

SINTESIS KATALIS ABU SEKAM PADI TERIMPREGNASI DENGAN CaO DARI CANGKANG TELUR DAN KOH UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH

SYNTHESIS OF RICE HUSK ASH CATALYST IMPREGNATED WITH CaO EGG SHELL AND KOH TO PRODUCE BIODIESEL FROM WASTE COOKING OIL

Ainirahmah Ismaraniah Nurhasyiri¹, Mustain Zamhari, dan Anerasari Mediniariasty

¹Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Kimia Industri,

Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Srijaya Negara Bukit Besar Palembang

e-mail : aini.ismarani@gmail.com, mz.oetara1961@gmail.com, anerasari@polsri.ac.id

ABSTRAK

Abu sekam padi (ASP) yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu tinggi yang terkontrol memiliki komposisi utama berupa silika (SiO_2) yang menjadikan ASP sebagai pengemban katalis yang potensial dalam proses transesterifikasi trigliserida untuk meningkatkan aktivitas katalis CaO. CaO merupakan salah satu jenis katalis heterogen basa yang paling banyak diminati karena mudah ditemukan di alam seperti cangkang telur. Karena CaO memiliki kekurangan seperti laju reaksi yang rendah, mudah bereaksi dengan udara, dan terjadinya *leaching* sehingga menurunkan aktivitas katalitiknya dan mengurangi *yield* biodiesel, untuk itu diperlukan penyisipan logam alkali seperti K yang berasal dari KOH dan pengemban abu sekam padi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan katalis heterogen CaO/KOH/ASP dengan aktivitas katalitik yang tinggi, menentukan rasio pembuatan katalis CaO/KOH/ASP yang optimum dan mengetahui karakterisasinya berdasarkan *yield* dan mutu biodiesel yang dihasilkan serta menghasilkan biodiesel yang memenuhi SNI. Pada penelitian pembuatan katalis dilakukan dengan metode impregnasi basah, dimana CaO:ASP yang divariasikan massanya (0:10, 2,5:7,5; 5:5; dan 7,5: 2,5) direndam dalam larutan KOH yang juga divariasikan konsentrasinya yaitu 25%, 30%, dan 35%. Katalis kemudian dikalsinasi untuk aktivasi dan diujikan dalam pembuatan biodiesel. Dalam penelitian ini, katalis dengan aktivitas katalitik yang tinggi berhasil didapatkan dengan rasio optimum pada CaO:ASP 2,5:7,5 serta KOH 25%, dimana *yield* biodiesel yang didapatkan sebesar 94,62% dengan densitas 0,876 gr/ml, viskositas 3,75 cSt, titik nyala 151,1°C, angka setana 66,99 serta kadar methyl ester sebesar 96,21%. Mutu biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi SNI.

Kata Kunci : Abu Sekam Padi, Biodiesel, CaO, Katalis, KOH

ABSTRACT

Rice husk ash (RHA) produced from combustion at high temperatures has the main composition of silica (SiO_2) which makes ASP as a potential catalyst support in the triglyceride transesterification process to increase the activity of CaO catalyst. CaO is one of the most popular types of heterogeneous catalysts because it is easily found in nature such as egg shells. Because CaO has drawbacks such as low reaction rate, easy reaction with air, and leaching, which reduces its catalytic activity and reduces biodiesel yield, for this reason, it is necessary to insert alkali metals such as K from KOH and rice husk ash as support. This study aims to obtain heterogeneous CaO/KOH/ASP catalysts with high catalytic activity, determine the optimal ratio of CaO/KOH/ASP catalysts and determine its characterization based on the yield and quality of biodiesel produced and produce biodiesel that meets SNI. In this research, the catalyst manufacture was carried out using the wet impregnation method, where the mass of CaO:ASP with varying masses (0:10, 2.5:7.5; 5:5; and 7.5:2.5) was immersed in a KOH solution which was also varied. concentrations are 25%, 30%, and 35%. The catalyst was then calcined to be activated and tested in the manufacture of biodiesel. In this study, a catalyst with high catalytic activity was obtained with the optimum ratio at CaO:ASP 2.5:7.5 and KOH 25%, where the biodiesel yield obtained was 94.62% with a density of 0.876 gr/ml, viscosity 3.75 cSt, flash point 151.10C, cetane number 66.99 and methyl ester content of 96.21%. The quality of biodiesel produced has complied with SNI.

Keywords: Biodiesel, CaO, Catalyst, KOH, Rice Husk Ash

1. PENDAHULUAN

Abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran pada suhu tinggi yang terkontrol memiliki komposisi utama berupa oksida berpori atau silika (SiO_2) yang mencapai 87-99% (Chen, 2013) dengan luas permukaan yang besar, yaitu 158,329 m²/g (Simpenn dkk, 2018).

SiO_2 sering digunakan menjadi support katalis karena luas permukaannya yang tinggi, stabilitas termal dan mekanik yang tinggi (Richardson, 1989). Karakteristik ini menjadikan abu sekam padi sebagai pengemban katalis yang potensial dalam proses transesterifikasi trigliserida dengan biaya yang rendah dan ditinjau

sebagai langkah alternatif dalam memanfaatkan material yang kurang bernilai (Hindrayawati, 2018). Metode penggabungan fasa aktif dan penyangga katalis dapat dilakukan dengan cara impregnasi. Impregnasi merupakan proses penjunjutan zat tertentu secara total dengan mengisi pori-pori penyangga dengan larutan logam aktif melalui adsorpsi logam, sehingga permukaan kontakannya lebih luas dan efisien (Zamhari dkk., 2021).

Sumatera Selatan khususnya kota Palembang memiliki berbagai jenis makanan khas yang menghasilkan sampah berupa cangkang telur ayam. Umumnya, cangkang telur ayam termasuk limbah pangan yang selama ini belum banyak dimanfaatkan. Akan lebih baik bila jika limbah ini diubah menjadi barang yang lebih berguna dan memiliki nilai ekonomis. Menurut Oko dkk (2019) cangkang telur ayam mengandung CaCO_3 sebanyak 98,43%, dimana CaCO_3 pada cangkang telur ayam dapat diubah menjadi katalis heterogen untuk proses transesterifikasi pembuatan biodiesel.

Biodiesel dapat diproduksi melalui reaksi transesterifikasi antara alkohol dan trigliserida dengan bantuan katalis, dimana trigliserida yang dapat dimanfaatkan adalah minyak jelantah. Reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan alkohol biasanya menggunakan katalis basa homogen seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH). Namun, penggunaan katalis basa homogen untuk reaksi transesterifikasi memiliki kekurangan seperti sulit dipisahkan antara produk dan katalis serta tidak dapat digunakan kembali (Nugraha dkk, 2016). Untuk mengurangi dampak negatif dari penggunaan katalis homogen banyak dikembangkan penelitian mengenai katalis heterogen mudah dipisahkan dari produk dan dapat digunakan kembali (Zamhari dkk, 2019). Salah satu katalis heterogen yang telah dikembangkan pada beberapa penelitian adalah CaO.

Kalsium oksida atau CaO merupakan salah satu jenis katalis heterogen basa dari kelompok oksida logam alkali tanah yang banyak digunakan karena membutuhkan kondisi reaksi yang ringan, kurang berdampak buruk terhadap lingkungan, dan relatif murah karena dapat dengan mudah dibuat dari berbagai bahan yang ada di alam seperti pada limbah cangkang telur (Witoon, 2014). Namun, CaO memiliki kekurangan yaitu apabila digunakan secara langsung selama reaksi transesterifikasi akan terjadi *leaching*, dimana sisi aktif (Ca^{2+}) dari fase padat akan terlepas ke dalam fase liquid (biodiesel, metanol, dan gliserol) yang menyebabkan deaktivasi katalis dan mengurangi *yield* biodiesel. Untuk mengatasi hal tersebut, CaO dapat diimpregnasi pada penyangga atau support (Kesic dkk, 2016). Salah satu penyangga yang dapat digunakan adalah abu sekam padi.

CaO memiliki kekurangan lain seperti laju reaksi yang rendah (Fiyansah, 2021) dan mudah bereaksi dengan udara yang mengandung air sehingga terbentuk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan menyebabkan penurunan aktivitas katalitiknya (Oko, 2019). Untuk mengatasi hal tersebut, salah satu solusi adalah yang dapat dilakukan adalah penyisipan suatu logam lain kedalam katalis dengan metode impregnasi basah (Kesic dkk., 2016). Logam yang dapat digunakan adalah logam K yang berasal dari KOH.

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan abu sekam padi (ASP) terimpregnasi CaO dan KOH (CaO/KOH/ASP) dengan memvariasikan rasio campuran saat impregnasi. Katalis yang dihasilkan (CaO/KOH/ASP) diuji kemampuannya dalam menghasilkan biodiesel/*yield* untuk melihat komposisi rasio terbaik pada pembuatan biodiesel dari minyak jelantah pada kondisi operasi rasio molar minyak dan metanol 1 : 9, suhu reaksi 60°C selama 60 menit dengan jumlah katalis yang digunakan 3% dari berat total minyak. Biodiesel yang dihasilkan diuji mutunya sesuai dengan SNI 7182:2015.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu *furnace*, cawan porselen, pengaduk magnet, neraca digital, blender, ayakan, corong pisah, labu bundar leher dua, corong kaca, spatula, pengaduk kaca, kertas saring, gelas kimia, *hotplate*, alu dan mortar. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu cangkang telur, sekam padi, KOH PA, minyak jelantah dengan FFA 0,82%, metanol teknis 99% dan akuades.

2.2 Sintesis Katalis Abu Sekam Padi Terimpregnasi CaO dari Cangkang Telur dan KOH

Mula-mula mencuci sekam padi dengan akuades untuk membersihkan sisa tanah dan pengotor lainnya dan sekam padi didalam oven pada suhu 110°C selama ± 2 jam hingga beratnya konstan. Setelah kering, mengkalsinasi sekam padi menggunakan *furnace* pada suhu 800°C selama 4 jam hingga menjadi abu putih (SiO_2). Abu sekam padi kemudian dikeluarkan dari dalam *furnace* dan ditempatkan dalam desikator dan diberi kode ASP.

Selanjutnya mencuci telur menggunakan air akuades sampai bersih dan mengeringkan cangkang telur di dalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C. Kemudian memperkecil ukuran cangkang telur yang telah dikeringkan dihancurkan hingga halus dan mengayak serbuk cangkang telur menggunakan ayakan 100 mesh. Lalu mengkalsinasi untuk menghasilkan CaO pada suhu 900°C selama 4 jam didalam *furnace*. CaO hasil kalsinasi disimpan di dalam desikator untuk menjaga kondisi katalis tetap kering. CaO dan ASP ditimbang dengan variasi massa yaitu 0:10; 2,5:7,5; 5:5;

dan 7,5:2,5 gr. Kemudian mencampurkan CaO dan ASP yang telah ditimbang kedalam gelas kimia. Selanjutnya merendam campuran CaO dan ASP dalam larutan KOH dengan konsentrasi yang divariasikan yaitu 25, 30, dan 35% dalam 100 ml aquades. Selanjutnya, mengaduk campuran selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 500 rpm dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Lalu mengeringkan endapan menggunakan oven pada suhu 105 °C sampai mengering. Selanjutnya, mengkalsinasi endapan yang telah kering di dalam furnace selama 5 jam pada suhu 500°C sehingga dihasilkan katalis CaO//KOH/ASP yang akan diujikan pada pembuatan biodiesel dari minyak jelantah.

2.3 Pengujian Aktivitas Katalis pada Pembuatan Biodiesel

Pengujian dilakukan pada reaksi transesterifikasi. Mula-mula menimbang minyak jelantah dan metanol dengan rasio mol minyak terhadap metanol sebesar 1:9. Selanjutnya menimbang katalis CaO/KOH/ASP yang telah dibuat sebanyak 3% dari berat minyak jelantah. Memanaskan minyak jelantah dalam labu bundar leher dua hingga suhu 60 °C lalu mencampurkan metanol dan katalis dan mencampurkan dalam minyak jelantah. Reaksi dijaga pada suhu 60°C selama 1 jam dengan refluks kondensator. Hasil transesterifikasi dimasukkan ke corong pemisah dan didiamkan selama hingga terbentuk 3 lapisan, dimana lapisan atas merupakan metil ester (biodiesel), lapisan tengah merupakan gliserol, dan lapisan bawah merupakan katalis. Biodiesel dipisahkan dan dicuci dengan akuades sebanyak 3 kali pada suhu 50°C untuk menghilangkan gliserol dan sisa katalis yang masih tertinggal. Biodiesel dipanaskan pada suhu 105°C untuk menghilangkan sisa metanol dan kadar air. Biodiesel kemudian disimpan dalam wadah tertutup. Hasil berupa *yield* biodiesel dapat dihitung dengan persamaan (1). Biodiesel dengan *yield* yang terbesar dianalisis densitas, viskositas, titik nyala dan angka setananya untuk melihat kualitas biodiesel yang dihasilkan apakah telah memenuhi SNI.

$$Yield\ biodiesel\ (\%) = \frac{\text{berat produk yang didapat}}{\text{berat minyak nabati}} \times 100 \dots (1)$$

2.4 Pengujian Mutu Biodiesel

Pengujian mutu biodiesel yang dihasilkan dilakukan mengikuti metode SNI dan metode dari penelitian terdahulu. Parameter yang diuji pada penelitian ini yaitu densitas, viskositas kinematik, titik nyala dan angka setana.

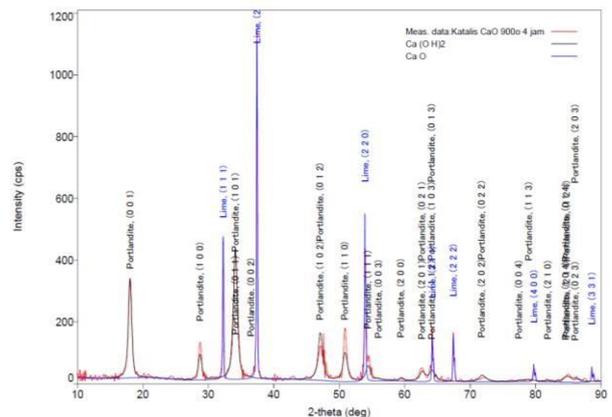
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kandungan Cangkang Telur setelah Kalsinasi

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah cangkang telur yang telah dikalsinasi pada suhu 900 °C

telah terbentuk CaO. Analisis dilakukan dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan ditunjukkan pada Gambar 1.

Dari Gambar 1 ditunjukkan pola difraksi yang berbedabeda. Pada data pola difraksi pada Gambar 1 sudah dihasilkan struktur CaO kristalin yang ditunjukkan dengan munculnya puncak-puncak tajam yang mengindikasikan peningkatan kristalinitas CaO yang dihasilkan dimana puncak-puncak yang menunjukkan adanya CaO terdapat pada $2\theta(^{\circ}) = 32,25; 37,42; 53,96; 64,225; 67,468; 79,71; \text{ dan } 84,9$ dimana intensitas tertinggi pada $2\theta(^{\circ}) 37,42$.

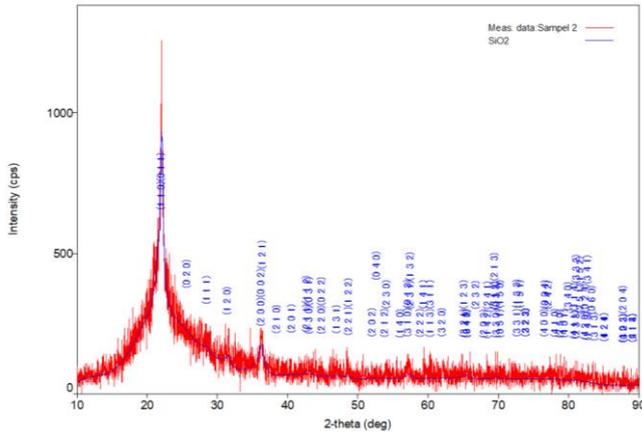


Gambar 1. Cangkang Telur setelah Kalsinasi

Tingginya intensitas menunjukkan kristalinitas meningkat (Bili, 2021). Namun masih terdapat pola difraksi yang berhubungan dengan fase $Ca(OH)_2$, dimana puncak-puncak yang menunjukkan adanya $Ca(OH)_2$ terdapat pada $2\theta(^{\circ}) = 17,9; 28,76; 34,11; 47,15; 50,83; 53,965; 62,38; \text{ dan } 72,01$. Munculnya $Ca(OH)_2$ mengindikasikan bahwa CaO sangat mudah bereaksi dengan udara yang mengandung air, dimana hal ini dapat menurunkan aktivitas katalitiknya (Oko, 2019). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sihombing, 2017, yang mensintesis katalis CaO dari limbah cangkang telur, dapat ditemukan juga puncak-puncak CaO dan $Ca(OH)_2$ yang sama pada seperti puncak-puncak yang telah disebutkan.

3.2 Analisis Abu Sekam Padi

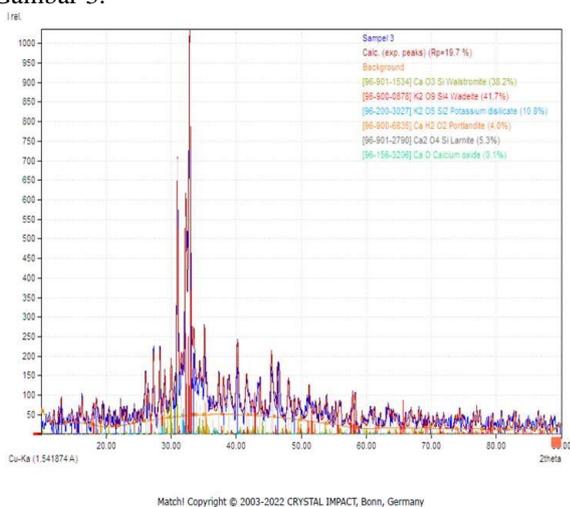
Analisis ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sekam padi setelah dikalsinasi pada suhu 800 °C. Analisis dilakukan dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Sekam Padi setelah Kalsinasi
 Pada data pola difraksi pada Gambar 2 sudah dihasilkan SiO₂ dengan adanya puncak-puncak pada 2θ(°) = 22.04 dan 36.23, dimana puncak tertinggi pada 22.04. Didapatkan bahwa struktur silika yang terbentuk dari abu sekam padi diwakili sebagai silika amorf, dimana gambar hasil XRD tidak beraturan dan jauh dari pusat garis (2θ) terhadap puncak yang terdeteksi. Hal serupa juga dilaporkan pada penelitian yang dilakukan oleh Siregar (2018) yang menggunakan abu daun bambu sebagai penyangga katalis yang terimpregnasi KOH, dimana puncak SiO₂ dalam rentang terletak pada range (2θ) 16° - 40°

3.3 Analisis Katalis terbaik dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis Katalis dengan X-Ray Diffraction (XRD) Analisis XRD bertujuan untuk memastikan proses impregnasi telah terjadi yang ditunjukkan dengan berubahnya abu sekam padi yang berfasa amorf ke katalis karbon aktif yang diimpregnasi CaO dan KOH berfasa kristal. Grafik hasil XRD dapat dilihat pada Gambar 3.



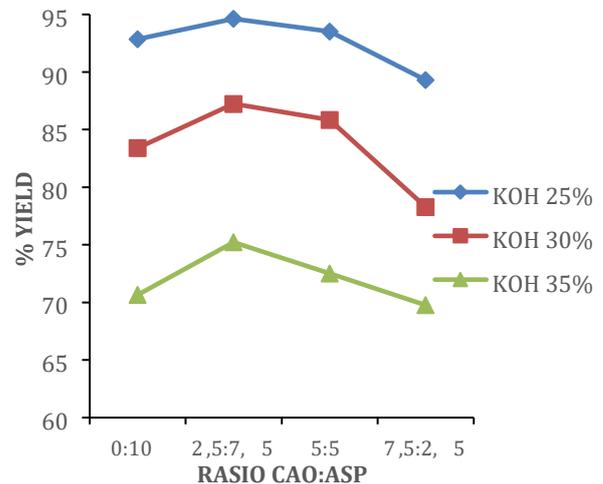
Gambar 3. Katalis ASP setelah Impregnasi

Katalis terbaik yang dihasilkan dianalisis kandungannya menggunakan XRD. Hasil analisis XRD,

terdapat beberapa puncak yang muncul, dimana puncak-puncak tersebut mengindikasikan adanya CaO, Ca(OH)₂, CaSiO₃, Ca₂SiO₄, K₂Si₂O₅, dan K₂Si₄O₉. Senyawa-senyawa baru yang muncul terjadi karena setelah proses impregnasi dan kalsinasi. Dengan adanya senyawa-senyawa baru ini mengindikasikan bahwa proses impregnasi telah berhasil dilakukan. Hal ini juga dilaporkan oleh Hidrayawati, dkk., (2014) bahwa setelah impregnasi dan kalsinasi kembali didapat gugus fungsi baru berupa Si-O-M+ dimana M+ diperoleh dari adanya penambahan unsur logam.

3.3 Analisis Pengaruh Variasi Rasio Impregnasi terhadap Yield Biodiesel

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi rasio impregnasi terhadap yield biodiesel yang dihasilkan, dimana yield adalah Salah satu parameter untuk menilai baik tidaknya suatu katalis. Hasil analisis pengaruh variasi rasio impregnasi terhadap yield biodiesel dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Variasi Rasio Impregnasi terhadap Yield Biodiesel

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, dapat diketahui bahwa rasio CaO:ASP memiliki kecenderungan yang sama untuk setiap variasi KOH, dimana %yield cenderung meningkat pada saat CaO ditambahkan pada rasio 2,5:7,5 dibanding 0:10. Hal ini karena penambahan CaO dapat mengakibatkan sisi aktif katalis menjadi bertambah, yang semula sisi aktif katalis hanya logam K menjadi bertambah dengan adanya logam Ca. Yield tertinggi didapatkan pada rasio CaO/ASP 2,5:7,5 dengan konsentrasi KOH 25%, yaitu 94,62%. Namun, saat CaO meningkat dan support menurun, menjadi 5:5 dan 7,5:2,5, yield biodiesel tidak lagi meningkat secara signifikan. Oleh karena itu, rasio CaO:ASP pada 2,5:7,5 menjadi rasio optimum.

Pada rasio ini, CaO terserap secara merata pada abu sekam padi sehingga %yield yang dihasilkan juga semakin banyak. Ketika rasio CaO meningkat, terjadi

akumulasi CaO yang membentuk gumpalan atau aglomerasi sehingga mencegah kontak antara sisi aktif dan reaktan. Selain itu, gumpalan tersebut menutupi pori katalis sehingga luas permukaan katalis menjadi kecil dan mengurangi sisi aktif (Helwani, 2021). Ketika rasio abu sekam padi menurun, aktivitas katalitik menurun dikarenakan penyangga yang dalam hal ini adalah ASP menyediakan lebih sedikit luas permukaan spesifik sehingga mengurangi kontak anatara reaktan dan sisi aktif, yang mengakibatkan penurunan *yield* biodiesel yang dihasilkan juga berkurang (Chen dkk, 2015).

Dari Gambar 4 juga dapat diketahui bahwa konsentrasi KOH memiliki kecenderungan yang sama untuk setiap variasi CaO:ASP, dimana semakin besar konsentrasi KOH yang diimpregnasi maka *%yield* cenderung menurun. *Yield* tertinggi didapatkan pada saat KOH 25% dengan variasi CaO:ASP 2,5:7,5. Saat KOH 25%, logam K tersebar dan terserap secara merata didalam penyangga. Namun, pada saat KOH 30% dan 35%, aktivitas katalis dari semua rasio CaO:ASP memiliki kecenderungan yang sama yaitu menurun. Hal ini dikarenakan penggunaan KOH yang berlebihan juga dapat menurunkan aktivitas katalisis dari katalis. Sama halnya dengan yang terjadi pada CaO, hal ini dapat terjadi dikarenakan penyebaran KOH yang tidak merata pada konsentrasi yang terlalu besar menyebabkan aglomerasi dan menutupi sisi aktif. Selain itu, konsentrasi KOH yang terlalu besar dapat merusak permukaan penyangga dan mengakibatkan kurangnya luas permukaan untuk sisi aktif sehingga aktivitas menurun (Zhang, 2014). Penggunaan KOH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan CaO larut dalam KOH dan menyebabkan berkurangnya sisi aktif dan menurunnya aktivitas katalis (Helwani, 2021). Oleh karena itu, pada penelitian ini konsentrasi KOH 25% adalah konsentrasi optimum.

3.4 Analisis Mutu Biodiesel

Setelah dilakukan proses impregnasi dan kalsinasi, katalis diaplikasikan dalam pembuatan biodiesel. Pengaplikasian ini bertujuan untuk mengetahui mutu biodiesel dari katalis yang dihasilkan. Karakteristik biodiesel yang diuji dari katalis terbaik meliputi densitas, viskositas, titik nyala dan angka setana yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji Mutu Biodiesel

Parameter	Hasil Uji	SNI
Densitas (gr/ml)	0,876	0,85 – 0,89
Viskositas (gr/ml)	3,75	2,3 – 6,0
Titik Nyala (°C)	151,1	min 100
Angka Setana	66,99	Min 51
Kadar Methyl Ester (%)	66,99	Min 96,5%

Berdasarkan tabel 1 dapat dikatakan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari katalis terbaik yang dibuat sudah memenuhi SNI. Dengan kata lain, katalis telah berhasil disintesis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, rasio CaO:ASP yang optimal pada pembuatan katalis CaO/KOH/ASP adalah 2,5:7,5 dengan konsentrasi KOH sebesar 25% yang menghasilkan *%yield* sebesar 94,62% dan mutu biodiesel yang telah sesuai dengan SNI. CaO berlebih, KOH berlebih, serta penyangga dengan jumlah yang terlalu sedikit dapat menurunkan *%yield* yang dihasilkan.

Biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi SNI, dimana katalis terbaik menghasilkan densitas sebesar 0,876 gr/ml, viskositas 3,75 cSt, titik nyala 151,1°C, angka setana 66,99 dan kadar methyl ester yang didapatkan sebesar 95,77%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bili, Yulinda Sepriani. 2021. Analisis Struktur Kristal Katalis CaO/SiO₂ Berdasarkan Variasi Komposisi SiO₂ Dan Uji Aktivitas Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Jarak Kepyar. Skripsi. Jurusan Pendidikan Kimia Universitas Nusa Cendana, Kupang.
- Chen, K.T., Wang, J.X., Dai, Y.M., Wang, P.H., Liou, C.Y., Nien, C.W., Wu, J.S., dan Chen, C.C. 2013. *Rice Husk Ash as a Catalyst Precursor For Biodiesel Production*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineer. Vol 44(4): 622-629.
- Chen, G.Y., Shan, Rui., dan Yan, BB. 2015. *Transesterification of Palm Oil to Biodiesel Using Rice-Husk Ash-Based Catalyst*. Fuel Processing Technology 133: 813.
- Helwani, Z., Zahrina, I., Amraini, S.Z., Sianturi, R.I., Idroes, G.M., Muslem, dan Idores, R. 2020. CaO from Chicken Eggshell supported on Activated Carbon and KOH (CaO/C/KOH) as catalyst for Biodiesel Production from off Grade Palm Oil. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Hidryawati, N., Maniam, G.P., Karim, M., dan Chong, K.F, 2014, *Transesterification of used cooking oil over alkali metal (Li, Na, K) supported rice husk silica as potential solid base catalyst* Engineering Science dan Technology. International Journal, Vol 17(2): 95-103
- Kesic, Z., Lukic, I., Zdujic, M., Mojovic, L. dan Skala, D., 2016, *Calcium Oxide Based Catalysts For Biodiesel Production : A Review*, Chem Ing Chem Eng Q., 22 (4) : 391-408.
- Nugraha, P.Z., Helwani, Zuchra., dan Saputra, Edy. 2016. *Penggunaan Katalis Fly Ash yang Diimpregnasi dengan CaO dari Ca(NO₃)₂ pada Tahap Transesterifikasi Minyak Sawit Off-grade Menjadi Biodiesel*. Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik. Vol 3(1):1-8.
- Oko, Syarifudin dan Mohammad Feri. 2019. *Pengembangan Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam dengan Impregnasi*

- KOH Dan Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak*. Jurnal Teknologi. Vol(11):2 103-110.
- Richardson, J. T. (1989): Principles of Catalyst Development (M. V Twigg dan M. S. Spencer, Ed.), Plenum Press, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3725-4>
- Sihombing, Thomas Danerson. 2017. Pengaruh Suhu Dekomposisi Dan Konsentrasi Katalis Kalsium Oksida (CaO) Dari Cangkang Telur Ayam Terhadap Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Siregar, Halimatussa'diah. 2018. Pembuatan dan Karakterisasi Katalis K-Silika Berbasis Daun Bambu untuk Reaksi Transesterifikasi. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Witoon, I., Bumrungsalee, S., Vathavanichukul, P., Palitsakun, S., Saisriyoot, M., Faungnawakij, K. (2014). *Biodiesel production from transesterification of palm oil with methanol over CaO supported on bimodal mesomacroporous silica catalyst*. Bioresource Technology, (156), 329-334.
- Zamhari, M., Junaidi, R., Rachmatika, N., dan Oktarina, A. (2021): *Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif dari Tempurng Kelapa (Cocos Nucifera)*
- Zamhari, M., Junaidi, R., Rachmatika, N., dan Oktarina, A. (2021): *Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif dari Tempurng Kelapa (Cocos Nucifera) Diimpregnasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodiesel*, Jurnal Kinetika, diperoleh melalui situs internet: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>, 12(01), 23–31
- Zhang, Jianwei dan Qingming Meng. 2014. Preparation of KOH/CaO/C Supported Biodiesel Catalyst and Application Process. World Journal of Engineering and Technology, 2, 184-191.