



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 3 Nomor 5 Tahun 2023 Page 5703-5714

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Pemanfaatan Zeolite Alam Sebagai Katalis Untuk Sintesis Biodiesel

Azzahrah Putri Darmawan^{1✉}, Mustain Zamhari², Robert Junaidi³

Politeknik Negeri Sriwijaya

Email: azzahrahputridarmawan@gmail.com^{1✉}

Abstrak

Biodiesel adalah sumber bahan bakar alternatif yang dapat dihasilkan dari minyak jelantah melalui proses transesterifikasi merupakan salah satu potensi untuk digunakan sebagai bahan dasar produksi biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu dan waktu katalis zeolite terhadap biodiesel yang dihasilkan. Sintesis biodiesel diawali dengan pembuatan katalis Zeolit melalui proses kalsinasi Zeolit pada suhu 800 oC, 900 oC, 950 oC kemudian dilakukan perendaman dengan larutan KOH 1 : 1 dalam 100 ml pelarut air. Kemudian dilanjutkan proses pengeringan selama \pm 1 jam pada suhu 110 oC dan kalsinasi pada suhu 800 oC, 900 oC, dan 950 oC. Perbandingan volume minyak dan methanol sebesar 1:19 dengan katalis 2% dari berat minyak. Hasil analisa XRD katalis zeolite dengan kristalinitas 1500 cps, untuk standar kualitas biodiesel parameter yang diuji yaitu densitas 0,86gr/cm², viskositas 1,45mm²/s dan %yield 72,5%.

Keywords: *Zeolite Alam, Katalis, Biodiesel*

Abstract

Biodiesel is an alternative fuel source that can be produced from used cooking oil through a transesterification process which is one of the potentials to be used as a basic material for biodiesel production. This study aims to determine the effect of variations in temperature and time of the zeolite catalyst on the biodiesel produced. Biodiesel synthesis begins with the preparation of Zeolite catalyst through Zeolite calcination process at 800 oC, 900 oC, 950 oC then soaking with 1:1 KOH solution in 100 ml of water solvent. Then continued the drying process for \pm 1 hour at 110 oC and calcination at 800 oC, 900 oC and 950 oC. The volume ratio of oil and methanol is 1:19 with a catalyst of 2% by weight of oil. The results of the XRD analysis of the zeolite catalyst with a crystallinity of 1500 cps, for standard biodiesel quality parameters tested were density 0.86gr/cm², viscosity 1.45mm²/s and yield % 72.5%.

Keywords: *Natural Zeolite, Catalyst, Biodiesel*

PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak bumi merupakan sumber energi utama yang digunakan oleh sebagian besar negara - negara di dunia. Penggunaan terus menerus dari sumber energi yang tak dapat diperbaharui ini menyebabkan menurunnya kuantitas sumber daya minyak bumi. Beberapa sumber energi alternatif telah ditemukan dan dikembangkan, salah satunya adalah biodiesel. Biodiesel dianggap sebagai sumber energi pengganti bahan bakar minyak bumi karena kemiripannya dengan bahan bakar mesin diesel (Noiroj dkk,2017). Secara kimia, biodiesel merupakan senyawa metil ester rantai panjang yang dapat diproduksi melalui proses transesterifikasi minyak nabati atau lemak hewani (Leung dkk, 2015). Proses ini biasanya berlangsung dengan bantuan katalis homogen basa atau asam dengan tujuan untuk menurunkan suhu reaksi serta mengatur selektivitas hasil reaksi (Benjapornku dkk, 2018).

Pada metode homogen, reaktan, katalis, dan metil ester berada pada fasa liquid, yang mengakibatkan sulitnya proses pemisahan katalis dari produk pada akhir reaksi (Kansedo dkk, 2017). Di sisi lain, katalis basa homogen seperti natrium hidroksida tidak dapat digunakan kembali setelah reaksi dan juga menghasilkan limbah cair yang beracun (Soetaredjo dkk, 2011). Katalis padat merupakan pilihan baru untuk menggantikan katalis homogen berdasarkan korosivitasnya yang lebih rendah, kemudahannya untuk dipisahkan, dapat digunakan kembali dan menghasilkan limbah beracun dalam jumlah yang lebih sedikit (Helwani dkk, 2016). Banyak dilakukan penelitian dalam mengembangkan katalis heterogen dalam bentuk padat. Katalis padat yang telah dikembangkan dan digunakan untuk proses transesterifikasi minyak nabati misalnya logam alkali dan alkali tanah yang diimpregnasi dalam Al_2O_3 , K_2CO_3 yang diimpregnasi dalam alumina/silica (Aderemi dkk,2012) kalsium oksida (Lukic dkk,2014) biaya produksi dalam penggunaan bahan - bahan padat sebagai katalis untuk produksi biodiesel harus diperhatikan. Untuk mengurangi biaya produksi, katalis padat harus relatif murah dan tersedia dalam kapasitas besar (Lukic dkk,2014).

Zeolit merupakan kristal alumina silika dengan struktur kerangka tiga dimensi yang membentuk dimensi molekuler pori - pori dengan ukuran seragam (Lukic dkk,2014). Zeolit memiliki karakteristik kimia yang penting diantaranya sebagai adsorben yang selektif, resin penukar ion, serta katalis dengan aktivitas katalitik tinggi (Boey dkk, 2019). Beberapa bahan padat telah dikembangkan dan digunakan sebagai katalis heterogen maupun sebagai support katalis dalam produksi biodiesel seperti dijelaskan di atas, namun penelitian tentang pemanfaatan bahan alam seperti zeolit sebagai katalis maupun support katalis masih jarang (Kouzu dkk, 2012).

Penelitian ini difokuskan pada proses modifikasi suhu dan waktu pembuatan zeolit alam dengan metode impregnasi KOH sehingga dapat digunakan sebagai katalis dalam proses transesterifikasi minyak jelantah. Dalam penelitian ini digunakan katalis alam dari Pacitan (Jawa Timur, Indonesia). Menurut pengamatan kami, belum ada informasi memadai mengenai pemanfaatan katalis alam sebagai katalis maupun support katalis dalam produksi biodiesel. Pada penelitian ini, zeolit digunakan sebagai support katalis, pengaruh konsentrasi KOH dan kondisi reaksi transesterifikasi terhadap yield biodiesel juga diamati (Trisunaryanti dkk, 2010).

Zeolite Alam

Zeolit alam terdapat di daerah gunung berapi, tepi sungai, laut dan danau berupa sedimen mineral alam, biasanya terdapat dalam jumlah besar dalam skala Megaton. Deposit zeolit alam di seluruh dunia terdapat di USA, Jepang, Cuba, Uni Soviet, Italia, Cekoslowaskia, Hungaria, Bulgaria. Afrika Selatan, Yugoslavia, Meksiko, dan Korea, dengan kandungan zeolit berkisar antara 60- 90%. Di Indonesia, zeolit alam terdapat di berbagai pulau, tersebar di Jawa, N.T.T, Irian, Sumatra, Sulawesi, dan Kalimantan dengan deposit berlimpah. Deposit zeolit paling banyak terdapat di Pulau Jawa. Jawa Tengah: Wonosari, Klaten. Jawa Barat: Bogor, Tasikmalaya, Sukabumi. Jawa Timur: Bayah. Deposit zeolit alam di Jawa Barat menempati posisi tertinggi, yaitu sekitar 400 juta ton (Distamben Jawa Barat dan DIM, 2001 dan 2002). Kandungan utama zeolit alam Indonesia adalah mineral Mordenit dan Klinoptilolit. Penulis telah melakukan analisis kandungan zeolit alam Indonesia dari Jawa Barat, Jawa Timur, dan Jawa Tengah, mayoritas zeolit alam tersebut tersusun dari mordenit sekitar 60-70%, sisanya adalah klinoptilolit kristal dan kwarsa amorpus (Trisunaryanti, dkk., 2010 dan Trisunaryanti, dkk.. 2018).

Katalis

Katalis merupakan material yang dapat meningkatkan kecepatan suatu reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasi dari reaksi yang bersangkutan. Pada penerapannya, katalis tidak hanya meningkatkan laju reaksi tetapi dapat berfungsi sebagai pengarah reaksi dan menghasilkan produk samping yang minimum (selektif). Menurut (Trisunaryanti dkk, 2015) katalis dapat menyebabkan reaksi berlangsung lebih cepat pada kondisi temperatur yang relatif rendah. Katalis juga dapat digunakan untuk mencapai laju reaksi dengan menyediakan jalur alternatif dari energi aktivasi yang lebih rendah untuk reaksi yang berlangsung.

Katalis memiliki beberapa kegunaan, diantaranya[15].

1. Menurunkan penghalang (*barrier*) energi aktivasi (E_a).
2. Memperoleh/menghasilkan produk lebih cepat.
3. Menurunkan suhu reaksi
4. Memperoleh produk menstabil (produk antara) dan bukan produk
5. termodinamika yang disukai (produk akhir)
6. Mempertahankan konstanta kesetimbangan (K_p atau K_c) sehingga dapat mempercepat reaksi maju (ke kanan) maupun reaksi balik (ke kiri).

Zeolit digunakan sebagai katalis asam pada industri petrokimia dan petroleum karena memiliki situs asam Bronsted dan Lewis (Hajanti dkk,2018). Situs asam Bronsted adalah situs yang dapat melepaskan H^+ dan situs asam Lewis adalah situs yang dapat menerima pasangan elektron. Situs asam Bronsted dapat dikonversi menjadi situs asam Lewis melalui pemanasan sampai temperatur di atas $500\text{ }^\circ\text{C}$, sambil melepaskan molekul air (Freedman dkk,2015). Untuk mendapatkan situs Bronsted maka kation-kation logam alamiah dalam zeolit ditukar dengan dengan NH_4^+ , kemudian dipanaskan dalam oven untuk menghilangkan NH_3 , terbentuklah H^+ - zeolit yang siap digunakan sebagai katalis. Modifikasi dapat dilakukan terhadap zeolit untuk mendapatkan katalis yang selektivitas dan aktivitasnya tinggi. Modifikasi dapat dilakukan dengan berbagai cara. misalnya perlakuan asam-asam mineral, hidrotermal, pengembunan logam-logam transisi sebanyak satu, dua, atau lebih (Bucharil dkk, 2019).

Minyak Jelantah

Minyak jelantah atau minyak kelapa sawit bekas penggorengan adalah minyak yang digunakan lebih dari sekali dalam penggorengan, sehingga menyebabkan kerusakan pada minyak goreng mulai dari warna, bau dan sifat kimianya (Trisunaryanti dkk,2015). Perubahan sifat ini dikarenakan pada saat penggorengan, ikatan asam lemak tak jenuh akan putus membentuk asam lemak jenuh, semakin lama minyak digunakan dalam penggorengan semakin banyak lemak jenuh yang terbentuk dalam minyak jelantah.

Biodiesel

Biodiesel merupakan senyawa metil ester dengan asam lemak rantai panjang seperti laurat, palmitat, stearat, oleat, dan lain - lain. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari sumber daya terbarukan (renewable resources), dengan komposisi ester asam lemak dari minyak nabati antara lain: minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak biji kapuk, dan masih ada lebih dari 30 macam tumbuhan Indonesia yang memiliki potensial untuk dijadikan bahan baku pembuatan biodiesel (Aderemi dkk, 2012).

Sebagai bahan bakar alternatif, biodiesel memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar minyak bumi diantaranya: ramah lingkungan, emisi pencemaran udara yang relatif rendah, dapat terurai secara alami (biodegradable), dan bisa digunakan tanpa memerlukan proses modifikasi mesin. Biodiesel dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi, yaitu reaksi antara minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol menghasilkan alkil ester (biodiesel) dan hasil samping gliserol dengan bantuan katalis (Leung dkk, 2017). Katalis digunakan untuk meningkatkan kecepatan reaksi dan yield produk (Noiroj dkk, 2017). Konversi trigliserida menjadi metil ester atau etil ester melalui proses transesterifikasi dapat mengurangi berat molekul trigliserida hingga sepertiganya dan mengurangi viskositas hingga seperdelapannya, serta sedikit meningkatkan titik nyalanya (Hajanti dkk, 2018).

Reaksi Transesterifikasi

Reaksi Transesterifikasi merupakan reaksi yang banyak digunakan untuk mensintesis biodiesel. Transesterifikasi merupakan tahap konversi dari trigliserida menjadi alkil alkanolat, melalui reaksi dengan alkohol dan menghasilkan produk samping berupa gliserol (Suwarsono dkk, 2016). Sebuah trigliserida memiliki molekul gliserin yang terdiri dari tiga asam lemak rantai panjang yang menempel. Karakteristik lemak ditentukan oleh sifat asam lemak yang melekat pada gliserin itu yang pada akhirnya akan mempengaruhi karakteristik biodiesel tersebut (Azziz dkk, 2017). Reaksi transesterifikasi dapat merubah sebuah tipe ester ke tipe ester yang lain dengan menggunakan alkohol (Kouzu dkk, 2012). Diantara alkohol – alkohol yang menjadi sumber gugus alkil, metanol adalah yang paling banyak digunakan karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi, sehingga reaksi ini sering disebut juga sebagai reaksi metanolisis.

Metode Kalsinasi

Proses kalsinasi adalah perlakuan pemanasan pada temperatur tinggi terhadap bahan agar terdekomposisi senyawa yang berkaitan secara kimia (Boey dkk, 2019). Namun, istilah kalsinasi juga digunakan untuk mengacu kepada proses pemanasan bijih atau benda padat lainnya tanpa adanya atau hanya dengan sangat sedikit pasokan udara atau oksigen untuk melakukan dekomposisi termal. Dalam kalsinasi, bijih dipanaskan pada suhu di bawah titik lelehnya. Proses kalsinasi dapat dilakukan dalam sebuah furnace yang dapat dikendalikan kenaikan suhunya. Proses kalsinasi dapat dilakukan tanpa atau dengan pengaliran udara (Darnoko dkk, 2010).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan 22 Mei 2023 – 08 Juli 2023 di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Penelitian ini dilaksanakan mulai dari pukul 07.00 – 16.00 WIB. Studi pustaka dilakukan dengan penggalan informasi melalui internet dan jurnal ilmiah.

Bahan dan alat yang digunakan dalam proses pembuatan dan analisa Kataliszeolite alam adalah sebagai berikut:

Bahan yang Digunakan

1. Zeolite Alam
2. Metanol 98%
3. Isopropil Alkohol
4. *Fenolftalein*
5. Aquadest
6. KOH
7. Minyak Jelantah

Alat yang Digunakan

1. Neraca Analitik
2. Labu Erlenmeyer
3. *Hotplate + Magnetic stirrer*
4. Cawan Porselin
5. Pengaduk
6. Kertas saring
7. Gelas Kimia
8. Ayakan 100 mesh
9. Corong pemisah
10. Desikator
11. Termometer
12. *Furnace*

Perlakuan dan rancangan percobaan

Variabel tetap

- a. Perbandingan rasio mol minyak jelantah : metanol : 1 : 19
- b. Waktu reaksi : 1 jam

- c. Kecepatan pengadukan : 800 rpm
- d. Suhu pembuatan biodiesel : 60 °C
- e. Jumlah katalis zeolite yang digunakan : 2 gr

Variabel bebas

- a. Suhu kalsinasi : 800 °C, 900 °C, 950 °C
- b. Waktu kalsinasi : 3 jam, 3,5 jam, 4 jam

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan data mengenai hasil analisa katalis zeolite menggunakan alat XRD (*X-Ray Diffraction*) yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan massa sampel sebelum dan sesudah kalsinasi pada Tabel 2 Hasil analisa produk biodiesel dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Hasil Analisa Katalis Zeolite

Jenis Katalis	Suhu Kalsinasi (°C)	Sampel		Hasil Pemeriksaan		
		Waktu (Jam)	Intensity Zeolite (cps)	Crystalite Size (Å)		
				90 ° (α)	90 ° (β)	90 ° (γ)
K 1.1	K 1	3	317	6,582	6,582	6,582
K 1.2		3,5	312	6,843	6,843	6,843
K 1.3		4	1800	7,037	7,037	7,037
K 2.1	K 2	3	1500	5,4	5,4	5,4
K 2.2		3,5	800	800	800	800
K 2.3		4	250	4,9084	4,9084	4,9084
K 3.1	K 3	3	246	280	280	280
K 3.2		3,5	280	8,13	8,13	8,13
K 3.3		4	270	11,24	11,24	11,24

Tabel 2. Hasil Analisa Massa (gr) Sampel Sebelum dan Sesudah Kalsinasi

Jenis Katalis	Massa (gr)	
	Sebelum kalsinasi	Sesudah kalsinasi
K 1.1	25	24,237
K 1.2	25	23,15
K 1.3	25	23,9
K 2.1	25	22,557
K 2.2	25	22,3
K 2.3	25	21,26
K 3.1	25	22,2
K 3.2	25	21,75
K 3.3	25	21,337

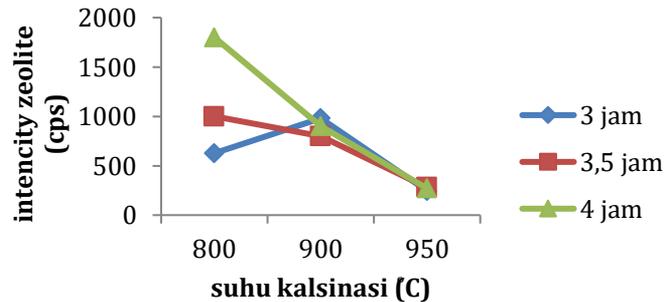
Tabel 3. Hasil Analisa Produk Biodiesel

Variasi Katalis (oC)	Suhu (°C)	Waktu	Pengadukan	Katalis Zeolite	Yield	Densitas	Viskositas	FFA(%)	Titik Nyala (oC)
		(jam)	(rpm)	(suhu 800 °C, 4 jam) (gr)	(%)	(gr/cm ³)	(mm ² /s)	Minyak Jelantah	
K 1.1	60	1 jam	800 rpm	2 gr	60	0,7	1,78	0,64	115
K 1.2					65	0,75	1,68		114
K 1.3					77,5	0,86	2,26		120
K 2.1					62,5	0,82	1,52		91
K 2.2					65	0,77	1,95		95
K 2.3					62,5	0,84	1,57		98
K 3.1					55	0,8	1,73		101
K 3.2					60	0,71	1,42		105
K 3.3					57,5	0,69	1,52		108

Pembahasan

Pengaruh Suhu dan waktu Kalsinasi Terhadap Intensity (cps) Zeolite

Pada penelitian ini menggunakan variasi suhu dan waktu kalsinasi. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, suhu kalsinasi sangat berpengaruh terhadap intensity Zeolite dapat dilihat pada

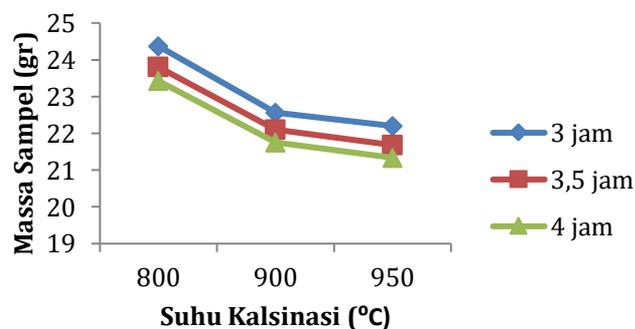


Gambar 1. Grafik Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Intensitas (cps) Zeolite

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa suhu kalsinasi terbaik terdapat di suhu 800 °C pada waktu 4 jam yang mana mempunyai Intensitas Zeolite yang tertinggi dan yield yang dihasilkan 72,5%. Hasil penelitian ini sama dengan penelitin sebelumnya pada pembuatan katalis zeolite oleh (Qoniah dkk, 2010) dari bahan baku cangkang telur mendapatkan hasil suhu kalsinasi terbaik pada suhu 800 °C, 4 jam dan yield yang dihasilkan 80%. Perbedaan yield yang didapatkan dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan (rpm) dan banyak nya produk biodiesel yang didapatkan (Trisunaryanti, dkk, 2010).

Pengaruh Suhu Kalsinasi terhadap Massa (gr) Sampel

Grafik pengaruh suhu kalsinasi terhadap massa(gr) sampel dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 3. Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Massa (gr) Sampel

Pada gambar 3 terlihat bahwa suhu kalsinasi sangat berpengaruh pada massa sampel. Dilihat dari grafik, hasil yang didapatkan menunjukkan hubungan antara suhu kalsinasi dan massa sampel menurun. Dari data grafik diatas, proses kalsinasi pada suhu 800 °C, 900 °C, dan 950 °C terjadi pengurangan massa serbuk sesudah kalsinasi. Rata-rata penurunan massa setelah proses kalsinasi sebesar 2,9 gram. Hasil penelitian ini sama dengan hasil penelitian sebelumnya, menurut (Ike dkk, 2021) pada pembuatan katalis heterogen dari batu gamping gunung puger mendapatkan rata-rata hasil massa serbuk batu gamping sebelum dan sesudah kalsinasi sebesar 8,5 gram. Perubahan berat sampel dipengaruhi oleh suhu kalsinasi, semakin tinggi suhu kalsinasi maka berat sampel akan semakin kecil (Trisunaryanti dkk,2018).

Pengaruh Waktu Kalsinasi Terhadap % Yield Biodiesel

Pengaruh waktu kalsinasi dipelajari dari 3 jam, 3,5 jam dan 4 jam. Pada 3 jam pertama % hasil biodiesel baru mencapai 65%, (Tabel 4.4). Pada jam ke 3,5 hasil biodiesel baru mencapai 67,5% kenaikan yield biodiesel tidak terlalu besar. Pada jam ke-4, reaksi sudah menunjukkan hasil yang maksimal. Biodiesel yang dihasilkan sudah mencapai 72,5 %.

Tabel 4. Pengaruh Waktu Kalsinasi Terhadap % Yield Biodiesel

Suhu Kalsinasi	Variasi Kalsinasi	% Yield
(800 °C,900 °C,950 °C)		
K 1	K 1.1	65
	K 1.2	67,5
	K 1.3	72,5
K 2	K 2.1	60
	K 2.2	62,5
	K 2.3	65
K 3	K 3.1	55
	K 3.2	57,5
	K 3.3	60

(Susilowati dkk, 2006) juga menggunakan zeolit alam sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel dari minyak biji kapuk. Yield biodiesel yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan penelitian ini yaitu sebesar 0,5% pada waktu reaksi 50 menit. (Harjanti dkk, 2008) mendapatkan yield biodiesel lebih besar yaitu 73% pada waktu 60 menit. Hal ini disebabkan karena Harjanti menggunakan NaOH pada saat aktivasi zeolit, sehingga terbentuk Na- Zeolit yang nantinya berfungsi sebagai katalis. Dalam penelitian ini digunakan K-Zeolit yang diaktifasi dari zeolit alam (Hajanti dkk, 2018).

Uji Mutu Biodiesel

Setelah dilakukan uji kemampuan katalis dalam pembuatan biodiesel, biodiesel dilanjutkan dengan pengujian mutunya. Pengujian mutu biodiesel dilakukan bertujuan untuk menguji kemampuan selektivitas katalis yang dihasilkan. Uji mutu biodiesel meliputi densitas, viskositas, titik nyala dan yang dapat dilihat pada tabel 3.

Berdasarkan tabel 3, menunjukkan bahwa densitas biodiesel yang dihasilkan oleh katalis telah sesuai dengan standar SNI biodiesel, sehingga menunjukkan biodiesel yang baik. Katalis menunjukkan kemampuannya bahwa katalis dapat mengubah mutu dari minyak jelantah menjadi mutu biodiesel (Badan Standardisasi Nasional, 2015). Sehingga katalis Zeolite memiliki fungsi selektivitas yang baik dengan terpenuhinya beberapa parameter SNI 7182:2015 biodiesel seperti densitas, viskositas, dan titik nyala.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kondisi terbaik untuk pembuatan biodiesel dengan menggunakan zeolit sebagai katalis didapat pada suhu kalsinasi 800 °C dan waktu kalsinasi 4 jam dan konsentrasi zeolit 2%. Yield biodiesel yang dihasilkan pada kondisi terbaik sebesar 72,5% .
2. Biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi beberapa parameter SNI 7182:2015, dimana katalis terbaik menghasilkan mutu biodiesel dengan densitas sebesar 0,86 gr/ml, viskositas 2,26 mm²/s, titik nyala 115 °C.

DAFTAR PUSTAKA

Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemitchai, A. and Jai - In, S. 2017. A comparative study of KOH/Al₂O₃ and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil. *Renewable Energy*, 34 (2008), 1145–1150.

- Leung, D. Y. C., Wu, X. and Leung, M. K. H. 2015. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87, 4 (2017), 1083 - 1095.
- Benjapornkulaphong, S., Ngamcharussrivichai, C. and Bunyakiat, K. 2018. Al₂O₃ - supported alkali and alkali earth metal oxides for transesterification of palm kernel oil and coconut oil. *Chemical Engineering Journal*, 145, 3 (2009), 468 - 474.
- Kansedo, J., Lee, K. T. & Bhatia, S. 2017. Biodiesel production from palm oil via heterogeneous transesterification. *Biomass and Bioenergy*, 33, 271 - 276.
- Soetaredjo, F. E., Ayucitra, A., Ismadji, S. & Maukar, A. L. 2011. KOH/bentonite catalysts for transesterification of palm oil to biodiesel. *Applied Clay Science*, In Press, Corrected Proof.
- Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Kim, J. and Fernando, W. J. N. 2016. Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: A review. *Applied Catalysis A: General*, 363, 1 - 2 (2009), 1 - 10.
- Aderemi, B. O. and Hameed, B. H. 2012. Alum as a heterogeneous catalyst for the transesterification of palm oil. *Applied Catalysis A: General*, 370, 1 - 2 (2018), 54 - 58.
- Lukic, I., Krstic, J., Jovanovic, D. & Skala, D. 2014. Alumina/silica supported K₂CO₃ as a catalyst for biodiesel synthesis from sunflower oil. *Bioresource Technology*, 100, 4690 - 4696.
- Boey, P. - L., Maniam, G. P. & Hamid, S. A. 2019. Biodiesel production via transesterification of palm olein using waste mud crab (*Scylla serrata*) shell as a heterogeneous catalyst. *Bioresource Technology*, 100, 6362 - 6368.
- Kouzu, M., Hidaka, J. - s., Komichi, Y., Nakano, H. & Yamamoto, M. 2012. A process to transesterify vegetable oil with methanol in the presence of quick lime bit functioning as solid base catalyst. *Fuel*, 88, 1983 - 1990. <https://www.neliti.com/id/publications/217434/karakterisasi-zeolit-alam-gunung-kidul-teraktivasi-sebagai-media-adsorben-pewarnaan>. (diakses tanggal 18 Juni 2023).
- Badan Standardisasi Nasional (2015): SNI 7182:2015 "BIODIESEL" (2015 ed.) (BSN, Ed.), Jakarta, diperoleh melalui situs internet: www.bsn.go.id.
- Hidayati, Nur, et al. (2017). *Jurnal Teknologi Bahan Alam*. Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Menjadi Biodiesel Dengan Katalis Kalsium Oksida, Vol. 1 (No.1)
- Suwarsono, WP., Gani, I.Y, dan Kusyanto, 2016, " Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Ketapang yang Berasal dari Pohon Ketapang Yang Tumbuh di Kapus UI Depok ", *Valensi*, vol.1, no.2, 44-52.
- Trisunaryanti, W., Triwahyuni, E., dan Sudiono, S., 2010, " Preparasi, modifikasi dan karakterisasi katalis Ni-Mo/Zeolit alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam", *Jurnal Teknoin*, Vol.10, No.4, hal.269- 283.
- Yuliani et al, 2018, " Pengaruh Katalis Asam Sulfat dan Suhu Reaksi pada Esterifikasi Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensi*) menjadi biodiesel", *Chemical Engineering Journal*, Vol.3, No.1.