

HZSM-5 Berbasis Lempung Koya sebagai Katalis Esterifikasi Minyak Jelantah

Ilham Salim^{1*}, Ghozy Afif Alfaruqi²

^{1,2}Program Studi Kimia, Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia

Email: ilhamkimia@yahoo.com



©2026 J-HEST FDI DPD Sulawesi Barat. Ini adalah artikel dengan akses terbuka dibawah lisensi CC BY-NC-4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

ABSTRACT

This study aimed to synthesize zeolite Socony Mobil-5 from natural Koya clay, Jayapura City, and evaluate its catalytic performance for esterifying waste cooking oil. The clay was acid-activated and used as an aluminosilicate precursor with a silicon-to-aluminium ratio of 50. Hydrothermal synthesis was conducted at 150 °C for 48 hours using cetyltrimethylammonium bromide as a structure-directing agent. The synthesized material was characterized by X-ray diffraction and Fourier transform infrared spectroscopy, then converted to its acidic form and applied in esterification at 60 °C for 60, 120, and 180 minutes. Increasing reaction time reduced free fatty acid content from 2.253% to 0.717% and increased product yield from 85.69% to 93.00%. The diffraction and infrared data confirmed formation of the target zeolite structure, although quartz and unreacted precursor phases remained. Gas chromatography-mass spectrometry identified seven ester compounds, dominated by methyl octadecenoate at 42.53%. Koya clay therefore has potential as a local precursor for heterogeneous zeolite catalysts in waste cooking oil conversion.

Keywords: Biodiesel, Esterification, HZSM-5, Koya Clay, Waste Cooking Oil.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mensintesis zeolit Socony Mobil-5 dari lempung alam Koya, Kota Jayapura, dan mengevaluasi kinerjanya sebagai katalis esterifikasi minyak jelantah. Lempung diaktivasi dengan asam dan digunakan sebagai prekursor aluminosilikat pada rasio silikon terhadap aluminium 50. Sintesis hidrotermal dilakukan pada 150 °C selama 48 jam menggunakan cetyltrimethylammonium bromide sebagai pengarah struktur. Material hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X dan spektroskopi inframerah transformasi Fourier, kemudian diubah ke bentuk asam dan digunakan pada esterifikasi suhu 60 °C selama 60, 120, dan 180 menit. Peningkatan waktu reaksi menurunkan asam lemak bebas dari 2,253% menjadi 0,717% dan meningkatkan rendemen produk dari 85,69% menjadi 93,00%. Data difraksi dan inframerah mengonfirmasi pembentukan struktur zeolit target, meskipun masih terdapat kuarsa dan prekursor yang belum bereaksi. Analisis kromatografi gas-spektrometri massa mengidentifikasi tujuh senyawa ester dengan metil oktadekenoat sebagai komponen dominan sebesar 42,53%. Lempung Koya berpotensi menjadi prekursor lokal katalis zeolit heterogen untuk pengolahan minyak jelantah.

Kata Kunci: Biodiesel, Esterifikasi, HZSM-5, Lempung Koya, Minyak Jelantah.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang meningkat dan keterbatasan cadangan bahan bakar fosil mendorong pengembangan sumber energi terbarukan yang dapat diproduksi dari bahan baku lokal. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif karena tersusun terutama atas alkil ester asam lemak dan dapat dihasilkan dari minyak nabati, lemak hewan, maupun minyak goreng bekas. Pemanfaatan bahan baku limbah menjadi penting karena dapat menekan biaya bahan baku

sekali sekaligus mengurangi beban pencemaran lingkungan. Leung *et al.* (2010) menjelaskan bahwa produksi biodiesel dapat dilakukan melalui esterifikasi dan transesterifikasi dengan pemilihan katalis yang disesuaikan dengan karakteristik bahan baku.

Minyak jelantah merupakan limbah yang terbentuk dari penggunaan minyak goreng secara berulang. Selama proses penggorengan berlangsung, pemanasan, oksidasi, dan hidrolisis menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia

minyak serta meningkatkan kandungan asam lemak bebas. Apabila minyak tersebut langsung dibuang ke lingkungan, lapisan minyak dapat mengganggu kualitas tanah dan perairan. Sebaliknya, pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel dapat meningkatkan nilai ekonominya sekaligus menjadi salah satu strategi pengelolaan limbah (Erry, 2016). Tantangan utama pada minyak jelantah adalah kandungan asam lemak bebas yang relatif lebih tinggi dibandingkan minyak segar.

Kandungan asam lemak bebas yang tinggi dapat mengganggu transesterifikasi menggunakan katalis basa karena meningkatkan kemungkinan terjadinya reaksi penyabunan. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah menurunkan kandungan asam lemak bebas melalui esterifikasi dengan alkohol dan katalis asam sebelum tahap pengolahan berikutnya. Pada skala proses, katalis heterogen menarik untuk dikembangkan karena lebih mudah dipisahkan dari fase produk dan berpotensi digunakan kembali. Pengembangan katalis padat dari bahan mineral lokal juga membuka peluang untuk menurunkan ketergantungan terhadap katalis komersial.

Zeolit adalah material aluminosilikat berpori dengan struktur tiga dimensi yang mempunyai sifat adsorpsi, pertukaran ion, dan keasaman permukaan. Salah satu zeolit yang banyak digunakan dalam katalisis adalah ZSM-5 dengan kerangka MFI. Struktur pori, stabilitas termal, dan sifat asamnya membuat material ini relevan untuk berbagai transformasi kimia (Auerbach *et al.*, 2003; Petushkov *et al.*, 2011). Sintesis ZSM-5 umumnya dilakukan secara hidrotermal dari sumber silika dan aluminium dengan bantuan pengarah struktur. Sumber aluminosilikat tidak harus berasal dari pereaksi sintetik murni; mineral lempung dapat digunakan sebagai prekursor alternatif apabila komposisi dan perlakuannya sesuai (Johnson & Arshad, 2014; Khatamian & Irani, 2009).

Papua memiliki sumber lempung alam yang berpotensi dikembangkan menjadi material fungsional. Darwanta dan Sriyanto (2008) telah menunjukkan pemanfaatan lempung alam Papua dalam proses pemurnian minyak, sedangkan Salim *et al.* (2018) melaporkan modifikasi lempung untuk katalis sintesis biodiesel dari

minyak jelantah. Penelitian lain juga memperlihatkan bahwa zeolit hasil sintesis dari lempung Papua dapat digunakan pada pengolahan minyak jelantah (Salim, 2020). Meskipun demikian, pemanfaatan lempung alam Koya, Kota Jayapura, sebagai prekursor ZSM-5 yang kemudian dikonversi menjadi bentuk asam dan digunakan secara langsung dalam esterifikasi minyak jelantah masih terbatas dalam rujukan yang digunakan pada penelitian ini.

Kesenjangan tersebut menjadi dasar penelitian ini. Kebaruannya terletak pada integrasi dua sumber daya lokal dan limbah, yaitu lempung Koya sebagai prekursor katalis HZSM-5 dan minyak jelantah sebagai bahan baku reaksi. Selain mengidentifikasi pembentukan fase ZSM-5, penelitian mengevaluasi pengaruh waktu reaksi terhadap penurunan asam lemak bebas, rendemen produk, densitas, serta komposisi ester. Tujuan penelitian adalah mensintesis ZSM-5 berbasis lempung Koya pada rasio Si/Al 50, mengkarakterisasi material menggunakan difraksi sinar-X dan spektroskopi inframerah transformasi Fourier, serta menilai aktivitas katalitik HZSM-5 pada esterifikasi minyak jelantah.

METODE

Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dan dilaksanakan pada September-Desember 2021 di Laboratorium Kimia, Jurusan Kimia, Universitas Cenderawasih. Objek penelitian adalah lempung alam Koya sebagai prekursor zeolit dan minyak jelantah sebagai bahan baku esterifikasi. Peralatan utama meliputi seperangkat refluks, labu leher tiga, reaktor hidrotermal, oven, tanur, pengaduk magnet, neraca analitik, piknometer, instrumen difraksi sinar-X, spektrometer inframerah transformasi Fourier, dan kromatografi gas-spektrometri massa. Bahan yang digunakan meliputi lempung Koya, asam klorida, natrium hidroksida, sumber silika, sumber aluminium, cetyltrimethylammonium bromide, amonium asetat, metanol, kalium hidroksida, akuades, dan bahan pendukung analisis.

Lempung Koya dicuci, dikeringkan pada 105 °C, digerus, dan diayak hingga 100 mesh. Aktivasi dilakukan menggunakan asam klorida 9 M untuk mengurangi pengotor serta memodifikasi komposisi mineral. Padatan dicuci berulang

dengan akuades hingga netral dan kemudian dikeringkan. Komposisi unsur setelah aktivasi dianalisis dengan fluoresensi sinar-X. Lempung teraktivasi selanjutnya digunakan sebagai prekursor sintesis ZSM-5 dengan target rasio Si/Al 50. Campuran prekursor disiapkan menggunakan natrium hidroksida, sumber silika, sumber aluminium, cetyltrimethylammonium bromide, dan akuades pada pH sekitar 11. Campuran diaduk selama 48 jam, kemudian diproses secara hidrotermal pada 150 °C selama 48 jam. Padatan dicuci, dikeringkan, dan dikalsinasi pada 500 °C.

Zeolit yang diperoleh dalam bentuk natrium kemudian dipertukarkan ionnya menggunakan amonium asetat. Setelah penyaringan dan pengeringan, padatan dikalsinasi kembali untuk memperoleh bentuk asam HZSM-5. Karakterisasi fase kristal dilakukan menggunakan difraksi sinar-X pada rentang sudut yang mencakup daerah karakteristik MFI. Spektroskopi inframerah digunakan untuk mengidentifikasi vibrasi kerangka Si-O-T dan karakter struktur zeolit. Hasil kedua teknik dibandingkan dengan puncak karakteristik ZSM-5 yang dilaporkan dalam literatur.

Minyak jelantah terlebih dahulu disaring dan diadsorpsi menggunakan lempung termodifikasi dengan perbandingan 100 g minyak terhadap 5 g adsorben selama 6 jam. Kandungan asam lemak bebas ditentukan melalui titrasi menggunakan kalium hidroksida 0,1 N setelah sampel direaksikan dengan alkohol dan indikator fenolftalein. Esterifikasi dilakukan dalam labu leher tiga yang terhubung dengan kondensor refluks. Sebanyak 30 g minyak hasil perlakuan awal direaksikan dengan metanol dan 1,5 g katalis pada suhu 60 °C serta pengadukan 800 rpm. Waktu reaksi divariasikan menjadi 60, 120, dan 180 menit. Setelah reaksi, katalis dipisahkan dan fase cair dibiarkan untuk pemisahan produk.

Parameter hasil meliputi kandungan asam lemak bebas, konversi asam lemak bebas, rendemen

produk, densitas, dan komposisi ester. Konversi dihitung dari selisih kadar asam lemak bebas awal dan setelah reaksi terhadap kadar awal. Rendemen dihitung sebagai perbandingan massa produk terhadap massa minyak umpan. Densitas ditentukan menggunakan piknometer pada suhu ruang. Produk dari kondisi terbaik dalam rentang waktu yang diuji dianalisis menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa untuk mengidentifikasi senyawa ester berdasarkan waktu retensi dan persentase area. Data disajikan secara deskriptif untuk membandingkan perubahan antarwaktu reaksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Aktivasi lempung dengan asam klorida menghasilkan filtrat berwarna kuning kehijauan, yang menunjukkan terlarutnya sebagian komponen mineral dan pengotor. Analisis fluoresensi sinar-X setelah aktivasi menunjukkan oksigen sebesar 81,97% massa dan silikon 16,00% massa sebagai komponen dominan. Unsur lain yang terdeteksi antara lain kalium 0,969%, kalsium 0,301%, titanium 0,405%, dan besi 0,306%, sedangkan aluminium tidak terdeteksi pada hasil pengukuran. Kondisi tersebut mengindikasikan terjadinya dealuminasi kuat selama perlakuan asam sehingga komposisi Si/Al perlu diatur kembali dalam campuran sintesis.

Setelah proses hidrotermal dan kalsinasi, material berubah menjadi serbuk putih. Difraktogram menunjukkan puncak pada 20 8,5760°, 9,2820°, dan 23,7161° yang berada pada daerah karakteristik struktur MFI. Pada saat yang sama, puncak kuat pada 26,3412° masih tampak dan dikaitkan dengan kuarsa. Puncak lempung sekitar 5,94° yang terdapat pada prekursor tidak lagi menjadi puncak dominan pada material hasil sintesis. Data tersebut menunjukkan bahwa fase ZSM-5 terbentuk, tetapi material belum merupakan fase tunggal.

Tabel 1. Puncak utama difraksi sinar-X material hasil sintesis

No.	2 θ (°)	Intensitas relatif	Interpretasi
1	8,5760	32	Daerah karakteristik MFI
2	9,2820	25	Daerah karakteristik MFI
3	19,5066	10	Fase kristalin
4	20,5478	19	Fase kristalin
5	23,7161	33	Daerah karakteristik MFI
6	26,3412	100	Kuarsa dominan
7	27,5600	11	Fase mineral lain
8	27,7200	13	Fase mineral lain

Karakterisasi inframerah memperlihatkan pita serapan yang berkaitan dengan vibrasi kerangka aluminosilikat. Pita pada 1238,30 cm^{-1} diinterpretasikan sebagai vibrasi ulur asimetri eksternal Si-O-T, sedangkan pita 1058,92 dan 927,76 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi ulur asimetri Si-O dan Al-O. Pita pada 648,08 cm^{-1}

menunjukkan vibrasi ulur simetri dan pita 565,14 cm^{-1} berkaitan dengan struktur cincin ganda. Selain itu, masih terdapat serapan sekitar 1184,29 cm^{-1} yang pada skripsi asal dihubungkan dengan material prekursor, sehingga mendukung indikasi bahwa reaksi pembentukan zeolit belum berlangsung sempurna.

Tabel 2. Pita serapan inframerah material zeolit hasil sintesis

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Interpretasi
1238,30	Vibrasi ulur asimetri eksternal Si-O-T
1058,92	Vibrasi ulur asimetri kerangka aluminosilikat
927,76	Vibrasi ulur asimetri Si-O/Al-O
648,08	Vibrasi ulur simetri O-Si-O/O-Al-O
565,14	Vibrasi eksternal cincin ganda

Kadar asam lemak bebas minyak setelah perlakuan awal adalah 2,253%. Setelah esterifikasi, nilainya menurun menjadi 1,331% pada 60 menit, 1,126% pada 120 menit, dan 0,717% pada 180 menit. Konversi asam lemak bebas yang dihitung dari data tersebut masing-masing sebesar 40,92%, 50,02%, dan 68,17%.

Pada waktu yang sama, rendemen produk meningkat dari 85,69% menjadi 90,18% dan 93,00%. Dengan demikian, waktu 180 menit memberikan hasil terbaik di antara tiga kondisi waktu yang diuji karena menghasilkan asam lemak bebas terendah, konversi tertinggi, dan rendemen terbesar.

Tabel 3. Pengaruh waktu esterifikasi terhadap asam lemak bebas dan rendemen

Waktu (menit)	Asam lemak bebas (%)	Konversi (%)	Massa produk (g)	Rendemen (%)
60	1,331	40,92	25,7275	85,69
120	1,126	50,02	27,0864	90,18
180	0,717	68,17	27,9320	93,00

Densitas produk relatif stabil pada seluruh waktu reaksi. Nilai yang diperoleh adalah 0,9088 g/cm^3 pada 60 menit serta 0,9084 g/cm^3 pada 120 dan 180 menit. Skripsi asal menggunakan rentang 0,860-0,900 g/cm^3 sebagai pembanding, sehingga

nilai hasil penelitian secara numerik berada sedikit di atas batas atas rentang tersebut. Oleh sebab itu, hasil densitas tidak digunakan sebagai dasar tunggal untuk menyatakan bahwa produk telah memenuhi seluruh persyaratan mutu biodiesel.

Tabel 4. Densitas produk hasil esterifikasi

Waktu reaksi (menit)	Densitas (g/cm ³)
60	0,9088
120	0,9084
180	0,9084

Analisis kromatografi gas-spektrometri massa dilakukan pada produk waktu reaksi 180 menit. Tujuh senyawa ester teridentifikasi, yaitu metil laurat, etil miristat, metil miristat, metil stearat, metil linolelaidat, metil oktadekenoat, dan metil lignoserat. Metil oktadekenoat menjadi komponen

terbesar dengan persentase 42,53%, diikuti metil stearat 39,54% dan metil linolelaidat 12,16%. Tiga komponen dominan tersebut mencakup sebagian besar area ester yang teridentifikasi pada kromatogram.

Tabel 5. Senyawa ester pada produk waktu reaksi 180 menit

No.	Senyawa	Waktu retensi (menit)	Persentase (%)
1	Metil laurat	26,299	0,45
2	Etil miristat	28,097	0,87
3	Metil miristat	31,270	0,96
4	Metil stearat	35,828	39,54
5	Metil linolelaidat	39,233	12,16
6	Metil oktadekenoat	39,415	42,53
7	Metil lignoserat	39,830	3,04

Pembahasan

Pembentukan ZSM-5 dari lempung Koya ditunjukkan oleh kesesuaian antara data difraksi dan inframerah. Puncak difraksi pada sekitar 8-9° dan 23-24° merupakan daerah penting untuk identifikasi kerangka MFI. Hasil penelitian memperlihatkan puncak 8,5760°, 9,2820°, dan 23,7161°, sehingga transformasi sebagian prekursor menjadi fase ZSM-5 dapat dinyatakan terjadi. Hal ini sejalan dengan karakter umum ZSM-5 yang dilaporkan pada kajian sintesis berbasis kaolin dan sumber aluminosilikat lainnya (Khatamian & Irani, 2009; Johnson & Arshad, 2014). Hilangnya dominasi puncak lempung awal juga mendukung perubahan struktur selama perlakuan hidrotermal.

Walaupun fase ZSM-5 terbentuk, kemurnian produk belum tinggi. Puncak 26,3412° memiliki intensitas relatif paling besar dan diinterpretasikan sebagai kuarsa. Keberadaan kuarsa dapat dipahami karena lempung alam mengandung lebih dari satu fase mineral dan penelitian tidak melakukan ekstraksi spesifik untuk memisahkan mineral kuarsa sebelum sintesis. Darwanta dan Sriyanto (2008) sebelumnya melaporkan karakter mineral lempung Papua yang mendukung adanya fase silikat tersebut. Kuarsa yang tidak bereaksi

dapat tetap berada dalam padatan akhir dan menurunkan proporsi fase aktif ZSM-5. Temuan ini menjadi aspek penting karena aktivitas katalitik material ditentukan tidak hanya oleh keberadaan ZSM-5, tetapi juga oleh kemurnian, jumlah situs asam, ukuran kristal, dan aksesibilitas porinya.

Hasil inframerah memperkuat interpretasi tersebut. Pita pada 1238,30 cm⁻¹ dan 565,14 cm⁻¹ berkaitan dengan karakter struktur zeolit dan unit cincin, sedangkan pita sekitar 1058,92 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi kerangka aluminosilikat. Shukla dan Pandya (1989) menggunakan karakter inframerah untuk memperkirakan fase kristalin pada ZSM-5, sedangkan Naskar et al. (2012) menunjukkan bahwa sintesis hidrotermal dari sumber silika alternatif dapat menghasilkan pita karakteristik kerangka MFI. Namun, kemunculan serapan yang masih diasosiasikan dengan prekursor menunjukkan bahwa transformasi belum sempurna. Kesesuaian XRD dan FTIR dengan demikian memberikan bukti pembentukan ZSM-5 sekaligus menunjukkan keberadaan fase non-ZSM-5.

Aktivitas katalitik terlihat dari penurunan asam lemak bebas seiring bertambahnya waktu esterifikasi. Pada 60 menit, konversi asam lemak

bebas sebesar 40,92%, kemudian meningkat menjadi 50,02% pada 120 menit dan 68,17% pada 180 menit. Tren ini konsisten dengan karakter reaksi esterifikasi yang membutuhkan kontak antara asam lemak bebas, metanol, dan situs asam katalis. Peningkatan waktu memberikan peluang lebih besar bagi molekul reaktan untuk mencapai situs aktif dan membentuk ester. Salim (2020) juga menunjukkan bahwa zeolit berbasis lempung Papua dapat berperan dalam konversi minyak jelantah, sehingga hasil penelitian ini memperluas potensi pemanfaatan sumber mineral lokal sebagai bahan katalis.

Peningkatan rendemen dari 85,69% menjadi 93,00% bergerak searah dengan penurunan asam lemak bebas. Hal tersebut menunjukkan bahwa reaksi berlangsung lebih lanjut ketika waktu diperpanjang sampai 180 menit. Akan tetapi, waktu 180 menit hanya dapat disebut sebagai kondisi terbaik pada rentang waktu yang diuji, bukan sebagai kondisi optimum universal. Penelitian tidak menguji waktu lebih panjang, variasi suhu, jumlah katalis, rasio metanol terhadap minyak, maupun pengaruh pengadukan secara sistematis. Karena itu, optimasi lebih lanjut diperlukan untuk menentukan kondisi proses yang benar-benar optimum dan efisien secara energi.

Densitas 0,9084-0,9088 g/cm³ menunjukkan bahwa perubahan waktu reaksi tidak menghasilkan perubahan besar pada parameter tersebut. Nilai densitas produk masih sedikit lebih tinggi daripada batas atas rentang pembandingan yang dicantumkan dalam skripsi. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh komposisi ester, sisa komponen minyak yang belum bereaksi, kandungan senyawa berat, atau pemisahan produk yang belum sempurna. Pengujian biodiesel seharusnya tidak hanya mengandalkan densitas, tetapi juga mencakup viskositas, angka asam, kadar air, kadar ester, gliserol, titik nyala, dan parameter mutu lain yang relevan. Oleh karena itu, istilah produk ester atau kandidat biodiesel lebih tepat digunakan ketika seluruh parameter standar belum diuji.

Identifikasi tujuh ester melalui kromatografi gas-spektrometri massa memberikan dukungan kimia terhadap terjadinya esterifikasi. Metil oktadekenoat sebesar 42,53% dan metil stearat sebesar 39,54% merupakan dua komponen terbesar. Komposisi tersebut mencerminkan jenis

asam lemak yang tersedia dalam minyak jelantah dan kondisi reaksi yang digunakan. Adanya etil miristat dalam jumlah kecil juga menunjukkan bahwa produk tidak sepenuhnya terdiri atas metil ester tunggal. Temuan ini penting untuk interpretasi hasil karena rendemen massa yang tinggi tidak secara otomatis sama dengan kemurnian metil ester tinggi; diperlukan analisis kuantitatif yang lebih lengkap untuk menentukan kadar ester total.

Secara keseluruhan, penelitian menunjukkan pendekatan sirkular yang menghubungkan sumber mineral lokal dan limbah rumah tangga. Lempung Koya dapat ditingkatkan nilainya melalui transformasi menjadi material zeolit, sedangkan minyak jelantah dapat dikonversi menjadi produk ester bernilai lebih tinggi. Keterbatasan utama terletak pada kemurnian fase HZSM-5 dan belum lengkapnya pengujian mutu produk. Pemurnian atau ekstraksi mineral lempung sebelum sintesis, kontrol komposisi Si/Al yang lebih presisi, karakterisasi luas permukaan dan keasaman, serta uji penggunaan ulang katalis menjadi langkah penting untuk memperkuat kelayakan teknologi ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Lempung alam Koya dapat digunakan sebagai prekursor sintesis ZSM-5 melalui proses hidrotermal pada rasio Si/Al 50, suhu 150 °C, dan waktu 48 jam. Difraksi sinar-X menunjukkan puncak karakteristik MFI pada 2θ 8,5760°, 9,2820°, dan 23,7161°, sedangkan spektroskopi inframerah memperlihatkan pita kerangka zeolit pada 1238,30; 1058,92; 927,76; 648,08; dan 565,14 cm⁻¹. Material belum berupa fase ZSM-5 murni karena kuarsa dan material prekursor masih terdeteksi. HZSM-5 hasil sintesis mampu mengkatalisis esterifikasi minyak jelantah. Peningkatan waktu reaksi dari 60 menjadi 180 menit menurunkan asam lemak bebas dari 1,331% menjadi 0,717%, meningkatkan konversi dari 40,92% menjadi 68,17%, dan meningkatkan rendemen dari 85,69% menjadi 93,00%. Analisis kromatografi gas-spektrometri massa mengidentifikasi tujuh ester dengan metil oktadekenoat sebagai komponen dominan sebesar 42,53%. Hasil ini menunjukkan potensi lempung

Koya sebagai sumber lokal katalis zeolit heterogen untuk pengolahan minyak jelantah.

Saran

Penelitian lanjutan disarankan melakukan pemurnian atau ekstraksi mineral lempung sebelum sintesis agar fase ZSM-5 yang dihasilkan lebih murni. Optimasi suhu, waktu, rasio metanol terhadap minyak, dan jumlah katalis perlu dilakukan, disertai karakterisasi luas permukaan, keasaman, morfologi, serta uji penggunaan ulang katalis. Produk juga perlu diuji menggunakan parameter mutu biodiesel yang lebih lengkap sebelum dinyatakan memenuhi standar bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Auerbach, S. M., Carrado, K. A., & Dutta, P. K. (2003). *Handbook of zeolite science and technology*. New York, NY: Marcel Dekker.
- Darwanta, & Sriyanto. (2008). Studi proses bleaching crude palm oil dengan menggunakan lempung alam dari Papua. *Jurnal Sains*, 8(2), 91-97.
- Erry, I. R. (2016). Pemanfaatan minyak jelantah sebagai biodiesel: Kajian temperatur dan waktu reaksi transesterifikasi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sistem*, 12(3).
- Johnson, E., & Arshad, S. E. (2014). Hydrothermally synthesized zeolites based on kaolinite: A review. *Applied Clay Science*, 97-98, 215-221.
- Khatamian, M., & Irani, M. (2009). Preparation and characterization of nanosized ZSM-5 zeolite using kaolin and investigation of kaolin content, crystallization time and temperature change on the size and crystallinity of products. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 6, 187-194.
- Leung, D. Y. C., Wu, X., & Leung, M. K. H. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87, 1083-1095.
- Naskar, M. K., Kundu, D., & Chatterjee, M. (2012). A facile hydrothermal conversion of rice husk ash to ZSM-5 zeolite powders. *Journal of the American Ceramic Society*, 95, 925-930.
- Nurdin, A., Saputra, H., Arfiana, Yunilawati, R., & Finalis, E. R. (2018). Pembuatan dan karakterisasi katalis zeolit ZSM-5 untuk konversi bioetanol menjadi bioetilen. *M.P.I.*, 12(2), 79-84.
- Petushkov, A., Yoon, S., & Larsen, S. C. (2011). Synthesis of hierarchical nanocrystalline ZSM-5 with controlled particle size and mesoporosity. *Microporous and Mesoporous Materials*, 137, 92-100.
- Salim, I. (2020). Transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel katalis zeolit gismondin hasil sintesis dari lempung asal Merauke. *AVOGADRO Jurnal Kimia*, 4(1), 12-23.
- Salim, I., Lepa, A. A., & Kafiar, F. P. (2018). Modification of clay through and without fusion treatment for catalyst of biodiesel synthesis from used cooking oil. *International Journal of ChemTech Research*, 11(10), 308-314.
- Shukla, D. B., & Pandya, V. P. (1989). Estimation of crystalline phase in ZSM-5 zeolites by infrared spectroscopy. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 44, 147-154.