

Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO/SiO₂ dari Ekstrak Cangkang Telur dan Sekam Padi

Characterization of Biodiesel from Waste Cooking Oil Using CaO/SiO₂ Catalyst From Egg Shell and Rice Husk Extract

Shafwan Amrullah^{1*}, Cyrilla Oktaviananda²

¹Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Ilmu dan Teknologi Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa

²Program Studi D3 Teknik Kimia, Politeknik Katolik Mangunwijaya

Email: ¹shafwan.amrullah@uts.ac.id, ²cyrillaoktaviananda.28@gmail.com

*Penulis korespondensi: shafwan.amrullah@uts.ac.id

Direview: 11 Agustus 2024

Diterima: 15 Agustus 2024

ABSTRAK

Energi terbarukan saat ini memiliki perhatian besar terhadap ketahanan energi dunia. Hal ini dikarenakan cadangan minyak berbasis fosil mengalami penipisan. Salah satu alternatif energi terbarukan adalah biodiesel. Harga produksi biodiesel saat ini masih relatif mahal. Sehingga pada penelitian ini bertujuan untuk membuat biodiesel murah dari minyak jelantah. Katalis yang digunakan adalah CaO/SiO₂ dari limbah cangkang telur dan sekam padi dengan perbandingan 50:50 w/w. Penelitian dilakukan dengan pembuatan katalis dengan kalsinasi tertentu dan karakterisasi katalis menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA). Selanjutnya, biodiesel dibuat melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Katalis CaO/SiO₂ yang dihasilkan memiliki luas permukaan total sebesar 31,958 m²/gram. Nilai ini telah memenuhi standar luas permukaan katalis heterogen. Yield biodiesel yang dihasilkan dari jumlah katalis 5; 10; dan 15 gram berturut-turut sebesar 80%, 81%, dan 86%. Densitas biodiesel semakin kecil dengan meningkatnya kadar katalis yang digunakan. Densitas biodiesel dengan jumlah katalis 5,10, dan 15 gram berturut-turut 890, 860, 870 kg/m³. Nilai ini telah memenuhi SNI 7162:2015. Viskositas kinematik yang dihasilkan sedikit menurun dengan meningkatnya jumlah katalis yang digunakan. Viskositas kinematik yang dihasilkan dari jumlah katalis 5; 10; dan 15 gram berturut-turut adalah 3,1; 3,1; dan 3,0 mm²/s. Kadar FFA biodiesel cenderung menurun dengan penambahan jumlah katalis yang digunakan. Hasil penelitian ini belum memenuhi standar kadar FFA biodiesel yaitu maksimum 0,5 mg-KOH/g. Kadar FFA yang dihasilkan berturut-turut adalah 0,64%, 0,65%, dan 0,64%. Peningkatan jumlah katalis yang digunakan menyebabkan peningkatan *methyl ester stearate*. Hasil *methyl ester stearat* yang dihasilkan berdasarkan jumlah katalis 5, 10, dan 15 gram berturut-turut adalah 80,3%; 91,4%; dan 95,8%.

Kata kunci: Biodiesel, Cangkang Telur, Katalis CaO/SiO₂, Minyak Jelantah, Sekam Padi

ABSTRACT

Renewable energy currently has great attention to world energy security. This is because fossil-based oil reserves are depleting. One alternative renewable energy is biodiesel. The current price of biodiesel production is still relatively expensive. So this study aims to make cheap biodiesel from used cooking oil. The catalyst used is CaO/SiO₂ from egg shell waste and rice husks with a ratio of 50:50 w/w. The study was conducted by making catalysts with certain calcinations and characterizing the catalyst using the *Surface Area Analyzer* (SAA). Furthermore, biodiesel was made through esterification and transesterification processes. The CaO/SiO₂ catalyst produced has a total surface area of 31.958 m²/gram. This value has met the standard for the surface area of heterogeneous catalysts. The yield of biodiesel produced from the amount of catalyst 5; 10; and 15 grams were respectively 80%, 81%, and 86%. The density of biodiesel decreases with increasing levels of catalyst used. The density of biodiesel with catalyst amounts of 5, 10, and 15 grams were 890, 860, and 870 kg/m³, respectively. These values have met SNI 7162:2015. The resulting kinematic viscosity decreased slightly with increasing amounts of catalyst used. The kinematic viscosity produced from catalyst amounts of 5; 10; and 15 grams were 3.1; 3.1; and 3.0 mm²/s, respectively. The FFA content of biodiesel tended to decrease with increasing amounts of catalyst used. The results of this study have not met the standard for FFA content of biodiesel, which is a maximum of 0.5 mg-KOH/g. The resulting FFA content was 0.64%, 0.65%, and 0.64%, respectively. Increasing the amount of catalyst used caused an increase in methyl ester stearate. The yields of methyl ester stearate produced based on the amount of catalyst 5, 10, and 15 grams were 80.3%; 91.4%; and 95.8%, respectively.

Keywords: Biodiesel, CaO/SiO₂ Catalyst, Cooking Oil, Egg Shell, Rice Husk

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar terbarukan saat ini sangat dibutuhkan. Hal ini terjadi karena kebutuhan bahan bakar yang terus meningkat, namun sumber bahan bakar tersebut diketahui sangat terbatas (Maleki *et al.*, 2023). Keterbatasan ini juga diperparah dengan perubahan peta perdagangan minyak mentah. Penggunaan biofuel juga memberikan solusi nyata untuk mengurangi kandungan karbon di udara. Kandungan karbon ini tentunya disebabkan oleh banyaknya proses pembakaran bahan bakar fosil. Faktanya, pada tahun 2050 para peneliti memperkirakan akan terjadi peningkatan penggunaan bahan bakar fosil hingga 40%. Adanya tren ini menandakan adanya penambahan CO₂, serta memberikan dampak yang lebih signifikan terhadap pemanasan global (Talesh, 2022). Di Indonesia, penggunaan bahan bakar fosil masih mendominasi yaitu mencapai 88,8%. Secara keseluruhan pemanfaatan Energi Terbarukan (EBT) di Indonesia masih sangat kecil, hanya 11,2%. Tanggal tersebut menunjukkan bahwa Indonesia secara keseluruhan masih bergantung pada energi fosil (Rohman *et al.*, 2021). Adanya permasalahan tersebut mengharuskan Indonesia untuk meningkatkan produksi energi terbarukan. Energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan oleh Indonesia saat ini sangat banyak, salah satunya adalah biofuel seperti biodiesel.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari biomassa. Berdasarkan senyawa yang dimilikinya, biodiesel merupakan campuran akil ester yang disintesis melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi berbagai bahan yang mengandung minyak. Para ilmuwan masih fokus pada permasalahan bahan baku dan katalis, hal ini dikarenakan 75% biaya transesterifikasi berada pada aspek bahan baku (Maleki *et al.*, 2023). Selain itu, permajaan katalis juga menjadi salah satu faktor penyebab kenaikan harga biodiesel (Zhu *et al.*, 2019). Hal ini menyebabkan penggunaan biodiesel masih kurang diminati. Sehingga perlu adanya solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut, agar biodiesel dapat diterima di pasaran.

Pemanfaatan bahan alternatif lain sebagai bahan baku produksi biodiesel telah banyak diteliti, salah satunya adalah minyak jelantah. Minyak jelantah menjadi solusi yang tepat, karena minyak jelantah merupakan sisa minyak yang merupakan limbah rumah tangga. Apalagi harga minyak jelantah sangat murah, bahkan tidak ada nilainya sama sekali, karena minyak jelantah merupakan minyak limbah. Berdasarkan penelitian sebelumnya, minyak jelantah dapat menghasilkan biodiesel yang dapat mencapai standar ASTM D6751 dan EN 14214. Artinya minyak jelantah mempunyai potensi besar sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.

Masalah lainnya adalah ketersediaan katalis. Katalis dalam pembuatan biodiesel merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi harga biodiesel. Saat ini para ilmuwan juga fokus mencari katalis yang murah dan mudah didapat. Pada prinsipnya katalis dibedakan menjadi dua jenis, yaitu katalis dari sumber biomassa dan katalis non biomassa. Katalis non biomassa mempunyai tingkat produksi yang baik, namun membutuhkan biaya yang besar. sebaliknya katalis non biomassa dapat menghasilkan produk samping yang dapat mencemari lingkungan. Sehingga penggunaan katalis dari biomassa dapat mencegah pencemaran lingkungan lebih lanjut (Talesh, 2022; Amrullah & Evila, 2021).

Banyak peneliti yang telah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Salah satunya adalah pembuatan jet oil menggunakan minyak jelantah dengan katalis ZnAl₂O₄. Biodiesel yang diperoleh menunjukkan potensi yang menjanjikan sebagai bahan bakar bioavtur (El-Araby *et al.*, 2020). Penelitian lain juga telah menggunakan minyak jelantah sebagai bahan baku dengan katalis cangkang kemiri dan menghasilkan potensi bahan bakar bioavtur yang menjanjikan (Talesh, 2022). Penelitian lain yang menggunakan bahan baku minyak jelantah dengan katalis biomassa menunjukkan bahwa kualitas produk biodiesel (viskositas dan densitas) memenuhi persyaratan spesifikasi biodiesel sesuai SNI 7182-2015 (Adu, 2020).

Berdasarkan pemaparan sebelumnya, pemanfaatan katalis minyak jelantah dan biomassa untuk menghasilkan biodiesel sangat potensial. Sehingga pada penelitian ini dilakukan proses transesterifikasi dengan menggunakan minyak jelantah dan menggunakan katalis berbahan biomassa. Biomassa yang digunakan adalah limbah jerami padi. Sampah ini sangat melimpah khususnya di Wilayah Nusa Tenggara Barat. Diketahui Nusa Tenggara Barat merupakan penghasil beras terbesar kesembilan di Indonesia, dengan total produksi beras pada tahun 2021 sebanyak 1.432.460 (Anonim, 2020). Selain itu, peneliti sebelumnya juga menemukan bahwa abu jerami padi memiliki kandungan silika yang cukup besar yaitu sebesar 65,92% (Malasyi & Wesli, 2017). Kandungan silika (SiO₂) lebih tinggi dibandingkan kandungan silika tongkol jagung. Sedangkan cangkang telur menjadi salah satu limbah yang saat ini banyak ditemukan juga. Pada penelitian ini cangkang telur digunakan sebagai campuran katalis sebagai penyuplai CaO yang baik. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan campuran SiO₂ yang didapatkan dari limbah pertanian setempat, yaitu limbah sekam padi. Kedua jenis katalis ini dicampur sehingga mendapatkan jenis katalis heterogen dengan performance yang baik sebagai katalis dalam merubah minyak jelantah menjadi biodiesel. Pada penelitian ini juga, proses

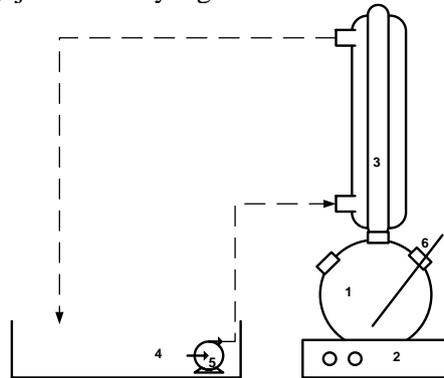
karakterisasi terhadap katalis yang telah dibuat dilakukan menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA) untuk mendapatkan luas permukaan katalis sebagai pembantu pada reaksi transesterifikasi minyak jelantah. Selain itu dilakukan juga karakterisasi terhadap biodiesel yang dihasilkan menggunakan GCMS (*Gas Chromatography-mass spectroscopy*) sebagai alat untuk mendeteksi kandungan biodiesel pada produk yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Persiapan Alat dan Bahan

Beberapa bahan yang disiapkan dalam penelitian ini adalah limbah cangkang telur ayam, sekam padi lembut, NaOH teknis, aquades, H_2SO_4 murni, Minyak jelantah yang diambil dari para pedagang gorengan di sekitar kota Sumbawa.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah seperangkat alat ekstraksi yang terdiri dari labu leher 3 volume 250 mL, pendingin gelas, *magnetic stirrer*, dan termometer. Serangkaian alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Selain itu digunakan peralatan lain seperti *Surface Area Analyzer* (SAA) sebagai alat untuk mengukur luas permukaan total dari katalis. Alat yang lain adalah *Gas Chromatography-mass Spectrometry* (GCMS) untuk menguji biodiesel yang dihasilkan.



Gambar 1. Rangkaian Reaktor Transesterifikasi

(Keterangan Gambar: (1) Labu leher tiga (reaktor utama); (2) Magnetic Stirrer; (3) Kondensor jenis double pipes; (4) Bak air pendingin; (5) Pompa sentrifugal; (6) Termometer)

2.2. Persiapan Katalis

Proses pembuatan katalis meliputi beberapa tahap. Tahapan ini diperoleh dari proses percobaan yang menghasilkan proses yang paling tepat. Tahapan penelitian terdiri dari penjemuran cangkang telur di bawah sinar matahari selama 3 hari. Hal ini untuk menghemat energi. Pengayakan menggunakan ukuran 100 mesh. Hal ini ditentukan berdasarkan proses pengayakan yang dilakukan (Suryandari *et al.*, 2021). Pengayakan ini dilakukan untuk menghomogenisasi bahan dan juga untuk mendapatkan hasil pembakaran terbaik.

Setelah dilakukan proses pengecilan ukuran, dilakukan pengeringan selama 6 jam pada suhu $110^{\circ}C$. Seperti yang dilakukan penelitian terbaru (Maleki *et al.*, 2023). Setelah kering, proses selanjutnya adalah kalsinasi pada suhu $800^{\circ}C$ selama 2 jam. Teknik ini didasarkan pada hasil maksimal yang dihasilkan oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Tujuan kalsinasi adalah untuk mendapatkan CaO. CaO merupakan senyawa kapur yang lebih basa dibandingkan cangkang telur sebelumnya yang mengandung $CaCO_3$.

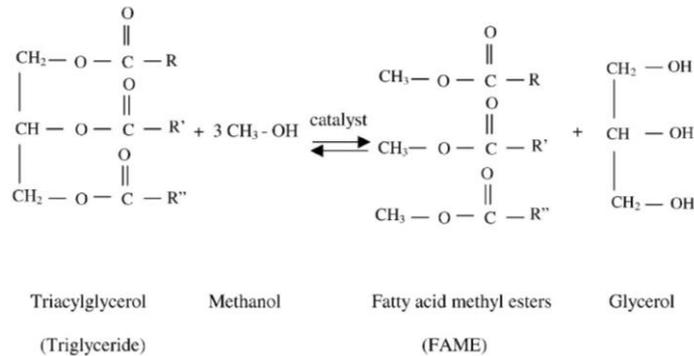
Proses persiapan katalis SiO_2 dilakukan terpisah. Mulanya, sekam padi yang telah diambil dari penggilingan padi di daerah Sumbawa, dikeringkan melalui proses penjemuran selama 3 hari. Setelah itu dilakukan proses pengeringan kembali dengan oven pada suhu $110^{\circ}C$ sampai kadar air habis. Selanjutnya dilakukan proses kalsinasi pada suhu $500^{\circ}C$ selama 2 jam. Hasil kalsinasi kemudian dicampur dengan CaO dari hasil kalsinasi cangkang telur yang telah dilakukan sebelumnya. Perbandingan yang digunakan pada penelitian ini adalah 50:50 berat/berat. Katalis yang digunakan berukuran 40 mesh.

Setelah pencampuran dilakukan, proses dilanjutkan dengan perendaman menggunakan NaOH 0,5 M. Penggunaan konsentrasi ini berdasarkan referensi sebelumnya. Pemuai dilakukan dengan merendam katalis CaO/SiO_2 selama 24 jam. Setelah 12 jam dilakukan pencucian dan penyaringan dengan menggunakan kertas saring hingga kadar NaOH hilang. Pencucian yang digunakan adalah aquades. Hilangnya kadar NaOH ditunjukkan dengan memeriksa pH hingga diperoleh pH normal (pH 7). Setelah proses pemurnian dilakukan

proses pengeringan kembali dengan menggunakan oven selama 3 jam pada suhu 100°C. Selanjutnya karakterisasi dilakukan menggunakan SAA.

2.3. Produksi Biodiesel

Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi. Reaksi kimia transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 2. Proses esterifikasi diawali dengan mencampur minyak jelantah dengan asam sulfat (H₂SO₄) dengan konsentrasi 98% sebanyak 0,5% dari massa minyak jelantah. Selanjutnya larutan tersebut ditambahkan metanol dengan kemurnian 98% sebanyak 50% volume minyak jelantah. Minyak jelantah yang telah ditambahkan asam sulfat (H₂SO₄) dan metanol diaduk selama 20-30 menit pada suhu 70°C. Produk hasil reaksi esterifikasi dipisahkan menggunakan corong pisah selama 24 jam hingga terbentuk dua lapisan. Selanjutnya diambil lapisan yang mengandung minyak dan alkil ester untuk direaksikan pada proses selanjutnya yaitu transesterifikasi.



Gambar 2. Reaksi Kimia Proses Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel (Lamichhane *et al.*, 2020)

Reaksi transesterifikasi berlangsung dalam labu leher tiga berkapasitas 250 mL sebagai reaktor ditambah dengan kondensor, pemanas, dan pengaduk dari magnetic stirrer. Minyak jelantah dan metanol 98% dicampur dengan perbandingan mol 1:12 dan dimasukkan ke dalam reaktor. Selanjutnya katalis CaO/SiO₂ juga dimasukkan ke dalam reaktor. Variasi katalis yang digunakan adalah 5, 10, dan 15 gram. Pemanasan dilakukan pada suhu 60°C selama 90 menit dengan kecepatan pengadukan 700 rpm. Hasil reaksi transesterifikasi didiamkan selama 24 jam untuk memisahkan antara katalis, gliserol, dan biodiesel. Setelah proses pemisahan campuran biodiesel dan katalis, dilakukan tahap pemurnian. Pemurnian dilakukan dengan proses pencucian menggunakan aquades dan diendapkan terus menerus. Setelah pencucian, penguapan dilakukan pada suhu 100°C untuk menghilangkan kandungan airnya. Campuran biodiesel dan pengotor dapat dipisahkan menggunakan corong pisah selama 24 jam. Selanjutnya produk biodiesel dianalisis yang meliputi kadar asam lemak metil ester (FAME) menggunakan GC-MS dan analisis sifat fisik yang meliputi densitas dan viskositas menggunakan viskometer Koehler.

2.4. Karakterisasi Biodiesel

Perhitungan massa biodiesel dilakukan dengan menghitung rendemen dari produk biodiesel yang dihasilkan. Rumus yang digunakan ada pada Persamaan 1 (Ginting *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2011).

$$\text{Yield FAME (Fatty Acid Methyl Ester)} = \frac{\text{Berat Aktual dari Biodisel (gr)}}{\text{Berat biodiesel secara teoritis (gr)}} \times 100\% \quad (1)$$

Calculation of biodiesel density is carried out using Equation 2 (Amrullah *et al.*, 2021).

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{(\text{berat piknometer+sampel}) - (\text{berat piknometer kosong})}{(\text{Volume piknometer})} \quad (2)$$

Viskositas kinetik diuji dengan menggunakan metode ASTM D-445. Pengukuran Viskositas Kinematik (ASTM D-445) dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia. Alat yang digunakan berbagai macam salah satunya viskometer bola jatuh. Standar ASTM D-445 peningkatan waktu yang dibutuhkan tidak boleh kurang dari 200 sekon dengan setiap pengujian sampel dilakukan dua kali. Perhitungan viskositas dari bahan yang diuji pada hasil viskositas kinematik dari viskometer dan kepadatan dari bahan yang diuji.

Pengujian FFA dilakukan dengan menggunakan metode titrasi alkalimetri. Metode ini sama dengan pengujian asam basa (Silalahi et al., 2017). Selain itu digunakan indikator PP (phenolphthalein). Cara pengujian adalah dengan titrasi menggunakan NaOH. Sampel biodiesel diambil dan dicampurkan dengan alkohol. Setelah itu dicampurkan dengan PP. sampel dipanaskan hingga homogen. Selanjutnya campuran dititrasi dengan NaOH 0,1 N. Titrasi kemudian dilakukan hingga terjadi perubahan warna menjadi merah muda. Volume NaOH diukur dan menghitung FFA menggunakan Persamaan 3.

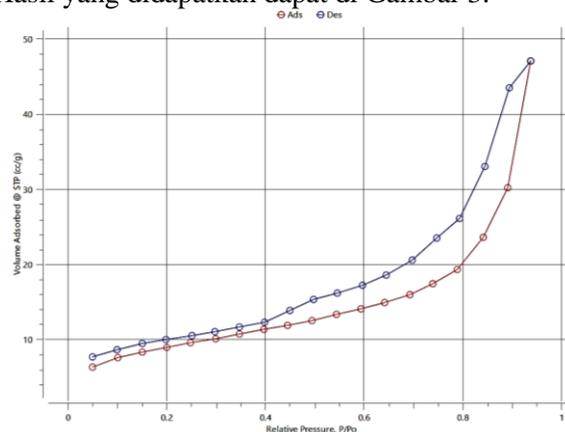
$$FFA = \frac{Volume \times BM \times Normalitas}{Berat \ sampel} \quad (3)$$

Pengujian konsentrasi dilakukan dengan mencari konsentrasi metil ester pada produk biodiesel yang dianalisis dengan GC-MS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Karakterisasi Katalis CaO/SiO₂

Karakterisasi katalis yang telah dilakukan menggunakan SAA telah dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia. Hasil yang didapatkan dapat di Gambar 3.



Gambar-3. Karakteristik Pengujian Luas Area Katalis CaO/SiO₂

Berdasarkan pada grafik Isoterm pada Gambar 3, karakteristik katalis CaO/SiO₂ menghasilkan luas permukaan yang cukup besar, yaitu sebesar 31,958 m²/g. Hasil ini sesuai dengan standar luas permukaan katalis heterogen yang ada, yaitu 1-1.000 m²/g. Beberapa penelitian sebelumnya menghasilkan hasil yang sama, yaitu pada rentang yang mirip dengan standar yang ada. Seperti yang dihasilkan penelitian sebelumnya, yaitu katalis TiO₂ memiliki luas permukaan total sebesar 56,05 m²/gr (Bhuyan et al., 2017).

Akan tetapi, hasil ini didapatkan dengan metode yang lebih baik dibandingkan dengan yang dilakukan pada penelitian ini. perbedaan kedua metode ada pada lama perendaman. Pada penelitian ini hanya menggunakan perendaman selama 24 jam. Pada penelitian ini, suhu pengeringan menggunakan suhu ruangan (Dewi et al., 2021).

3.2. Hasil Karakterisasi Biodiesel

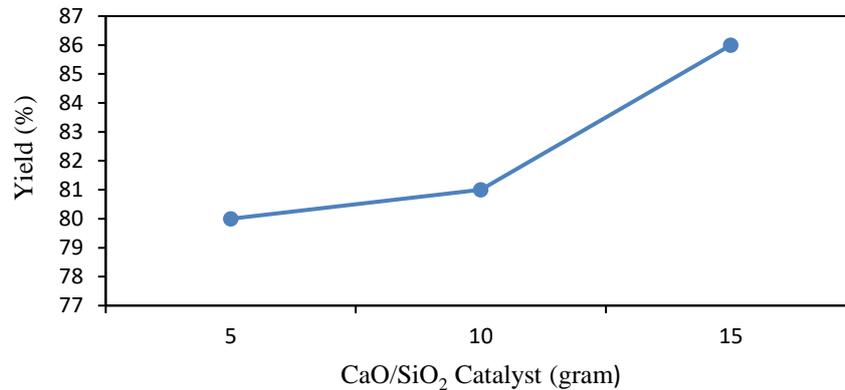
Biodiesel yang dihasilkan telah didapatkan. Secara visual, biodiesel yang dihasilkan berdasarkan perbedaan jumlah katalis dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa penambahan jumlah katalis dapat menyebabkan perubahan warna biodiesel menjadi lebih cerah. Hal ini kemungkinan disebabkan terjadi penyerapan tar yang lebih banyak dengan jumlah katalis yang lebih besar.



Gambar-4. Bentuk Visual dari Biodiesel yang Dihasilkan

3.2.1 Hasil pengukuran yield biodiesel yang dihasilkan berdasarkan perbedaan jumlah katalis CaO/SiO₂

Hasil pengukuran yield biodiesel yang dihasilkan berdasarkan perbedaan jumlah katalis CaO/SiO₂ yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar-5. Pembuatan Biodiesel Dengan Variasi Katalis

Gambar 5 menunjukkan bahwa peningkatan jumlah biodiesel disebabkan oleh peningkatan jumlah katalis. Jumlah katalis 5 gr menghasilkan rendemen sebesar 80%. Jumlah katalis 10 gr menghasilkan rendemen sebesar 81%. Sedangkan jumlah katalis 15 gr menghasilkan rendemen sebesar 86%. Berdasarkan hasil yang didapatkan, terjadi sedikit peningkatan rendemen biodiesel dengan adanya penambahan jumlah katalis CaO/SiO₂, walaupun hasil ini tidak terlalu signifikan. Berdasarkan Gambar 5, peningkatan rendemen biodiesel yang dihasilkan kemungkinan disebabkan karena adanya peningkatan luas permukaan katalis terhadap reaktan yang ada. Adanya peningkatan bidang sentuh terhadap katalis, menyebabkan adanya peningkatan reaksi, baik itu dari kecepatan maupun produk reaksi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, adanya peningkatan konversi biodiesel disebabkan karena situs asam/basa dari katalis semakin bertambah dengan penambahan jumlah katalis (Bhuyan et al., 2017) (Buchori et al., 2019).

Akan tetapi, pada penelitian ini, peningkatan yang terjadi tidak begitu signifikan, artinya katalis kemungkinan hanya bertindak sebagai percepatan reaksi tanpa adanya peningkatan jumlah produk yang dihasilkan.

3.2.2 Hasil pengukuran densitas biodiesel yang dihasilkan berdasarkan perbedaan jumlah katalis CaO/SiO₂

Densitas biodiesel yang dihasilkan dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa katalis CaO/SiO₂ sebanyak 5 gram menghasilkan densitas 890 Kg/m³, 10 gram menghasilkan densitas 860 Kg/m³, dan pada massa katalis 15 gram menghasilkan nilai densitas sebesar 870 Kg/m³. Berdasarkan hasil pada Tabel 1 memperlihatkan kecenderungan penurunan nilai densitas dengan meningkatkan jumlah katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi. hal ini kemungkinan disebabkan karena semakin meningkatnya jumlah katalis, mengakibatkan bertambahnya luas permukaan bidang sentuh katalis terhadap reaktan. Selain itu meningkatnya luas permukaan katalis memberikan peningkatan bidang sentuh sisi aktif dari katalis terhadap reaktan yang ada (Pham *et al.*, 2018; Turnip *et al.*, 2017). Berdasarkan penjelasan di atas, konversi reaktan menjadi produk semakin besar. Adanya peningkatan konversi minyak jelantah menjadi produk mengakibatkan semakin berkurangnya berat biodiesel, sebab kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) semakin berkurang. Jika hasil ini dikaitkan dengan Persamaan 2, maka dapat ditarik pemahaman bahwa terjadi penurunan densitas jika berat biodiesel semakin berkurang.

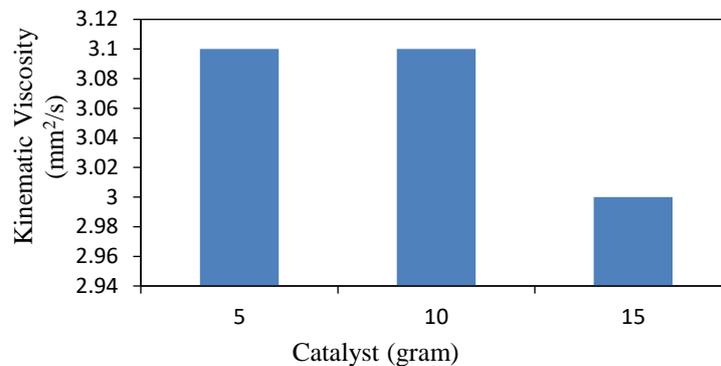
Tabel -1. Nilai densitas biodiesel berdasarkan perbedaan jumlah katalis CaO/SiO₂

Catalyst (gram)	Densitas of Biodiesel (kg/m ³)
5	890
10	860
15	870

Densitas yang dihasilkan dari Tabel 1 juga menunjukkan semua variasi jumlah katalis CaO/SiO₂ telah masuk dalam range Standar Nasional Indonesia untuk produk biodiesel yang dihasilkan. Berdasarkan SNI 7162:2015, standar densitas biodiesel yaitu 850 hingga 890 Kg/m³ (Purwaningrum & Sukaryo, 2018).

3.2.3 Hasil pengukuran viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan berdasarkan perbedaan jumlah katalis CaO/SiO₂

Hasil pengujian viskositas kinematik biodiesel berdasarkan perbedaan jumlah katalis yang digunakan dalam proses transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 6.



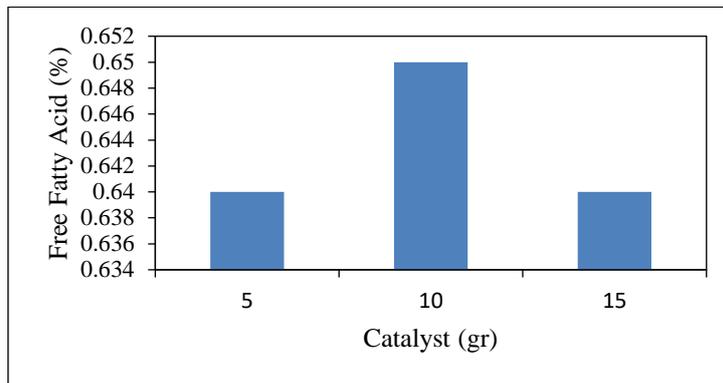
Gambar-6. Viskositas Kinematik Biodiesel Berdasarkan Perbedaan Jumlah Katalis

Pada Gambar 6, biodiesel dengan katalis CaO/SiO₂ 5 gram menghasilkan viskositas kinematik sebesar 3,1 mm²/s. biodiesel dengan jumlah katalis CaO/SiO₂ sebesar 10 gram menghasilkan nilai viskositas kinematik sebesar 3.1 mm²/s. sedangkan biodiesel dengan katalis CaO/SiO₂ sebesar 15 gram menghasilkan nilai viskositas kinematik sebesar 3 mm²/s.

Berdasarkan Gambar 6, penambahan jumlah katalis yang digunakan untuk proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel memberikan nilai viskositas yang hampir sama, walaupun ada penurunan dari penggunaan katalis 10 gr ke 15 gram. Hal ini dimungkinkan disebabkan karena adanya pengurangan FFA yang ada. Hal ini sejalan dengan apa penelitian sebelumnya, yaitu penurunan nilai viskositas karena adanya penurunan kadar FFA yang terkandung di dalam Biodiesel (Turnip *et al.*, 2017). Selain itu, nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan ini telah memenuhi SNI 7162:2015.

3.2.4 Kadar Free Fatty Acid Biodiesel berdasarkan perbedaan jumlah katalis CaO/SiO₂ yang digunakan

Kadar FFA yang dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel berdasarkan perbedaan jumlah katalis ditunjukkan pada Gambar 7. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa biodiesel dengan katalis CaO/SiO₂ 5 gram menghasilkan kadar FFA 0,57%. Biodiesel dengan jumlah katalis CaO/SiO₂ sebesar 10 gram menghasilkan kadar FFA sebesar 0,65%. Sedangkan biodiesel dengan katalis CaO/SiO₂ sebesar 15 gram menghasilkan kadar FFA sebesar 0,64%. Hasil ini memperlihatkan kadar FFA yang dimiliki biodiesel pada penelitian ini sedikit mengalami penurunan dengan bertambahnya jumlah katalis. Fenomena tersebut kemungkinan disebabkan karena konversi asam lemak menjadi biodiesel lebih besar, hal ini sejalan dengan hasil konversi minyak jelantah menjadi biodiesel pada pembahasan sebelumnya. Adanya peningkatan jumlah katalis menyebabkan sisi luas permukaan bidang sentuh katalis dengan asam lemak lebih besar, yang mengakibatkan asam lemak yang terkonversi cenderung semakin banyak.

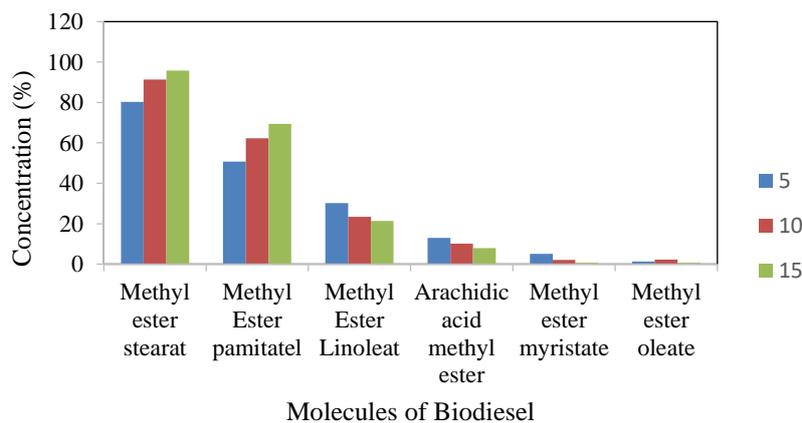


Gambar-7. Kadar Free Fatty Acid Biodiesel Berdasarkan Perbedaan Jumlah katalis CaO/SiO₂

Pada Gambar 7, terlihat bahwa keseluruhan dari hasil uji FFA ini masih di atas ambang batas standar biodiesel yang ada (SNI 7182:2015) yaitu sebesar max. 0,5%. Hal ini kemungkinan terjadi karena kurang maksimalnya proses saponifikasi pada reaksi transesterifikasi. Berdasarkan penelitian sebelumnya, biodiesel yang dihasilkan dari proses saponifikasi yang baik akan menghasilkan nilai FFA yang dapat memenuhi syarat biodiesel yang ada (Permana & Naswir, 2020). Selain itu, kadar kebasahan dari katalis juga mempengaruhi proses saponifikasi.

3.2.4 Kadar senyawa biodiesel berdasarkan perbedaan jumlah katalis CaO/SiO₂ yang digunakan

Kadar senyawa biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak jelantah menggunakan variasi jumlah katalis CaO/SiO₂ dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kadar Senyawa Biodiesel berdasarkan Perbedaan Jumlah katalis CaO/SiO₂

Berdasarkan hasil pada Gambar 8, peningkatan jumlah katalis yang digunakan menyebabkan peningkatan methyl ester stearate. Namun senyawa lainnya menunjukkan penurunan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan senyawa utama biodiesel berupa metil ester stearat. Peningkatan ini tentunya disebabkan oleh semakin bertambahnya luas permukaan katalis yang digunakan. Dengan kata lain terjadi peningkatan luas kontak katalis dengan reaksi transesterifikasi yang ada. Hal ini juga telah dikonfirmasi oleh berbagai penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan jumlah katalis yang digunakan menyebabkan peningkatan methyl ester stearate.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dihasilkan karakterisasi katalis CaO/SiO₂ dan biodiesel yang dihasilkan dalam proses transesterifikasi. Katalis CaO/SiO₂ yang dihasilkan memiliki luas permukaan total sebesar 31,958 m²/gr. Nilai ini telah memenuhi standar luas permukaan katalis heterogen. Yield biodiesel yang dihasilkan dari jumlah katalis 5,10, dan 15 gram berturut-turut sebesar 80%, 81%, dan 86%. Densitas biodiesel semakin kecil dengan meningkatnya kadar katalis yang digunakan. Densitas biodiesel dengan jumlah katalis 5,10, dan 15 gram berturut-turut 890, 860, 870 Kg/m³. Nilai ini telah memenuhi SNI 7162:2015. Viskositas kinematik yang dihasilkan sedikit menurun dengan meningkatnya jumlah katalis yang digunakan. Viskositas kinematik yang

dihasilkan dari jumlah katalis 5, 10, dan 15 gram berturut-turut adalah 3,1, 3,1, dan 3,0 mm²/s. Kadar FFA biodiesel cenderung menurun dengan penambahan jumlah katalis yang digunakan. Akan tetapi hasil ini belum memenuhi standar kadar FFA biodiesel yaitu maksimum 0,5 mg-KOH/g. FFA yang dihasilkan berturut-turut adalah 0,64%, 0,65%, dan 0,64%. Peningkatan jumlah katalis yang digunakan menyebabkan peningkatan methyl ester stearate. Hasil methyl ester stearat yang dihasilkan berdasarkan jumlah katalis 5, 10, dan 15 gram berturut-turut adalah 80,3%, 91,4%, dan 95,8%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih terhadap Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini sehingga dapat dicapai hasil yang maksimal. Harapan peneliti agar penelitian ini dapat dilanjutkan sesuai dengan roadmap yang telah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Adu, R. (2020). Pemanfaatan Abu Tongkol Jagung Sebagai Alternatif Katalis Basa Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 3(1), 7–9. <https://doi.org/10.32938/slk.v3i1.1017>
- Amrullah, S., & Evila, T. (2021). Potensi Penerapan Energi Terbarukan Sebagai Upaya Mewujudkan Kemandirian Desa: Studi Kasus Desa Lendang Nangka Lombok Timur. *Energi & Kelistrikan*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.33322/energi.v13i1.868>
- Amrullah, S., Nurkholis, & Pratama, W. (2021). Dehidrasi Bioetanol Dari Nira Tebu (*Saccharum officinarum*) Dengan Proses Adsorpsi Menggunakan Bentonite Clay Dehydration Of Bioethanol From Sugarcane (*Saccharum Officinarum*) By. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 3(01), 1–6.
- Anonim. (2020). *10 Daerah Penghasil Padi Terbesar di Indonesia*. Kompas.Com. www.kompas.com
- Bhuyan, M. S. U. S., Alam, A. H. M. A., Chu, Y., & Seo, Y. C. (2017). Biodiesel production potential from littered edible oil fraction using directly synthesized S-TiO₂/MCM-41 catalyst in esterification process via non-catalytic subcritical hydrolysis. *Energies*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/en10091290>
- Buchori, L., Anggoro, D. D., Tsaniya, F., Elyasa, M. B., & Noviariono, E. (2019). The effect of catalyst loading on the biodiesel production from lard. *Journal of Physics: Conference Series*, 1295(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012005>
- Dewi, R., Azhari, A., & Nofriadi, I. (2021). Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i2.3351>
- El-Araby, R., Abdelkader, E., El Diwani, G., & Hawash, S. I. (2020). Bio-aviation fuel via catalytic hydrocracking of waste cooking oils. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-020-00425-6>
- Ginting, Surya Abadi, A., & Tazli M., Yusup, S. (2012). Alkaline in situ ethanolysis of *Jatropha curcas*. *Fuel*, 93, 82–85. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.062>
- Kusyanto, K., & Hasmara, P. A. (2017). Pemanfaatan Abu Sekam Padi menjadi Katalis Heterogen dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit. *Journal Of Tropical Pharmacy And Chemistry*, 4(1), 14–21. <https://doi.org/10.25026/jtpc.v4i1.127>
- Lamichhane, G., Khadka, S., Adhikari, S., Koirala, N., & Poudyal, D. P. (2020). Biofuel Production from Waste Cooking Oils and its Physicochemical Properties in Comparison to Petrodiesel. *Nepal Journal of Biotechnology*, 8(3), 87–94. <https://doi.org/10.3126/njb.v8i3.33661>
- Malasyi, S., & Wesli, W. (2017). Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Jerami Terhadap Kuat Tekan Beton. *Teras Jurnal*, 4(2), 41–49. <https://doi.org/10.29103/tj.v4i2.22>
- Maleki, B., Singh, B., Eamaeili, H., Venkatesh, Y. K., Talesh, S. S. A., & Seetharaman, S. (2023). Transesterification of waste cooking oil to biodiesel by walnut shell/sawdust as a novel, low-cost and green heterogeneous catalyst: Optimization via RSM and ANN. *Industrial Crops and Products*, 193(January), 116261. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116261>
- Permana, E., & Naswir, M. (2020). Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah Berdasarkan Proses Saponifikasi Dan Tanpa Saponifikasi. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 6(1), 26. <https://doi.org/10.31884/jtt.v6i1.244>
- Pham, M. T., Hoang, A. T., Le, A. T., & Abdel Rahman M.Said Al-Tawaha³, Van Huong Dong², V. V. L. (2018). MEASUREMENT AND PREDICTION OF THE DENSITY AND VISCOSITY OF BIODIESEL BLENDS. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 13, 10–27.
- Purwaningrum, S. D., & Sukaryo, S. (2018). Uji Karakteristik Biodiesel Berbahan Dasar Limbah Jeroan Ikan Diproses Menggunakan Mikrogelombang. *Metana*, 14(2), 37. <https://doi.org/10.14710/metana.v14i2.20333>
- Rohman, S. A., Amrullah, S., & Maulana, D. R. (2021). *INSTRUMEN FERMENTASI PEMBUATAN*

PRODUK MASIN BERBAHAN BAKU UDANG REBON (Mysis relicta). M(September), 8–13.

- Silalahi, R. L. R., Sari, D. P., & Dewi, I. A. (2017). PT.XYZ, Pengujian Free Fatty Acid (FFA) dan Colour untuk Mengendalikan Mutu Minyak Goreng Produksi PT. XYZ. *Industria: Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 6(1), 41–50.
- Suryandari, A. S., Ardiansyah, Z. R., Nurmala, V., Putri, A., Arfiansyah, I., Mustain, A., Dewajani, H., & Mufid. (2021). Sintesis Biodiesel melalui Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Berbasis Katalis Heterogen CaO dari Limbah Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Terbarukan*, 5(1), 22–27.
- Talesh, S. S. M. B. A. (2022). Optimization of ZnO incorporation to α Fe₂O₃ nanoparticles as an efficient catalyst for biodiesel production in a sonoreactor: Application on the CI engine. *Renewable Energy*, 182, 43–59.
- Turnip, J. R., Tarigan, T. F. L., & Sinaga, M. S. (2017). Pengaruh Massa Katalis dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel dari Limbah Minyak Jelantah dengan Menggunakan Katalis Heterogen K₂O dari Limbah Kulit Kakao. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(2), 24–29.
- Yang, R., Su, M., Zhang, J., Jin, F., Zha, C., Li, M., & Hao, X. (2011). Biodiesel production from rubber seed oil using poly (sodium acrylate) supporting NaOH as a water-resistant catalyst. *Bioresource Technology*, 102(3), 2665–2671. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.131>
- Zhu, Y., Yan, X., Chen, C., Li, Y., Huang, G., & Li, Y. (2019). Analysis of industry-air quality control in ecologically fragile coal-dependent cities by an uncertain Gaussian diffusion-Hurwicz criterion model. *Energy Policy*, 132(March), 1191–1205. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.06.071>.