



SINTESIS BODIESEL DARI MINYAK GORENG BEKAS DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT ALAM TERMODIFIKASI

Arifin*) dan Latifah

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Juni 2015
Disetujui Juli 2015
Dipublikasikan Agustus 2015

Kata kunci:
biodiesel
katalis
zeolit alam termodifikasi
transesterifikasi

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rasio mol, konsentrasi katalis, waktu reaksi optimal, dan karakteristik biodiesel hasil reaksi transesterifikasi trigliserida dalam minyak goreng bekas dengan metanol menggunakan katalis zeolit alam termodifikasi. Modifikasi zeolit dilakukan melalui dealuminasi dengan larutan HF 1% dan impregnasi larutan basa NaOH kedalam zeolit alam Blitar. Analisis dengan FT-IR menunjukkan terjadi pergeseran puncak serapan pada beberapa bilangan gelombang setelah dilakukan modifikasi terhadap zeolit. Difraktogram XRD menunjukkan zeolit alam termodifikasi memiliki kristalinitas lebih baik dibandingkan zeolit alam semula. Hasil optimasi diketahui dengan GC yang memberikan rasio mol, konsentrasi katalis, dan waktu reaksi transesterifikasi yang optimal berturut-turut adalah 1:12, 10%, dan 180 menit. Komposisi biodiesel ditentukan dengan GC-MS dan karakterisasi fisik dilakukan menurut SNI. Biodiesel hasil sintesis memiliki densitas 0,87 g/mL dan viskositas sebesar 11,42 cSt yang terdiri dari 1,57% metil miristat, 44,93% metil palmitat, 9,28% metil linoleat, 39,18% metil oleat, dan 5,04% metil stearat.

Abstract

This study aims to determine optimal value of mole ratio, catalyst concentration, reaction time, and characteristics of biodiesel from transesterification of triglyceride in waste cooking oil with methanol using a modified natural zeolite catalyst. Zeolite modifications are carried out through dealumination of zeolite with 1% HF solution and impregnation of NaOH solution into natural zeolite from Blitar. FT-IR analysis shows a shift in the absorption peak at some of the wave number after the modification of the zeolite. XRD diffractogram shows that the modified natural zeolite has better crystallinity than the original natural zeolite. Results are determined by GC optimization which gives optimal value of the mole ratio, catalyst concentration, and transesterification reaction time respectively 1:12, 10%, and 180 minutes. The composition of biodiesel is determined by GCMS and physical characterization is performed according to SNI. Synthesis product of biodiesel has density value of 0.87 g/mL and viscosity value of 11.42 cSt. The product consists of methyl myristate 1.57%, methyl palmitate 44.93%, methyl linoleate 9.28%, methyl oleate 39.18%, and methyl stearate 5.04%.

Pendahuluan

Krisis energi merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi Indonesia sekarang ini. Berdasarkan data ESDM (2014) cadangan minyak tersedia Indonesia tahun 2013 sebesar 3,69 milyar barrel dan cadangan minyak potensial sebesar 3,85 milyar barrel sedangkan kebutuhan bahan bakar minyak pada tahun 2011 sebesar 86,7 Mb/d (*million barrel/day*). Konsumsi bahan bakar minyak tinggi sementara laju produksi yang terus mengalami penurunan membuat Indonesia rentan terhadap ketahanan energi.

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang penting untuk dikembangkan. Berbeda dengan minyak bumi yang ketersediaannya terbatas, biodiesel merupakan sumber energi yang terbarukan sehingga produksinya dapat terus dilakukan dan dikembangkan. Biodiesel merupakan suatu bahan bakar nabati yang berupa metil ester dari asam-asam lemak minyak nabati. Salah satu bahan baku biodiesel yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah minyak goreng bekas. Konversi minyak goreng bekas menjadi biodiesel merupakan salah satu alternatif pemanfaatan minyak goreng bekas. Selain dapat mereduksi limbah, konversi minyak goreng bekas menjadi biodiesel juga berpotensi besar untuk mengatasi krisis energi selama ini.

Sintesis biodiesel dapat dilakukan melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dari minyak nabati dengan metanol dan menggunakan katalis basa yang umumnya merupakan katalis homogen. Namun penggunaan katalis basa homogen memiliki kelemahan dalam proses pemisahan dan pengambilan gliserol. Lebih jauh lagi, adanya air serta asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak tersebut akan bereaksi dengan senyawa basa untuk membentuk produk hasil reaksi penyabunan yang mengganggu produksi biodiesel.

Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang memiliki kerangka struktur tiga dimensi, mikroporous, dan merupakan padatan kristalin serta mengikat sejumlah tertentu molekul air di dalam porinya. Komponen inti aktif (asam, basa, atau logam) dapat ditempatkan ke dalam suatu bahan penyangga berpori seperti zeolit yang diharapkan dapat terdispersi secara merata ke seluruh permukaan dan pori penyangga (Utomo; 2011).

Berdasarkan uraian diatas pada penelitian ini dilakukan reaksi transesterifikasi sintesis

biodiesel dari minyak goreng bekas dengan menggunakan katalis basa heterogen. Katalis basa heterogen dibuat dengan memodifikasi zeolit alam melalui impregnasi larutan NaOH ke dalam zeolit.

Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Zeolit alam yang berasal dari Blitar Jawa Timur, minyak goreng bekas yang diperoleh dari limbah rumah tangga dan warung di daerah Mijen Demak, aquades, serta bahan-bahan lain seperti H_2SO_4 , HF, NaOH, $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$, indikator pp, metanol, etanol dan Na_2SO_4 anhidrat dengan *grade pro analyts* buatan *Merck*. Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca digital, oven, seperangkat alat titrasi, seperangkat alat refluks, *X-Ray Diffraction PW3 710 (Shimadzu XRD 6000)*, *Fourier Transform Infra Red (FT-IR Shimadzu-8201 PC)*, *Gas Chromatography (GC Agilent 6890)*, dan *Gas Chromatography Mass Spectrometry (QP2010S Shimadzu)*.

Preparasi katalis dilakukan sesuai prosedur yang digunakan Utomo (2011) yaitu dengan dealuminasi zeolit dan impregnasi basa NaOH. Dealuminasi dilakukan dengan menimbang zeolit 100 *mesh* sebanyak 200 g dan direndam dalam larutan HF 1% selama 30 menit sambil terus diaduk, setelah selesai sampel zeolit dicuci dengan aquades hingga netral. Setelah diketahui netral kemudian dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada suhu 120°C. Zeolit hasil dealuminasi kemudian di impregnasi dengan basa NaOH. Zeolit alam direndam dalam larutan NaOH 1 M dan dibiarkan selama 3 hari. Setelah 3 hari zeolit dipisahkan dari larutannya kemudian di oven pada suhu 120°C selama 2 jam. Zeolit kemudian dikarakterisasi dengan XRD dan FT-IR.

Preparasi minyak goreng bekas terdiri dari preparasi fisik yang mengacu pada metode Kartika dan Widyaningsih (2012) serta preparasi kimia yang mengacu pada Aziz, *et al.* (2011). Preparasi fisik dilakukan dengan memanaskan minyak goreng bekas pada suhu 100-120°C kemudian menyaring minyak goreng bekas hasil pemanasan dengan kertas saring. Setelah itu minyak di preparasi secara kimia dengan cara memasukkan minyak goreng bekas ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan katalis asam sulfat 0,25% b/b minyak goreng. Campuran dipanaskan pada suhu 60°C. Metanol yang sebelumnya telah dipanaskan kemudian dimasukkan ke dalam campuran dan diaduk selama 150 menit. pengadukan

dilakukan dengan kecepatan 300 rpm dan dengan perbandingan mol minyak metanol 1:6. Setelah bereaksi selama 150 menit, langkah berikutnya adalah memasukkan campuran ke dalam corong pisah dan mengendapkannya selama 8 jam. Setelah terpisah lapisan bawah diambil dan dimurnikan dengan aquades. Campuran minyak dan aquades dipisahkan dengan corong pisah selama 30 menit dan diambil lapisan atasnya untuk kemudian dilakukan sintesis biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

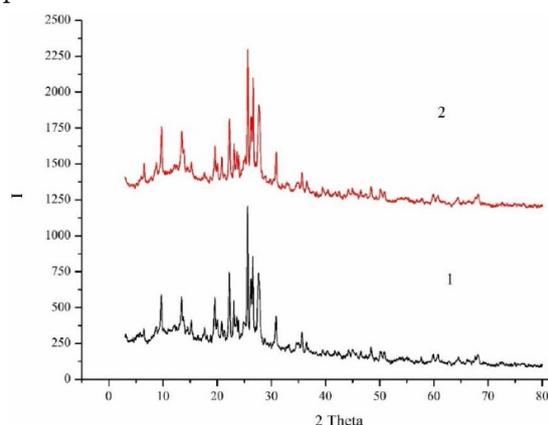
Sintesis biodiesel dilakukan melalui reaksi transesterifikasi dengan variasi perbandingan mol minyak dengan metanol, konsentrasi katalis, dan waktu reaksi. Reaksi transesterifikasi mengacu pada metode Febriawan (2013) dan Utomo (2011). Minyak hasil preparasi dipanaskan pada suhu 60°C dalam labu leher tiga yang dilengkapi kondensor dan pengaduk magnet yang ditempatkan pada pemanas. Minyak kemudian ditambahkan metanol yang telah dipanaskan dengan perbandingan mol minyak metanol sebesar 1:6, 1:8, 1:10, 1:12. Campuran kemudian ditambahkan katalis zeolit termodifikasi sebanyak 2,5; 5; 7,5; dan 10% b/b total minyak dan metanol. Campuran yang berisi reaktan dan katalis diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 60, 120, 180, 240 menit. Setelah proses selesai, selanjutnya campuran dipisahkan dengan corong pisah selama 1 hari. Lapisan atas kemudian diambil dan dimurnikan dengan aquades panas sebanyak 10% dari volume minyak dan di diamkan dalam corong pisah. Setelah 30 menit lapisan atas diambil dan ditambahkan 1 % b/v Na₂SO₄ anhidrat, metil ester hasil sintesis kemudian dengan GC dan GC-MS.

Hasil dan Pembahasan

Modifikasi zeolit alam melalui dealuminasi dan impregnasi dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh katalis basa heterogen yang digunakan sebagai katalis dalam reaksi sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas. Dealuminasi dilakukan melalui pencucian dengan asam fluorida 1% selama 30 menit. Proses pencucian menggunakan HF 1% bertujuan untuk melarutkan oksida-oksida pengotor termasuk silika dan aluminium bebas sehingga selektivitas zeolit semakin meningkat

Impregnasi dilakukan melalui perendaman zeolit alam dalam larutan NaOH 1 M selama 3 hari (Utomo; 2011). Impregnasi bertujuan untuk menempelkan inti aktif basa NaOH kedalam sktruktur pori dari padatan zeolit. Difraktogram

zeolit hasil uji menggunakan XRD dapat dilihat pada Gambar 1.



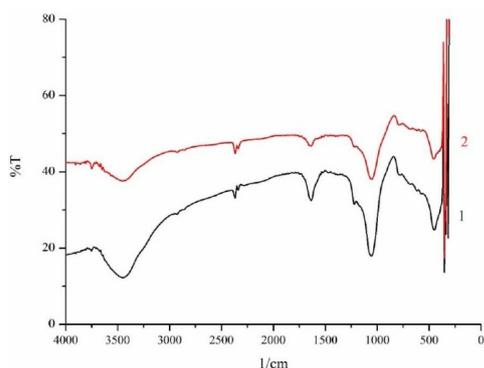
Gambar 1. Difraktogram zeolit alam (1) dan zeolit alam termodifikasi (2)

Analisis menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui struktur fasa mineral zeolit alam (ZA) dan zeolit alam setelah di modifikasi (ZAT). Gambar 1. menunjukkan pada difraktogram terbentuk puncak pada $2\theta = 20,8115^\circ$, $26,5600^\circ$ untuk zeolit alam (ZA) dan $2\theta = 20,8363^\circ$, $26,6071^\circ$ untuk zeolit alam termodifikasi (ZAT) yang merupakan merupakan *Quartz* (JCPDS no. 05-0490). Adanya mineral *mordenit* ditunjukkan pada puncak $22,1988^\circ$ dan $26,2265^\circ$ pada ZA serta $22,2146^\circ$ dan $26,2611^\circ$ pada ZAT (Treacy & Higgins; 2001). Berdasarkan Gambar 1. dapat dipahami bahwa zeolit alam termodifikasi (ZAT) memiliki pola difraktogram yang sama dengan zeolit alam tanpa modifikasi (ZA). Hal ini menunjukkan tidak terjadi perubahan struktur padatan secara signifikan setelah proses modifikasi.

Data XRD menunjukkan perubahan terjadi berupa pergeseran sudut difraksi dan peningkatan intensitas. Aziza (2013) menjelaskan peningkatan intensitas menunjukkan peningkatan kristalinitas struktur zeolit alam setelah melalui proses modifikasi. Kristalinitas yang tinggi membuat pengemban bebas dari berbagai pengotor serta sifat-sifat fisik seperti sifat katalitik semakin tinggi, stabilitas pada suhu tinggi semakin baik, dan porositas yang semakin luas.

Analisis menggunakan spektrofotometer FT-IR pada katalis digunakan untuk mengetahui gugus aktif dalam katalis. Hasil karakterisasi dengan FT-IR zeolit alam (ZA) dan zeolit alam termodifikasi (ZAT) ditunjukkan pada Gambar 2. Puncak serapan pada $3448,72 \text{ cm}^{-1}$ pada ZA dan $3448,72 \text{ cm}^{-1}$ pada ZAT yang merupakan vibrasi rentang -OH (Wijaya, *et al.*; 2006). Spektra infra merah menunjukkan beberapa

perbedaan puncak serapan pada ZA dengan ZAT. Terlihat ZA mempunyai puncak serapan $447,49\text{ cm}^{-1}$ dan $2368,59\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi tekuk Si-O/Al-O dan vibrasi rentangan Si-H (Wuntu dan Tangkuman; 2008). Sedangkan pada ZAT serapan untuk vibrasi tekuk Si-O/Al-O dan vibrasi rentangan Si-H terjadi pada $455,2\text{ cm}^{-1}$ dan $2422,59\text{ cm}^{-1}$. Pergeseran ini diduga sebagai akibat dari modifikasi yang telah dilakukan terhadap zeolit. Pengaruh lainnya adalah pada ZAT terjadi serapan pada $578,64\text{ cm}^{-1}$ dan $779,24\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan terbentuknya cincin ganda (*double ring*) dan regangan simetris Si/Al-O (Xie, *et al.*; 2006). Hal ini sesuai dengan penjelasan Aziza (2013) bahwa terjadinya dealuminasi dapat diamati dari adanya pergeseran pada spektra vibrasi internal dan eksternal. Bila terjadi proses dealuminasi, maka akan ada pergeseran spektra ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi pada vibrasi ulur internal zeolit dan pergeseran pita ke arah bilangan gelombang yang lebih rendah pada vibrasi eksternal.

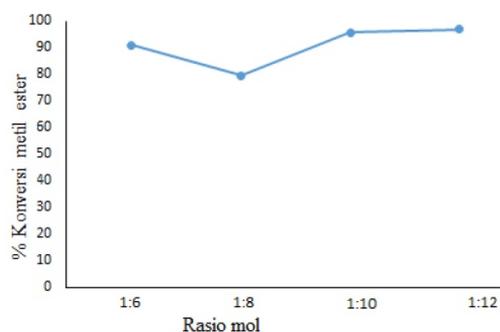


Gambar 2. Spektra infra merah zeolit alam (1) dan zeolit alam termodifikasi (2)

Zeolit alam yang telah dimodifikasi selanjutnya diaplikasikan sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas. Sebelum dilakukan transesterifikasi minyak goreng bekas terlebih dahulu dipreparasi yaitu berupa pemanasan, penyaringan dan esterifikasi. Pemanasan bertujuan untuk meminimalkan kandungan air dalam minyak goreng bekas. Penyaringan dilakukan dengan menggunakan kertas saring agar minyak bersih dari pengotor-pengotor bekas penggorengan bahan makanan sehingga minyak menjadi bersih dari pengotor padat. Setelah proses penyaringan selesai minyak kemudian diesterifikasi yang bertujuan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak goreng bekas.

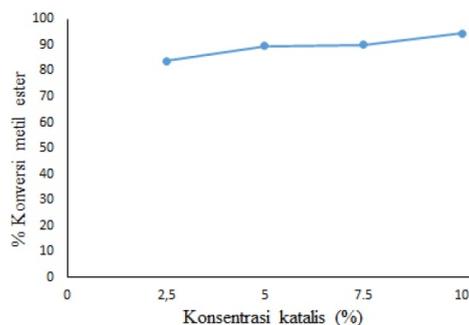
Reaksi transesterifikasi mereaksikan trigliserida dalam minyak goreng bekas dengan

metanol dan menghasilkan metil ester dengan bantuan katalis zeolit alam termodifikasi. Optimasi dilakukan terhadap rasio mol minyak dengan metanol, konsentrasi katalis, dan waktu reaksi. Hasil optimasi rasio mol minyak metanol dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil optimasi rasio mol pada reaksi transesterifikasi

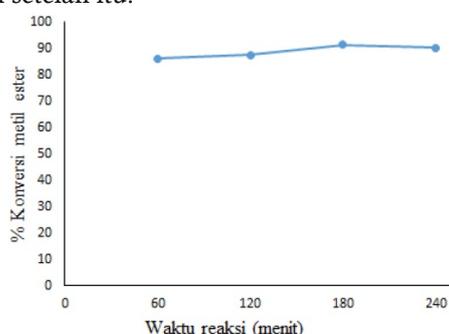
Hasil optimasi rasio mol minyak goreng bekas dengan metanol menghasilkan konversi metil ester maksimal sebesar 96,95% yang terjadi pada rasio 1:12. Hasil ini sama dengan yang diperoleh Liu, *et al.* (2008) yang memperoleh konversi metil ester tertinggi pada rasio mol sebesar 1:12. Semakin besar metanol yang digunakan membuat laju reaksi transesterifikasi semakin cepat, sehingga dalam rentang waktu yang sama perbandingan jumlah metanol terbesar akan menghasilkan produk metil ester paling tinggi, pada penelitian ini penggunaan rasio mol 1:8 hasil yang diperoleh lebih rendah dari rasio 1:6. Purwaningsih (2012) menjelaskan terjadinya penurunan rendemen produk hasil transesterifikasi juga bisa diakibatkan oleh adanya deaktivasi katalis, salah satu penyebab dari deaktivasi katalis ini adalah adanya penyerapan molekul air oleh katalis sehingga mengakibatkan pori dari katalis tertutup oleh adanya molekul air yang diserap.



Gambar 4. Hasil optimasi konsentrasi katalis pada reaksi transesterifikasi

Berdasarkan Gambar 4. dapat diketahui bahwa konversi metil ester tertinggi yang diperoleh adalah 94,48% yang terjadi pada pemakai-

an konsentrasi katalis sebesar 10% terhadap berat total minyak dan metanol. Hasil ini menunjukkan persentase metil ester mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan konsentrasi katalis yang digunakan. Darsono dan Oktari (2013) menjelaskan hasil konversi metil ester yang lebih besar akan didapatkan pada kondisi konsentrasi katalis yang optimum, namun ketika konsentrasi katalis telah mencapai kondisi optimumnya, maka konversi metil ester yang dihasilkan akan konstan atau cenderung menurun. Pada penelitian ini konversi metil ester berbanding lurus terhadap konsentrasi katalis yang digunakan. Hal ini dikarenakan dalam penelitian ini konsentrasi katalis ZAT maksimum yang digunakan adalah 10% dan memungkinkan konsentrasi optimum dapat terjadi pada saat konsentrasi 10% atau konsentrasi setelah itu.



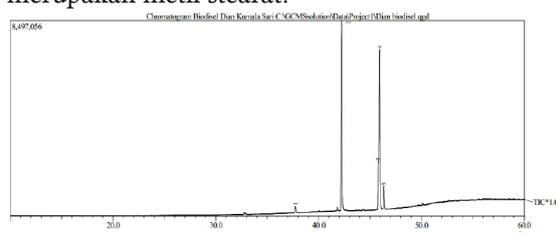
Gambar 5. Hasil optimasi waktu reaksi transesterifikasi

Gambar 5. menunjukkan persentase konversi metil ester pada berbagai variasi waktu reaksi transesterifikasi. Dari Gambar 5. diketahui bahwa konversi metil ester tertinggi sebesar 90,17% terjadi pada waktu reaksi selama 180 menit. Gambar 5 menunjukkan setelah tercapai waktu optimum yaitu pada waktu reaksi 180 menit grafik cenderung mengalami penurunan. Penurunan konversi metil ester setelah reaksi selama 180 menit ini menurut Azmi (2009) terjadi karena pada waktu yang terlalu lama setelah terjadi kesetimbangan sebagian produk metil ester yang terbentuk tercampur ke dalam fasa gliserol, hasil yang sama diperoleh Febriawan (2013) yang mendapatkan konversi biodiesel tertinggi pada penggunaan waktu reaksi selama 180 menit.

Persentase rendemen biodiesel hasil optimasi kemudian dihitung dengan cara membandingkan volume biodiesel dengan volume minyak goreng bekas sebagai bahan awal. Pada kondisi optimal dihasilkan biodiesel murni sebanyak 43 mL dari volume minyak goreng bekas yang digunakan sebesar 150 mL.

Hasil perhitungan mendapatkan persen rendemen biodiesel yang dihasilkan sebesar 28,667%.

Karakterisasi biodiesel dilakukan dengan GC-MS untuk mengetahui komponen-komponen metil ester asam lemaknya. Gambar 6. merupakan kromatogram biodiesel hasil karakterisasi dengan GCMS. Pada kromatogram menunjukkan terbentuknya lima puncak. Puncak nomor 1 dengan waktu retensi 37,724 menit memiliki persen area sebesar sebesar 1,57 % merupakan metil miristat. Puncak nomor 2 dengan waktu retensi 42,252 menit memiliki persen area sebesar 44,93% merupakan metil palmitat. Puncak nomor 3 dengan waktu retensi 45,808 menit memiliki persen area sebesar 9,28% merupakan metil linoleat. Puncak nomor 4 dengan waktu retensi 45,924 menit memiliki persen area sebesar 39,18% merupakan metil oleat. Puncak ke 5 dengan waktu retensi 46,345 menit memiliki persen area sebesar 5,04% merupakan metil stearat.



Gambar 6. Kromatogram GC-MS biodiesel hasil sintesis

Kromatogram GC-MS dari biodiesel hasil sintesis menunjukkan terbentuknya metil ester dengan persentase yang cukup tinggi. Hal ini membuktikan bahwa zeolit alam yang dimodifikasi dengan basa dapat digunakan sebagai katalis dalam reaksi sintesis biodiesel.

Karakterisasi fisik biodiesel dilakukan menurut SNI 7182:2012 yang memberikan hasil nilai densitas biodiesel sebesar 0,87 g/mL. Nilai ini telah sesuai dengan densitas biodiesel yang disyaratkan SNI yaitu 0,85-0,89 g/mL dan lebih kecil jika dibandingkan dengan densitas bahan awal berupa minyak goreng bekas yang memiliki densitas 0,90 g/mL. Penurunan ini terjadi karena trigliserida dalam minyak goreng bekas telah terkonversi menjadi metil ester, yang memiliki densitas lebih rendah dari pada trigliserida (Kartika dan Widyaningsih; 2012). Setelah melewati proses reaksi dengan metanol densitas turun dari 0,90 menjadi 0,87 g/mL.

Viskositas kinematis biodiesel diukur dengan menggunakan viskosimeter *Oswald* pada suhu 20°C dan diperoleh sebesar 11,42 cSt. Nilai ini lebih besar dari viskositas yang ditetapkan oleh SNI yaitu sebesar 2,3-6,0 cSt.

Tingginya viskositas biodiesel ini menurut Sari (2007) karena perlakuan reaksi pada suhu tinggi, terdapat indikasi terjadinya reaksi oksidasi termal. Peristiwa oksidasi menyebabkan terbentuknya molekul hidropersida yang memicu terjadinya polimerisasi dan terbentuknya endapan yang tak larut sehingga viskositas metil ester meningkat. Meskipun nilai viskositas yang dihasilkan belum sesuai dengan standar yang ditetapkan namun viskositas biodiesel jauh lebih kecil dibanding viskositas minyak goreng bekas awal sebesar 34,23 g/mL. Hal ini menunjukkan keberhasilan reaksi transesterifikasi yang dilakukan karena reaksi transesterifikasi mengubah trigliserida menjadi metil ester yang memiliki viskositas lebih kecil dibanding trigliserida.

Simpulan

Sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas dengan katalis zeolit alam termodifikasi melalui reaksi transesterifikasi yang telah dilakukan memberikan konversi tertinggi pada penggunaan rasio mol minyak metanol sebesar 1:12, konsentrasi katalis sebesar 10%, dan waktu reaksi selama 180 menit dengan komposisi metil ester terdiri dari 1,57% metil miristat, 44,93% metil palmitat, 9,28% metil linoleat, 39,18% metil oleat, dan 5,04% metil stearat. Biodiesel hasil sintesis memiliki nilai densitas sebesar 0,87 g/mL dan viskositas kinematis sebesar 11,42 cSt yang diukur berdasarkan SNI 7182:2012.

Daftar Pustaka

- Aziz, I., S. Nurbayti, dan B. Ulum. 2011. Esterifikasi Asam Lemak Bebas dari Minyak Goreng Bekas. *Valensi*, 2(2): 384-388
- Aziza, F.N. 2013. *Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi Ammonium Nitrat (NH_4NO_3) untuk Menurunkan Salinitas Air Sumur Payau*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Azmi, M.F. 2009. *Transesterifikasi Heterogen antara Minyak Sawit Mentah dengan Metanol Menggunakan Katalis K_2O-CaO* . Skripsi. Medan: FMIPA Universitas Sumatera Utara
- Darsono, W. dan Oktari, Y.S. 2013. Proses Pembuatan Biodiesel dari Dedak dan Metanol dengan Esterifikasi *In Situ*. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2): 33-39
- Febriawan, F.B. 2013. *Transesterifikasi Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) dan Metanol Menggunakan Katalis Bentonit Teraktivasi Asam*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Kartika, D. dan S. Widyarningsih. 2012. Konsentrasi Katalis dan Suhu Optimum pada Reaksi Esterifikasi Menggunakan Katalis Zeolit Alam Aktif (ZAH) dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Natur Indonesia*, 14(3): 219-226
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014*. Tersedia di www.esdm.go.id.
- Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S., Piao, X. 2007. Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Fuel*, 87: 216-221
- Purwaningsih, E. 2012. *Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa dengan Metanol Menggunakan Katalis Bentonit*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang
- Sari, A.B.T. 2007. *Proses Pembuatan Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas L.*) dengan Transesterifikasi Satu dan Dua Tahap*. Skripsi. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor
- Treacy, M.M.J., & Higgins, J.B. 2001. *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites*. Amsterdam: Elsevier
- Utomo, A.S. 2011. *Preparasi NaOH/Zeolit sebagai Katalis Heterogen untuk Sintesis Biodiesel dari Minyak Goreng Secara Transesterifikasi*. Skripsi. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Wijaya, K., E. Sugiharto, I. Fatimah, S. Sudiono, D. Kurniaysih. 2006. Utilisasi TiO_2 -Zeolit dan Sinar UV untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Berkala MIPA*: 27-35
- Wuntu, A.D. dan H.D. Tangkuman. 2008. Derajat Kristalisasi sebagai Fungsi Waktu Ageing dan Waktu Kristalisasi pada Sintesis Zeolit A dengan Radiasi Gelombang Mikro. *Chem. Prog.*, 1(1)
- Xie, W, Huang X. 2006. Soybean Oil Methyl Esters Preparation using NaX Zeolites Loaded with KOH. *Journal School of Chemistry and Chemical Engineering*, 936-939