

KONVERSI WASTE COOKING OIL (WCO) MENJADI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS BASA HETEROGEN $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$

Rozanna Sri Irianty¹, Hery Fiza Simarmata¹ dan Edy Saputra¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Jalan Raya HR. Subrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

E-mail: *edy.saputra@eng.unri.ac.id*

ABSTRAK

Katalis sodium oksida (Na_2O) di sangga pada ferric oksida (Fe_3O_4) telah di sintesis dan di uji untuk menkonversikan minyak goreng bekas menjadi biodiesel. Sifat Fisik-Kimia dari katalis sodium oksida di karakterisasi dengan menggunakan X-ray diffraksi (XRD) dan Fourier transform infrared (FTIR). Hasil penelitian di dapatkan loading katalis 3%-b adalah yang paling efektif pada reaksi esterifikasi, dibandingkan dengan loading katalis yang lain yaitu 4%-b dan 5%-b. Yield biodiesel dapat diperoleh yaitu sebesar 95.45% pada 2 jam pada kondisi 1:10 (molar rasio dari methanol/minyak goreng bekas), dan 3%-b katalis loading, pada pengadukan 300 rpm dan suhu 60 °C. Karakteristik dari produk biodiesel yang didapat sesuai dengan standard SNI 04-782-2006.

Kata Kunci: *Biodiesel, Heterogen, Katalis, Sodium Oxide, Waste cooking oil*

ABSTRACT

Sodium oxide (Na_2O) catalyst supported on ferric oxide (Fe_3O_4) were prepared and tested to convert waste cooking oil into biodiesel. The physico-chemical properties of sodium oxide based catalyst were characterized by X-ray diffraction (XRD), and Fourier transform infrared (FTIR). It was found that loading catalyst 3%-w was highly effective in transesterification reaction, compared other loading catalysts namely 4%-w and 5%-w. Yield of biodiesel could be achieved at 95.45% in 2 hours at the condition of 1:10 (ratio molar of methanol/waste cooking oil), and 3%-w loading catalyst, at 300 rpm and 60 °C. The characteristic of product biodiesel followed SNI 04-782-2006 standard.

Keywords: Biodiesel, catalyst, heterogeneous, Sodium oxide, Waste cooking oil

PENDAHULUAN

Selama ini produksi biodiesel digunakan katalis basa homogen (NaOH atau KOH) pada reaksi transesterifikasi, karena katalis basa homogen memiliki kemampuan katalisator yang tinggi. Persoalan utama yang dihadapi saat produksi biodiesel menggunakan katalis homogen adalah proses pemurnian biodiesel dari campuran gliserol, katalis dan umpan yang tersisa sulit dilakukan karena katalis asam dan basa cair larut sempurna di dalam gliserol dan larut sebagian di dalam biodiesel (Subagjo et al., 2012). Hal ini berarti menambah satu unit pemisahan yang membutuhkan biaya besar. Di samping itu, katalis homogen untuk proses produksi biodiesel tidak dapat digunakan kembali, dan memerlukan

perlakuan yang khusus agar tidak mencemari lingkungan (Singh et al., 2007).

Katalis merupakan suatu bahan yang mempengaruhi laju reaksi kimia tetapi pada akhirnya keluar tanpa mengalami perubahan (Levenspiel, 1999). Katalis ditambahkan pada suatu sistem reaksi untuk menurunkan energi aktivasi (E_a), sehingga pereaksi mudah mencapai kompleks teraktifkan untuk menghasilkan intermediet reaktif yang akan saling berinteraksi membentuk produk. Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk. Suatu katalis efektif dalam meningkatkan kecepatan suatu reaksi, karena katalis mampu membuat mekanisme alternatif, dimana tiap

tahapan memiliki energi aktivasi lebih rendah daripada reaksi tanpa ada katalis.

Secara umum, katalis pada proses transesterifikasi minyak nabati dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu katalis homogen, katalis heterogen, dan katalis enzimatis (biokatalis) (Helwani et al., 2009). Katalis heterogen dan homogen dibagi kembali menjadi dua jenis yaitu basa dan asam. Katalis basa heterogen biasanya digunakan di industri karena memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan katalis heterogen asam yaitu: (1) mampu mengkatalisis reaksi dengan kondisi operasi pada temperatur yang rendah dan tekanan atmosfer; (2) konversi tinggi dapat dicapai dalam waktu minimal; (3) tersedia secara luas dan ekonomis; (4) laju reaksi menggunakan katalis basa akan 4000 kali lebih cepat dibandingkan dengan katalis asam; (5) dapat digunakan kembali serta mudah dipisahkan dari produk. Namun, penggunaan katalis ini hanya untuk minyak nabati dengan kadar ALB lebih kurang 0,5 %-b atau nilai angka asam lebih kurang 1 mg KOH/g (Lam et al., 2010). Beberapa jenis katalis basa padat yang biasanya digunakan pada reaksi transesterifikasi yaitu basa zeolit, Hydrotalcites (HT), alkali tanah oksida (CaO, MgO, SrO), garam logam alkali (Helwani et al., 2009).

Pada tahun 2011, Chen et al., menggunakan katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada reaksi transesterifikasi minyak kedelai, menghasilkan konversi biodiesel sebesar 85,4% pada kondisi optimum (rasio molar metanol dengan minyak 6:1, suhu reaksi 65°C , waktu reaksi 3 jam, dan jumlah katalis 2% berat minyak). Katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ diperoleh melalui proses impregnasi basah, dimana natrium asetat (CH_3COONa) merupakan sumber Na_2O . Martinez et al. (2014), menggunakan katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{NaX}$ pada reaksi transesterifikasi minyak biji matahari, menghasilkan biodiesel dengan *yield* 99,3% pada kondisi optimum (rasio molar metanol dengan minyak 6:1, suhu reaksi 60°C , dan jumlah katalis 10 %-b minyak).

Berdasarkan penelitian Chen dan Martinez, pemisahan katalis masih kurang optimal karena memungkinkan terbentuknya suspensi pada gliserin dan katalis. Sehingga diperlukan katalis untuk memudahkan pemisahan, dengan cara membuat katalis yang dapat dipisahkan dengan menggunakan magnet. Katalis magnetik diperoleh dengan cara memuat Na_2O ke Fe_3O_4 (serbuk besi). Guo et al. (2012), menggunakan Fe_3O_4 sintesis sebagai *support* pada katalis Na_2SiO_3 yang akan digunakan pada reaksi transesterifikasi. Dengan adanya Fe_3O_4 sebagai *support* dapat meningkatkan

kinerja katalis dan memudahkan proses pemisahan katalis menggunakan magnet setelah reaksi transesterifikasi dengan laju pemisahan 1,7 kali lebih cepat dibandingkan dengan katalis tanpa serbuk besi. Sehingga mengurangi biaya produksi dan menghasilkan proses yang lebih sederhana (Guo et al., 2012).

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis katalis basa heterogen $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ yang diperoleh melalui proses impregnasi basah NaOH dengan Fe_3O_4 . Katalis yang diperoleh kemudian digunakan pada reaksi transesterifikasi menggunakan *waste cooking oil* (WCO) sebagai bahan baku yang merupakan limbah dan memiliki harga yang relatif murah. Dengan adanya serbuk besi tersebut, dapat memberikan sifat dapat ditarik magnet pada katalis sehingga memudahkan pemisahan katalis dari biodiesel.

BAHAN DAN METODE

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini yaitu *waste cooking oil* (WCO) dari sisa penggorengan sebagai bahan baku, metanol sebagai pereaksi, asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis pada reaksi esterifikasi, natrium hidroksida (NaOH) sebagai sumber Na_2O , serbuk besi (Fe_3O_4).

Pada penelitian ini temperatur reaksi yang digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah 60°C , waktu reaksi 100 menit dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Variasi rasio mol WCO:metanol adalah 1:6; 1:8 dan 1:10. Variasi jumlah katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ pada transesterifikasi adalah 3%; 4% dan 5%-b WCO.

Sintesis katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ dilakukan dengan cara metode impregnasi basah. Tahap awal yaitu padatan NaOH sebanyak 28 g dilarutkan dengan 50 mL aquadest, kemudian ditambahkan serbuk besi 56 g perbandingan massa NaOH: Fe_3O_4 yaitu 1:2, serta dilakukan pengadukan. Selanjutnya dilakukan pemanasan pada oven dengan suhu 110°C selama 24 jam. Padatan yang diperoleh kemudian dikalsinasi pada suhu 600°C selama 3 jam di dalam *muffle furnace*. Hasil yang diperoleh kemudian diayak untuk menyeragamkan ukuran dari katalis.

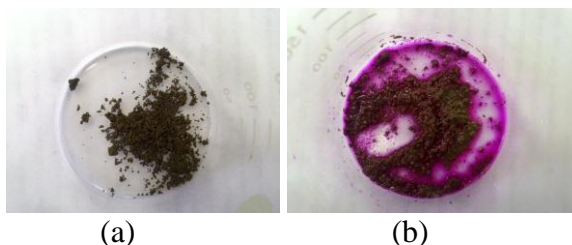
Pembuatan biodiesel terdiri dari dua tahap reaksi, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Proses esterifikasi dilakukan karena bahan baku WCO mempunyai kadar ALB lebih besar dari 2% (Lam et al., 2010). Proses esterifikasi dilakukan dengan cara mereaksikan 100 g dengan metanol sebanyak

49,242 mL, serta dengan penambahan katalis H_2SO_4 98% sebanyak 1%-b/b WCO pada suhu $60^\circ C$ selama 120 menit. Hasil yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam corong pisah untuk mendapatkan WCO dengan $ALB \leq 2\%$, kemudian WCO tersebut dilanjutkan ke tahap proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi dilakukan dengan cara mereaksikan 100 g WCO dengan metanol sesuai variasi rasio molar dan dengan penambahan katalis Na_2O/Fe_3O_4 dengan variasi jumlah katalis, pada suhu $60^\circ C$ selama 100 menit. Setelah waktu reaksi tercapai, katalis dipisahkan terlebih dahulu dengan cara menempelkan *magnet field* pada dinding reaktor. Kemudian campuran didinginkan dan dimasukkan pada corong pisah untuk memisahkan *crude biodiesel* dari larutan lain. *Crude biodiesel* yang diperoleh kemudian dilakukan pencucian biodiesel kemudian dilakukan analisa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Katalis Na_2O/Fe_3O_4

Katalis Na_2O/Fe_3O_4 yang diperoleh kemudian dilakukan analisa yaitu uji kebasaaan, analisa FTIR, dan analisa XRD. Hasil analisa uji kebasaaan katalis menggunakan indikator *phenolphthalein* dapat dilihat pada Gambar 1.

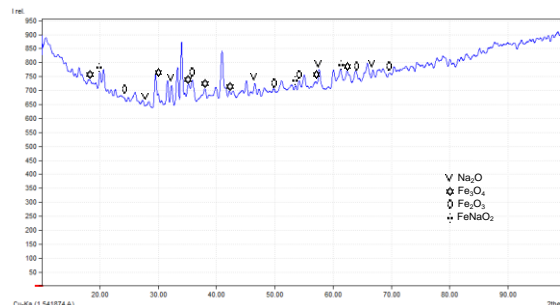


Gambar 1. Uji kebasaaan: (a) Sebelum ditambahkan indikator PP, (b) Setelah ditambahkan indikator PP.

Berdasarkan Gambar 1, hasil pengujian diperoleh warna ungu pekat saat ditambahkan indikator *phenolphthalein* ke katalis, hal ini menandakan bahwa katalis Na_2O/Fe_3O_4 yang tersintesis merupakan katalis basa heterogen dengan nilai kebasaaan $H_+ > 9,3$, sehingga katalis ini layak digunakan sebagai katalis basa pada transesterifikasi pembuatan biodiesel (Helwani et al., 2016).

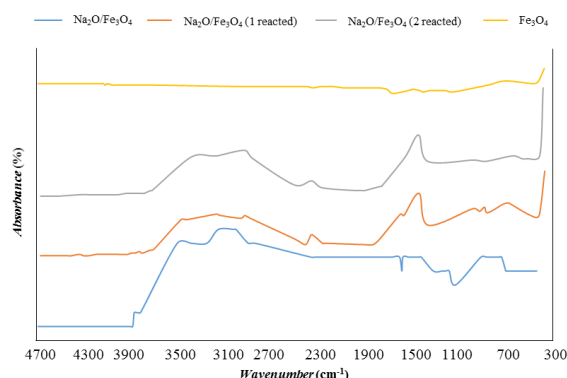
Analisa XRD katalis Na_2O/Fe_3O_4 seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2, dapat dilihat bahwa hasil histogram katalis terdiri kandungan utama itu yaitu Na_2O , dan Fe_3O_4 Berdasarkan ICDD No. 00-002-1285

(*International Centre for Diffraction Data, ICDD*), senyawa Na_2O terdapat pada posisi 2θ : $27,74^\circ$, $32,21^\circ$, $46,29^\circ$, $54,70^\circ$, $57,62^\circ$, dan $67,38^\circ$. Sedangkan untuk senyawa Fe_3O_4 berdasarkan ICDD No. 00-001-1111, terdapat pada posisi 2θ : $18,51^\circ$, $30,40^\circ$, $35,88^\circ$, $37,50^\circ$, $43,41^\circ$, $57,62^\circ$, dan $63,29^\circ$.



Gambar 2. Pola Analisa XRD Katalis Na_2O/Fe_3O_4

Pada Gambar 3. dapat dilihat adanya perubahan penyerapan gelombang pada katalis yang belum digunakan dan setelah digunakan pada reaksi transesterifikasi. Data hasil analisa FTIR dapat dilihat pada Lampiran H. Berdasarkan hasil analisa FTIR puncak penyerapan dari Na_2O pada gelombang $761,88$ dan $690,52\text{ cm}^{-1}$. Springfield (2011) menyatakan bahwa sodium oksida (Na_2O) dengan ikatan Na-O memiliki puncak penyerapan pada bilangan gelombang 750 dan 923 cm^{-1} . Sedangkan untuk ikatan Fe-O pada Fe_3O_4 memiliki puncak penyerapan pada bilangan gelombang 590 dan 450 cm^{-1} (Casillas et al., 2012). Pada hasil analisa FTIR yang dilakukan, ikatan Fe-O terletak pada bilangan gelombang $567,07\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 3. Hasil analisa FTIR dari Fe_3O_4 dan Na_2O/Fe_3O_4

Hasil analisa FTIR katalis yang telah digunakan untuk sekali reaksi dan dua kali reaksi memiliki gelombang yang mirip. Berdasarkan Lampiran H, puncak penyerapan dari katalis sekali reaksi

yaitu pada 1438,9; serta untuk katalis dua kali reaksi pada 1442,75. Lambert et al. (1987) menyatakan bahwa penyerapan pada gelombang 1465-1440 merupakan senyawa dengan ikatan CH₂ pada senyawa alifatik, dan pada 1440-1400 merupakan senyawa -OH pada asam karboksilat. Pada katalis yang telah digunakan sekali reaksi memiliki penyerapan pada gelombang 1442,75; hal ini menandakan bahwa pada katalis terdapat senyawa alifatik, dimana contoh dari senyawa alifatik yaitu biodiesel. Sedangkan pada katalis yang telah digunakan dua kali reaksi memiliki penyerapan pada gelombang 1438,9; hal ini menyatakan bahwa pada katalis terdapat senyawa asam karboksilat, dimana asam lemak yang terdapat pada minyak merupakan gugus asam karboksilat.

Hasil Pembuatan Crude Biodiesel

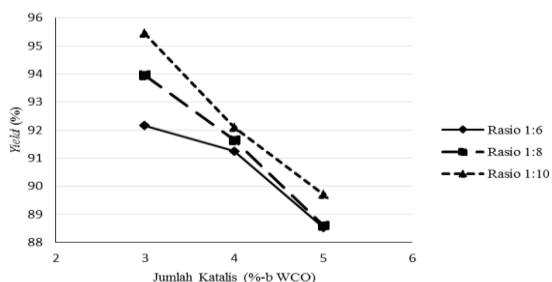
Yield crude biodiesel dinyatakan sebagai persentase berat *crude biodiesel* yang diperoleh terhadap berat bahan baku yang digunakan. Hasil perolehan *yield crude biodiesel* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perolehan Yield Crude Biodiesel

| Rasio Molar WCO : Metanol | Yield Crude Biodiesel (%) | | |
|---------------------------|---------------------------|------------|------------|
| | Katalis 3% | Katalis 4% | Katalis 5% |
| 1:6 | 92,16 | 91,25 | 88,54 |
| 1:8 | 93,96 | 91,65 | 88,61 |
| 1:10 | 95,45 | 92,10 | 89,71 |

Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Perolehan Yield Crude Biodiesel

Pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah katalis ZnO sebanyak 0,3%, 0,4%, dan 0,5% b/b minyak untuk menentukan pengaruh jumlah katalis terhadap *yield crude biodiesel*. Pengaruh variasi jumlah katalis terhadap *yield crude biodiesel* ditampilkan pada Gambar 4.



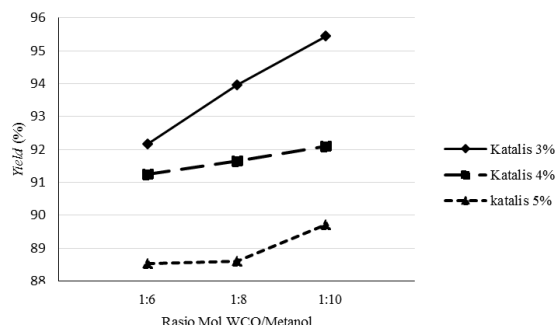
Gambar 4. Pengaruh jumlah katalis terhadap yield crude biodiesel

Pada Gambar 4. dapat dilihat bahwa variasi jumlah katalis berpengaruh terhadap *yield crude biodiesel*. Jumlah katalis berbanding terbalik terhadap *yield crude biodiesel* yang dihasilkan yaitu semakin besar jumlah katalis yang digunakan maka *yield crude biodiesel* semakin menurun dan sebaliknya. Pada penggunaan jumlah katalis 3%-b WCO dengan rasio molar WCO/metanol 1:10, *yield crude biodiesel* yang diperoleh sebesar 95,45%. Kemudian pada penggunaan katalis 4%-b WCO pada kondisi operasi yang sama, *yield biodiesel* yang dihasilkan menurun menjadi 92,10%, serta pada penggunaan katalis 5%-b WCO, *yield biodiesel* yang dihasilkan menurun menjadi 89,71%.

Berdasarkan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa *loading katalis* Na₂O/Fe₃O₄ dapat digunakan pada reaksi transesterifikasi dan mempengaruhi *yield crude biodiesel* yang dihasilkan. Semakin besar *loading katalis* Na₂O/Fe₃O₄, maka reaksi akan berjalan semakin cepat hingga tercapai *yield* produk yang maksimal (jumlah sisi aktif katalis sesuai dengan jumlah WCO/metanol yang direaksikan) (Lee et al., 2009). Namun penggunaan katalis Na₂O/Fe₃O₄ berlebih tidak menyebabkan bertambahnya *yield crude biodiesel*, tetapi akan meningkatkan viskositas campuran sehingga distribusi katalis semakin lambat dan memperlambat terjadinya kontak antar reaktan pada permukaan katalis. Selain itu penggunaan katalis berlebih hanya akan meningkatkan biaya produksi biodiesel itu sendiri (Highina et al., 2011).

Pengaruh Rasio Molar WCO/Metanol Terhadap Perolehan Yield Crude Biodiesel

Pada penelitian ini dilakukan variasi molar WCO/metanol sebesar 1:6, 1:8, dan 1:10. Pengaruh variasi mol WCO/Metanol terhadap *yield biodiesel* ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Rasio Molar WCO/Metanol terhadap Yield Crude Biodiesel

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa rasio mol WCO/metanol berpengaruh terhadap *yield biodiesel* yang dihasilkan. Penggunaan rasio mol WCO/metanol 1:6 dengan jumlah katalis 3%-b WCO, *yield crude biodiesel* yang dihasilkan sebesar 92,16%. Kemudian pada penggunaan rasio mol WCO/metanol 1:8 pada kondisi yang sama, *yield crude biodiesel* yang dihasilkan meningkat menjadi 93,96%. Selanjutnya pada penggunaan rasio mol WCO/metanol 1:10, *yield crude biodiesel* yang dihasilkan meningkat menjadi 95,45%.

Berdasarkan stoikiometri reaksi transesterifikasi, satu mol trigliserida bereaksi dengan tiga mol alkohol untuk menghasilkan tiga mol alkil ester dan satu mol gliserol. Karena reaksi transesterifikasi adalah reaksi kesetimbangan, maka digunakan metanol dengan jumlah mol berlebih untuk menggeser kesetimbangan reaksi ke arah produk sehingga diperoleh *yield* optimum (Helwani et al., 2009). Dari data hasil penelitian tersebut, bahwa rasio molar WCO/metanol mempengaruhi *yield crude biodiesel* yang dihasilkan. Semakin bertambahnya rasio molar WCO/metanol, maka biodiesel yang dihasilkan semakin meningkat pula, hal ini didukung oleh asas Le Chateliers, yaitu apabila dalam suatu reaksi kesetimbangan jumlah reaktan ditambah maka reaksi akan bergeser kearah kanan atau produk (Highina et al., 2011).

Karakterisasi *Crude Biodiesel*

Karakterisasi *crude biodiesel* dibutuhkan untuk mengetahui apakah *crude biodiesel* yang dihasilkan sudah sesuai dengan spesifikasi (standar mutu) biodiesel Indonesia sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhannya. Standar mutu yang digunakan adalah SNI 04-7182-2006. Parameter yang dianalisa diantaranya adalah densitas, viskositas kinematik, titik nyala, angka asam, angka penyabunan dan kadar alkil ester yang kemudian dibandingkan dengan karakteristik biodiesel berdasarkan SNI 04-7182-2006. *Crude biodiesel* yang dianalisa karakteristiknya yaitu *Crude biodiesel* yang diperoleh pada rasio molar WCO/metanol 1:10 dan berat katalis 3%. Hasil analisa karakteristik *crude biodiesel* ditampilkan pada Tabel 2.

Densitas *crude biodiesel* yang dihasilkan yaitu 886,22 kg/m³ sudah sesuai dengan standar SNI yaitu 850 – 890 kg/m³. Menurut Budiawan (2013), nilai densitas dalam batas SNI dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Biodiesel dengan densitas yang melebihi standar akan menyebabkan

reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan mesin. Reaksi pembakaran juga dipengaruhi oleh viskositas (kekentalan). Viskositas *crude biodiesel* yang didapat adalah 5,65 mm²/s. Viskositas yang tinggi dapat meningkatkan beban kerja pompa injeksi, menaikan tekanan dan volume injeksi (Romero et al., 2011).

Tabel 2 Karakteristik *Crude Biodiesel*

| Karakteristik | <i>Crude Biodiesel</i> Hasil Penelitian | Standar SNI 04-7182-2006 |
|---------------------------------------|---|--------------------------|
| Densitas (kg/m ³) | 866 | 850 - 890 |
| Viskositas | 4,401 | 2,3 – 6,0 |
| Kinematik (mm ² /s) | 170 | Min. 100 |
| Titik nyala (°C) | 170 | Min. 100 |
| Angka asam (mg-KOH/g-biodiesel) | 0,63 | Maks. 0,8 |
| Angka Penyabunan (mg-KOH/g-biodiesel) | 47,685 | |
| Kadar alkil ester | 98,68 | Min. 96,5 |

Titik nyala biodiesel yang didapat yaitu 170°C. Titik nyala akan mempengaruhi penyimpanan biodiesel. Hasil ini telah sesuai dengan standar yaitu >100°C yang menandakan biodiesel aman dalam proses penyimpanan. Sementara itu angka asam biodiesel yang didapatkan adalah 0,63 mg-KOH/g-biodiesel. Angka asam yang berada dibawah standar yaitu maksimal 0,8 mg-KOH/g-biodiesel menandakan biodiesel tersebut tidak bersifat korosif sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan pada injektor mesin (Budiawan et al., 2013).

Selanjutnya, angka penyabunan yang didapatkan adalah 47,685 mg-KOH/g-biodiesel. Angka penyabunan bergantung pada berat molekul dan persentase konsentrasi komponen asam lemak yang terdapat di dalam minyak atau biodiesel. Semakin rendah berat molekul, maka semakin tinggi bilangan penyabunan, juga sebaliknya. Rendahnya bilangan penyabunan yang didapatkan dikarenakan adanya kandungan senyawa intermediet yang tinggi dalam biodiesel.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa katalis basa heterogen Na₂O/Fe₃O₄ dapat disintesis dari NaOH dan Fe₃O₄ menggunakan metode impregnasi basah. Biodiesel dapat diproduksi dari *waste cooking oil* (WCO) melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa heterogen Na₂O/Fe₃O₄.

Perlakuan variasi jumlah katalis dan rasio mol minyak : metanol berpengaruh terhadap *yield crude biodiesel*. *Yield biodiesel* tertinggi diperoleh adalah 95,45% dengan rasio molar WCO dan metanol 1:10 dan *loading* katalis Na₂O/Fe₃O₄ sebesar 3%-b WCO.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini di dukung oleh Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini dengan Projek No. 450/UN.19.5.1.3/LT/2016.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiawan, R., Zulfansyah., Fatra, W., dan Helwani, Z., 2013. Off-grade Palm Oil as a Renewable Raw Material for Biodiesel Production By Two-Step Processes. ChESA Conference. *Chemical Engineering on Science and Application*, 7, pp.40-50.
- Casillas, P.E.G., C.A.R. Gonzalez, dan C.A.M. Perez., 2012. *Infrared Spectroscopy – Materials Science, Engineering and Technology*. Shanghai: InTech China.
- Guo, P., F. Huang, M. Zheng, W. Li, dan Q. Huang., 2012. Magnetic Solid Base Catalysts for the Production of Biodiesel. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 89, pp.925 – 933.
- Helwani, Z., Aziz, N., Kim, J., dan Othman, M.R., 2016. Improving The Yield Jatropha Curcas's FAME Through Sol-Gel Derived Meso-Porous Hydrotalcites. *Renewable Energy*, 86, pp.68-74.
- Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, J. Kim dan W. J. N. Fernando., 2009. Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol. *Application Catalysis A: General*, 369, pp.1-10.
- Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, W. J. N. Fernando, dan J. Kim., 2009. Technologies for Production of Biodiesel Focusing on Green Catalytic Techniques: A Review. *Fuel Processing Technology*, 90, pp.1502-1514.
- Highina, B.K., I.M. Bugaje, dan B. Umar., 2011. Biodiesel Production From Jatropha Curcas Oil in a Batch Reactor Using Zinc Oxide as Catalyst. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels*. 2(9), pp.146-149.
- Lam, M.K., K.T. Lee dan A.R. Mohamed., 2010. Homogenous, Heterogenous and Enzymatic Catalysis for Transesterifikasi of High Free Fatty Acid Oil (Waste Cooking Oil) to Biodiesel: A Review. *Biotechnology Advances*, 28, pp.500-518.
- Lambert, J.B., H.F. Shurvell, dan L.A. Lightner., 1987. *Introduction to Organic Spectroscopy*. New York: Machimillan Publication.
- Levenspiel, O., 1999. *Chemical Reaction Engineering*. New York: John Wiley and Sons.
- Martinez, S. L., R. Romero, R. Natividad, dan J. Gonzalez., 2014. Optimization of Biodiesel Production from Sunflower Oil by Transesterification Using Na₂O/NaX and Methanol. *Catalysis Today*, 220-222, pp.12-20.
- Romero, R., Martinez, S.L. dan Natividad, R., 2011. *Biodiesel Production by Using Heterogenous Catalyst*. Alternative Fuel. Shanghai: InTech China.
- Singh, A.K, dan S.D. Fernando., 2007. Reaction Kinetics of Soybean Oil Transesterification Using Heterogenous Metal Oxide Catalysts. *Chemical Engineering Technologies*, 12 (30), pp.1717-1720.
- Subagio, W.A. Fanny, dan T. Prakoso., 2012. Pengembangan Katalis kalsium Oksida untuk Sintesis Biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 2 (11), pp.66-73.