2021)

3.4.2 Analisis Viskositas

Berdasarkan hasil pengukuran viskositas yang telah disajikan pada Tabel 3, terlihat bahwa viskositas semua sampel biodiesel berada pada rentang 2,7644 – 3,4609 mm²/s. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa viskositas biodiesel hasil transesterifikasi sudah sesuai dengan SNI 7182:2015 (ASTM D 445) yang menyatakan bahwa viskositas biodiesel berada pada rentang 2,3–6,0 mm²/s. Viskositas biodiesel telah memenuhi standar tersebut karena molekul trigliserida terurai sempurna menjadi biodiesel, sehingga tidak terbentuk ikatan hidrogen antarmolekul yang dapat meningkatkan viskositas biodiesel.

Tabel 3 Hasil Analisis Viskositas Biodiesel

Katalis (%wt)	Mol Methanol				
	9	12	15	18	21
3	3,0256	2,9820	3,3085	3,1271	3,1126
5	3,0764	3,0038	3,4609	3,3158	3,1126
7	2,8514	3,0618	3,0691	3,1271	3,2360
9	3,2287	2,8224	3,2215	3,0111	3,1126
11	3,0764	2,9095	3,1054	2,9458	2,8805

Apabila viskositas biodiesel terlalu rendah, pompa pengisian bahan bakar mengalami kebocoran atau kerusakan, sedangkan jika viskositas terlalu tinggi, hal ini menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna pada mesin kendaraan. Oleh karena itu, viskositas biodiesel harus memenuhi persyaratan standar mutu agar tidak merusak mesin dan dapat meningkatkan performa mesin (Sundaryono, 2011).

3.4.3 Analisis Angka Asam

Berdasarkan Tabel 4, pengukuran angka asam telah dilakukan pada semua sampel biodiesel hasil transesterifikasi. Terlihat bahwa angka asam semua sampel biodiesel berada pada rentang 0,2805 – 0,4488 mg KOH/g. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa angka asam biodiesel hasil transesterifikasi sudah sesuai dengan SNI 7182:2015 (ASTM D 664) yang menyatakan bahwa angka asam biodiesel maksimum yaitu 0,5 mg KOH/g. Hal tersebut dipengaruhi oleh semua asam lemak

bebas atau trigliserida yang sudah dikonversi menjadi biodiesel sepenuhnya. Dapat dikatakan bahwa biodiesel hasil transesterifikasi dapat digunakan sebagai bahan bakar karena telah memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Nilai angka asam yang rendah atau tinggi dapat menyebabkan permasalahan seperti penurunan stabilitas penyimpanan karena oksidasi terlalu cepat. (Sundaryono, 2011).

Tabel 4 Hasil Analisis Angka Asam

Katalis (%wt)	Mol Methanol				
	9	12	15	18	21
3	0,2805	0,4488	0,2805	0,4488	0,3366
5	0,3366	0,4488	0,2805	0,3927	0,3927
7	0,3927	0,3366	0,3366	0,3366	0,3366
9	0,3927	0,2805	0,4488	0,3366	0,3927
12	0,4488	0,3927	0,3927	0,2805	0,3927

3.4.4 Analisis Titik Nyala

Tabel 5 merupakan hasil uji titik nyala yang telah dilakukan pada sampel biodiesel hasil transesterifikasi dengan yield tertinggi, yaitu pada rasio mol methanol dan minyak 15:1 serta berat katalis 7%wt diperoleh nilai titik nyala sebesar 235° C. Hal ini sudah sesuai dengan standart mutu tersebut, karena menyatakan bahwa minimum titik nyala suatu biodiesel yaitu 100° C. Titik nyala biodiesel cenderung tinggi karena komponen utamanya adalah fatty acid metil ester (FAME) yang memiliki berat molekul tinggi dan tekanan uap rendah.

Tabel 5 Hasil Titik Nyala Biodiesel

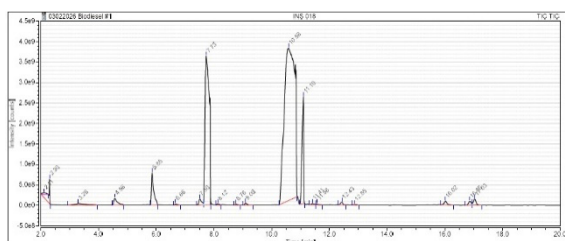
No	Sampel	Jenis Uji	Hasil	Metode Pengujian
1	Biodiesel	Flash point	235 °C	ASTM D92

Proses pemisahan dan pemurnian biodiesel menjadi kunci utama yang memengaruhi nilai titik nyala, di mana nilai yang terlalu rendah mengindikasikan pemurnian yang kurang maksimal dan nilai yang tinggi mengindikasikan pemurnian berjalan sempurna. Titik nyala berkorelasi dengan keamanan dan penanganan biodiesel, Nilai yang terlalu rendah menandakan biodiesel lebih mudah terbakar dan nilai yang terlalu tinggi menandakan biodiesel lebih sulit terbakar. (Budiman et al, 2023).

3.4.5 Analisis GC-MS

Gambar 6 merupakan hasil analisis GC-MS yang telah dilakukan pada sampel biodiesel hasil transesterifikasi dengan yield tertinggi sebesar 96,3166%, yaitu pada variasi mol metanol 15 mol dan berat katalis 7%. Diperoleh 20 puncak, dengan puncak tertinggi pada peak 12 dengan waktu retensi 10,582 menit. Selain

itu, beberapa senyawa metil ester yang terdapat dalam sampel biodiesel diantaranya yaitu methyl ester (Metil oleat) sebesar 60,75% waktu retensi 10.582 menit; Hexadecanoic acid, methyl ester (Metil palmitat) sebesar 23,28% waktu retensi 7.725 menit; Methyl stearate (Metil stearate) sebesar 6,79% waktu retensi 11.096; Methyl tetradecanoate (Metil miristat) sebesar 2,75% waktu retensi 5.851 menit; Dodecanoic acid, methyl ester (Metil laurat) sebesar 0,91% waktu retensi 4.562 menit. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui komponen yang paling dominan yaitu metil oleat (60,75%) dan dapat disimpulkan bahwa komponen penyusun biodiesel tersebut sudah sesuai dengan karakteristik khas dari asam lemak yang terdapat pada minyak kelapa sawit (Murti et al, 2015).



Gambar 6 Hasil GC-MS Biodiesel

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan yield biodiesel sebesar 96,3167% pada volume metanol 15 mol serta berat katalis 7 wt% pada temperatur operasi 60 °C dan waktu 60 menit menggunakan bahan minyak kelapa sawit dan katalis basa heterogen berbasis rumput teki. Pada kondisi tersebut didapatkan nilai densitas sebesar 0,8809 g/cm³, nilai viskositas sebesar 3,0691 mm²/s, nilai angka asam sebesar 0,3366 mg KOH/g, dan titik nyala 235 °C. Hal ini sudah sesuai dengan SNI 7182:2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahar, I. *et al.* (2020) 'Taming waste : Waste Mangifera indica peel as a sustainable catalyst for biodiesel production at room temperature', *Renewable Energy*, 161, pp. 207–220. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.07.061>.
- Barros, S.D.S. *et al.* (2020) 'Bioresource Technology Pineapple (Ananás comosus) leaves ash as a solid base catalyst for biodiesel synthesis', *Bioresource Technology*, 312(April), p. 123569. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123569>.
- Basumatary, B. *et al.* (2021) 'Waste Musa paradisiaca plant: An efficient heterogeneous base catalyst for fast production of biodiesel', *Journal of Cleaner Production*, 305, p. 127089. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127089>.
- Budiman, A.A. *et al.* (2023). 'review Artikel : Produksi Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan
- Erchamo, Y.S. *et al.* (2021) 'Improved biodiesel production from waste cooking oil with mixed methanol – ethanol using enhanced eggshell - derived CaO nano - catalyst', *Scientific Reports*, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86062-z>.
- Lee, H.V. *et al.* (2016) 'Heterogeneous base catalysts for edible palm and non-edible Jatropha-based biodiesel production', pp. 1–9.
- Murti, G.W. *et al.* (2015) ' Optimasi Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit dan Jarak Pagar Dengan Menggunakan Katalis Heterogen Kalsium Oksida', *Jurnal Energi Dan Lingkungan*, 11(2), pp 91-100
- Muthoharoh, H. (2019) 'Analisis Kadar Flavonoid Total Ekstrak Umbi Rumput Teki (Cyperus Rotundus L.)', *J-Hestech (Journal Of Health Educational Science And Technology)*, 2(2), p. 127. Available at: <https://doi.org/10.25139/htc.v2i2.2075>.
- Oko, S. *et al.* (2021) 'sintesis Biodiesel Dari Minyak Kedelai Melalui Reaksi Transesterifikasi Dengan Katalis Cao/Naoh' , *Jurnal Teknologi*, 13 (1), pp 1-6. DOI: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.13.1.1-6>
- Rahayu and Mardiyanto, S. (2019) 'Gulma Teki-Tekian Di Kebun Kelapa Sawit Desa Makmur Jaya, Tikke Raya, Kabupaten Pasangkayu Sedges in Oil Palm Plantation of Makmur Jaya Village, Tikke Raya, Pasangkayu Regency', *Jurnal Agrotech*, 9(02), pp. 56–59. Available at: <https://doi.org/10.31970/agrotech.v9i2.34>.
- Sao, V. *et al.* (2007) 'Cadmium accumulation by Axonopus compressus (Sw.) P. Beauv and

- Cyperus rotundas Linn growing in cadmium solution and cadmium-zinc contaminated soil', *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 29(3), pp. 881–892.
- Sundaryono, A.(2011). 'karakteristik Biodiesel Dan Blending Biodiesel Dari Oil Losses Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit', *Jurnal Teknik Industri Pertanian*, 21(1), pp 34-40.
- Tsai, C.H. and Tsai, W.T. (2024) 'Sustainable Processes Reusing Biomass Potassium-Rich Ash as a Green Catalyst for Biodiesel Production : Sustainable Processes Reusing Biomass Potassium-Rich Ash as a Green Catalyst for Biodiesel Production : A Mini-Review'. Available at: <https://doi.org/10.20944/preprints202410.1791.v1>.
- Tustiyani, I. *et al.* (2019) 'Identifikasi keanekaragaman dan dominansi gulma pada lahan pertanaman jeruk (Citrus sp.)', *Kultivasi*, 18(1), pp. 779–783. Available at: <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v18i1.18933>.
- Ulukardesler, A.H. (2023) 'Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Different'.
- Yaghi, M. *et al.* (2025) 'An Overview of Biodiesel Production via Heterogeneous Catalysts : Synthesis , Current Advances , and Challenges', pp. 1–55.