

Sintesis Katalis Basa Padat Nanomagnetik CaO/Serbuk Besi untuk Reaksi Transesterifikasi Minyak Sawit *Off Grade* menjadi Biodiesel

Fadlillahi Hafiz¹, Zuchra Helwani^{1,*}, Edy Saputra¹

¹Jurusan Teknik Kimia,

Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293

fadlillahihafiz@gmail.com

*Corresponding Author email: zuchra.helwani@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Nanomagnetic solid base catalyst synthesized with iron powder nanoparticle to load calcium oxide through impregnation method. The optimum conditions for the manufacture of catalysts investigated. Effect of weight ratio of CaO to iron powder and calcination temperature on the catalytic performance were studied. The catalyst with the highest activity is obtained when the weight ratio of CaO to iron powder is 80:20 and calcination temperature of 850 °C under transesterification reaction conditions of a molar ratio of methanol/oil 10:1, catalyst dosage of 1% by weight, temperature of 70 °C for 2 hours with biodiesel results reached 81.32%. CaO, Fe₂O₃ and Ca(OH)₂ material was found in the catalyst through x-ray diffraction with a catalyst alkalinity values of $H_+ > 9.3$ through alkalinity analysis using hammet indicator phenolphthalein and specific surface area of catalyst is 1.963 m²/g through Brunauer-Emmett-Teller (BET) analysis.

Keywords: *biodiesel, calcination, calcium oxide, catalysts, impregnation, iron powder, transesterification.*

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar yang mudah terurai (*biodegradable*) dan terbarukan (*biorenewable*), secara kimia merupakan campuran alkil ester dari asam lemak rantai panjang dan biasanya diproduksi dari sumber-sumber biologis yang mengandung trigliserida seperti minyak nabati, lemak hewan, minyak alga, lemak dan minyak limbah [Marinkovic *et al.*, 2016].

Biodiesel umumnya diproduksi melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa homogen dikarenakan katalis ini memiliki aktivitas katalitik dan konversi biodiesel yang tinggi dalam waktu reaksi yang relatif singkat [Hu

et al., 2011]. Namun, kerugian utama penggunaan katalis ini yaitu tidak dapat digunakan kembali atau diregenerasi, sulit dipisahkan dari produk dan membutuhkan peralatan lebih untuk pemisahan dan pemurnian sehingga biaya produksi menjadi tinggi [Marinkovic *et al.*, 2016].

Penggunaan katalis basa padat heterogen seperti kalsium oksida (CaO) dapat dijadikan alternatif pengganti katalis homogen. CaO paling banyak digunakan untuk proses transesterifikasi karena harganya yang murah, kelarutan yang rendah dalam metanol, toksisitas ringan, ketersediaannya banyak di alam, persiapannya mudah, aktivitas katalitik dan kebasaaan yang tinggi sehingga dapat

menghasilkan *yield* ester yang tinggi [Marinkovic *et al.*, 2016]. Namun, CaO mudah bereaksi dengan CO₂ dan H₂O pada kondisi lingkungan serta laju reaksinya lebih lama dibandingkan dengan katalis homogen. Selain itu, jika CaO digunakan secara langsung sebagai katalis pada proses transesterifikasi, ion oksigen pada permukaan CaO akan membentuk ikatan hidrogen dengan metanol atau gliserin yang menyebabkan viskositas gliserin meningkat dan membentuk suspensi dengan CaO sehingga katalis serta gliserin sulit untuk dipisahkan dari produk [Liu *et al.*, 2010]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, CaO harus diimpregnasi dengan *support* katalis atau oksida logam [Liu *et al.*, 2010; Kesic *et al.*, 2012].

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menemukan katalis basa padat heterogen yang mempunyai stabilitas tinggi, sisi aktif basa yang kuat, *mesoporous*, biaya yang murah dan yang paling utama yaitu mudah dipisahkan, diregenerasi serta dapat digunakan kembali. Salah satunya adalah katalis basa padat nanomagnetik (katalis yang *disupport* dengan oksida logam) dimana katalis ini mudah dipisahkan dengan magnet sehingga meminimalisir hilangnya katalis dan meningkatkan *reusability*-nya karena sifat magnet dari logam pada katalis. Selain itu, katalis basa padat nanomagnetik mempunyai luas permukaan spesifik yang besar, aktivitas katalitik yang tinggi dan sifat katalitik yang baik [Hu *et al.*, 2011].

Penggunaan katalis basa padat nanomagnetik telah banyak dikembangkan oleh peneliti dalam beberapa tahun terakhir diantaranya CaO/Fe₃O₄ [Liu *et al.*, 2010], KF/CaO-Fe₃O₄ [Hu *et al.*, 2011], KF/MgO; CaO/Al₂O₃; MgO/Al₂O₃; Li/CaO; CaO/ZnO; CaO/Al/Fe₃O₄ [Tang *et al.*, 2012], CaO.ZnO [Kesic *et al.*, 2012], CaO/CoFe₂O₄ [Zhang *et al.*, 2014], CaO-MgO/Al₂O₃ [Mahdavi dan Monajemi, 2014], Na₂SiO₃@Fe₃O₄/C [Zhang *et al.*,

2015], K₂O/CaO-ZnO [Istadi *et al.*, 2015], MgFe₂O₄@CaO [Liu *et al.*, 2016], CaO/serbuk besi [Rahman *et al.*, 2016] dan sebagainya. Penelitian tersebut difokuskan untuk menemukan katalis basa padat heterogen yang sesuai yang dapat dengan mudah dipisahkan dan digunakan kembali, aktivitas dan sifat katalitik yang baik, serta memberikan *yield* biodiesel yang tinggi [Tang *et al.*, 2012].

Karakteristik dan performa katalis CaO dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu jumlah katalis CaO yang diimpregnasi ke dalam *support*, waktu dan temperatur kalsinasi katalis serta kebiasaan katalis. Menurut Liu *et al.* (2010), jumlah katalis CaO yang diimpregnasi ke dalam *support* mempengaruhi *yield* biodiesel yang dihasilkan, jika terlalu kecil maka beberapa oksida aktif dan sisi aktif basa yang terbentuk dari katalis akan berkurang sehingga *yield* yang dihasilkan rendah. Sementara itu, menurut Tang *et al.* (2012) peningkatan temperatur dan waktu kalsinasi, katalis secara bertahap berubah menjadi kristal yang stabil dan *surface area* meningkat. Selanjutnya, aktivitas katalitik katalis basa sangat erat kaitannya dengan kebiasaan katalis dimana semakin kuat kebiasaan katalis semakin tinggi aktivitas katalitik katalis sehingga *yield* dihasilkan juga semakin tinggi [Chouhan dan Sarma, 2011; Kesic *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2014].

Pada penelitian ini disintesis katalis CaO yang *disupport* serbuk besi dengan mempelajari pengaruh rasio persentase berat CaO/serbuk besi dan temperatur kalsinasi terhadap kinerja katalitik katalis. Diharapkan dengan menggunakan proporsi dan temperatur kalsinasi katalis yang optimal akan meningkatkan *performance* katalis yang dihasilkan sehingga dapat meningkatkan *yield* biodiesel.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan yaitu minyak sawit *off grade*, aquades, serbuk besi, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ p.a, metanol p.a, H_2SO_4 pekat, etanol teknis, KOH, asam oksalat, indikator PP dan magnet.

2.2 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan 100/200 mesh, labu leher tiga 500 ml, *magnetic stirrer*, *oven*, *furnace*, *heating mantel*, *hot plate*, timbangan analitik, reaktor biodiesel, kondenser, *spindle press*, piknometer 10 ml, viskometer Oswald, gelas piala 250 ml, buret, erlenmeyer, termometer, pipet tetes, gelas ukur 50 ml, *Cleveland Flash Point Tester*, statif, GC-MS (Kromatografi Gas-Spektrometer Massa), XRD (*X-Ray Diffraction*) dan BET (*Brunauer-Emmet-Teller*).

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

2.3.1 Persiapan Bahan Baku

Buah sawit *off grade* diekstraksi dengan metode artisanal. Langkah pertama buah dicuci agar terbebas dari kotoran berupa pasir dan mahkota buah. Selanjutnya buah dikukus di dalam dandang selama 120 menit agar buah menjadi lunak. Setelah proses pengkukusan selesai, buah dipress menggunakan alat *spindle hydraulic press*. Hasil ekstraksi selanjutnya dimasukkan ke dalam corong pisah hingga terbentuk dua lapisan yaitu minyak dan air. Minyak yang diperoleh kemudian dianalisa untuk mengetahui kadar FFA dan air.

2.3.2 Persiapan Katalis Basa Padat Nanomagnetik CaO/Serbuk Besi

Langkah awal, serbuk besi diayak dengan ukuran ayakan 100/200 mesh

dimana partikel serbuk besi yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada pengayak 200 mesh. Serbuk besi dicuci dengan aquades untuk menghilangkan pasir dan kotoran lain lain yang menempel pada serbuk besi sampai air pencuci terlihat jernih kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C. Selanjutnya kalsium nitrat tetrahidrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) dan serbuk besi ditimbang sesuai variabel rasio persentase berat katalis yaitu 70:30, 80:20 dan 90:10. Berdasarkan perhitungan, untuk membuat 20 gr katalis ditimbang $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ masing-masing 14, 16, 18 gr dan serbuk besi masing-masing 6, 4, 2 gr. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ yang telah ditimbang dilarutkan dengan 250 ml aquades di dalam gelas kimia dan diaduk hingga homogen untuk membentuk larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Kemudian ditambahkan serbuk besi dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* di atas *hot plate*. Kondisi proses dilakukan pada suhu 70 °C selama 4 jam dengan kecepatan pengadukan 700 rpm. Setelah 4 jam, proses dihentikan. Hasil dari pencampuran ini akan terbentuk *slurry*. *Slurry* dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam untuk menghilangkan H_2O dan HNO_3 yang masih bersisa. *Slurry* yang sudah kering dikalsinasi di dalam *furnace* selama 2 jam pada suhu sesuai variabel proses mulai dari 800, 850 dan 900 °C. Katalis yang diperoleh selanjutnya akan dikarakterisasi menggunakan XRD, kebasaaan dan BET.

2.3.3 Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi dilakukan karena minyak sawit *off grade* memiliki kadar FFA lebih dari 2 %. Minyak hasil ekstraksi buah sawit *off grade* ditimbang sebanyak 150 gr dan dimasukkan ke dalam reaktor esterifikasi yang dilengkapi pengaduk dan kondensor. Proses dilakukan secara *batch* dan ditempatkan di atas pemanas untuk menjaga suhu reaksi. Setelah suhu reaksi

mencapai 60 °C, pereaksi metanol dengan rasio molar metanol:minyak 12:1 dan katalis H₂SO₄ 1%-b ditambahkan. Reaksi berlangsung selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Selanjutnya campuran dipisahkan di dalam corong pisah. Lapisan atas berupa katalis H₂SO₄ dan metanol sisa reaksi dipisahkan dari lapisan bawah yang akan dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi. Sebelum dilanjutkan ke tahap transesterifikasi lapisan bawah terlebih dahulu dianalisa kadar FFA-nya.

2.3.4 Reaksi Transesterifikasi

Lapisan bawah pada pemisahan produk hasil reaksi esterifikasi dimasukkan ke dalam reaktor transesterifikasi yang dilengkapi kondensor sebanyak 50 gr dan dipanaskan diatas *hot plate* hingga mencapai suhu reaksi 70 °C. Setelah suhu reaksi tercapai, ditambahkan pereaksi metanol sebanyak 23,87 ml (rasio molar metanol: minyak 10:1) dan katalis CaO/serbuk besi sebanyak 1 gr (konsentrasi katalis 1%-b minyak). Reaksi berlangsung selama 2 jam dengan kecepatan pengadukan 400 rpm menggunakan *magnetic stirrer*. Waktu awal reaksi mulai dihitung setelah katalis dan reaktan diumpankan ke dalam reaktor. Setelah reaksi selesai, campuran didinginkan dan katalis dipisahkan dari campuran menggunakan magnet. Langkah diatas diulangi untuk katalis yang telah disiapkan sebelumnya dengan rasio persentase berat dan suhu kalsinasi katalis yang divariasikan. Campuran yang didapat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel untuk memperoleh biodiesel yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ekstraksi Sawit *Off-grade*

Buah sawit *off grade* dikukus untuk melunakkan mesocarp buah dan deaktivasi enzim lipase sehingga dapat mencegah peningkatan kadar FFA pada minyak

[Budiawan *et al.*, 2013]. Buah diekstraksi menggunakan alat *spindle press* dimana proses ekstraksi menghasilkan minyak sebesar 15% atau sekitar 150 gr minyak untuk 1 kg buah sawit *off grade*. Selanjutnya minyak sawit *off grade* dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya seperti densitas, viskositas, kadar air dan kadar asam lemak bebas. Analisis karakteristik diperlukan untuk mengetahui perlakuan awal yang dibutuhkan pada proses pembuatan biodiesel. Karakteristik minyak sawit *off grade* ditampilkan pada Tabel 1.

Minyak sawit *off grade* yang dihasilkan memiliki kadar air dan kadar asam lemak bebas (FFA) yang tinggi. Kadar air yang tinggi dalam minyak menyebabkan terjadinya hidrolisis yang merupakan salah satu penyebab terbentuknya FFA [Pahan, 2006]. Selain itu, air juga dapat bereaksi dengan katalis sehingga akan menyebabkan jumlah katalis pada reaksi berkurang [Ulfayana dan Helwani, 2015].

3.2 Sintesis dan Karakterisasi Katalis CaO/Serbuk Besi

Penggunaan katalis CaO/serbuk besi pada proses transesterifikasi minyak sawit *off grade* menjadi biodiesel akan mempengaruhi kualitas, jumlah produk dan kondisi proses. Sifat dari CaO yang mudah bereaksi dengan CO₂ dan H₂O akan mengakibatkan terjadinya penurunan selektivitas katalis yang juga berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Gliserol dan metanol akan membentuk emulsi dengan CaO sehingga akan menyulitkan proses pemisahan [Liu *et al.*, 2008]. Hasil sintesis katalis ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Katalis CaO/Serbuk Besi

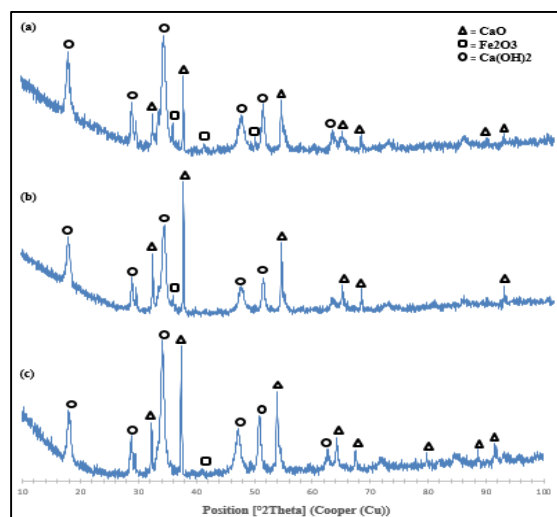
Tabel 1. Karakteristik Minyak Sawit *Off Grade*

Karakteristik	Satuan	Hasil Ekstraksi	Standar CPO SNI 01-2901-2006
Warna		Jingga kemerahan	Jingga kemerahan
Densitas (40 °C)	kg/m ³	892,11	-
Viskositas (40 °C)	mm ² /s	29,47	-
Kadar air	%	3,5	Maks 0,5
Kadar asam lemak bebas	%	6,19	Maks 0,5

Selama proses kalsinasi, Ca(OH)_2 terdehidrasi menjadi CaO dan H_2O pada temperatur $> 600^\circ\text{C}$ [Linder *et al.*, 2014]. Selanjutnya, komponen CaO akan terimpregnasi pada pori Fe_2O_3 yang terdapat pada serbuk besi. Di lain pihak, temperatur kalsinasi dibutuhkan untuk meningkatkan kekuatan mekanik katalis mencegah terjadinya *leaching* [Helwani *et al.*, 2016].

3.2.1 Karakterisasi Katalis CaO /Serbuk Besi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD)

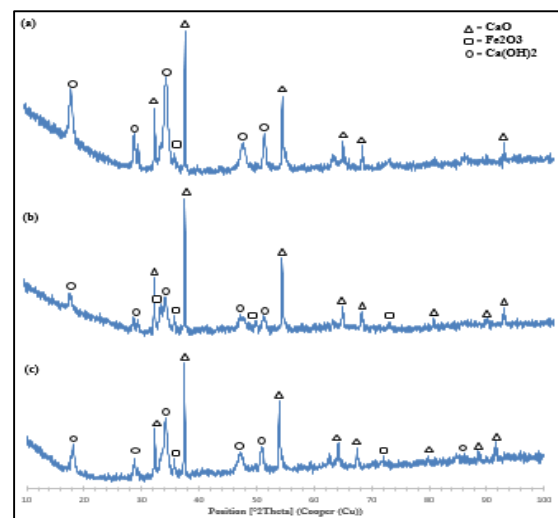
Perbandingan pola XRD katalis CaO /serbuk besi yang disintesis menggunakan variasi komposisi garam prekursor CaO terhadap serbuk besi masing-masing 70:30, 80:20 dan 90:10 yang dikalsinasi pada temperatur 800°C ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola XRD Katalis CaO /Serbuk Besi: (a) Komposisi 70:30, (b) Komposisi 80:20 dan (c) Komposisi 90:10

Pada ketiga sampel katalis CaO /serbuk besi hasil sintesis terlihat memiliki puncak yang cenderung sama mengindikasikan bahwa ketiga sampel tersebut memiliki fasa yang sama hanya saja memiliki intensitas puncak CaO yang sedikit lebih besar seiring kenaikan komposisi CaO yang tersebar merata pada permukaan katalis [Mutreja *et al.*, 2014].

Sementara itu, perbandingan pola XRD katalis CaO /serbuk besi yang disintesis menggunakan variasi temperatur kalsinasi masing-masing 800°C , 850°C dan 900°C pada komposisi 80:20 ditampilkan pada Gambar 3.



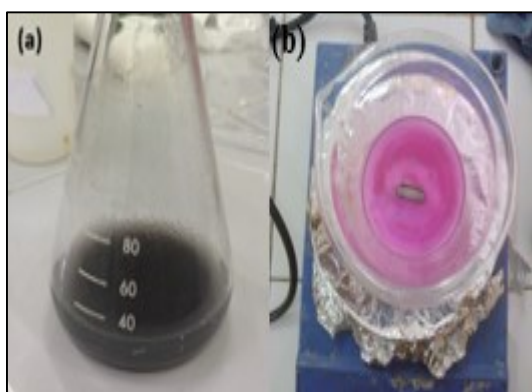
Gambar 3. Pola XRD Katalis CaO /Serbuk Besi: (a) Temperatur Kalsinasi 800°C , (b) Temperatur Kalsinasi 850°C dan (c) Temperatur Kalsinasi 900°C

Pada ketiga sampel katalis CaO /serbuk besi hasil sintesis terlihat memiliki puncak yang juga cenderung sama hanya saja

memiliki intensitas puncak Ca(OH)_2 yang semakin rendah seiring kenaikan temperatur kalsinasi dikarenakan tingginya temperatur kalsinasi menyebabkan Ca(OH)_2 terdekomposisi menjadi CaO akibatnya terjadi penurunan jumlah kristal Ca(OH)_2 dan pembentukan kristal CaO yang baru sehingga jumlah kristal CaO yang terbentuk akan semakin banyak [Wong *et al.*, 2015].

3.2.2 Kebasaan Katalis CaO /Serbuk Besi

Serbuk besi dan katalis CaO /serbuk besi pada komposisi 80:20 yang dikalsinasi masing-masing pada temperatur 800, 850 dan 900° C diuji kebasaannya menggunakan indikator Hammett fenoltalein. Hasil uji ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Uji Kebasaan: (a) Serbuk Besi dan (b) Katalis CaO /Serbuk Besi

Serbuk besi tidak menunjukkan perubahan warna yang mengindikasikan bahwa serbuk besi tidak bersifat basa dan sangat cocok dijadikan sebagai *support* katalis bagi CaO [Hindryawati, 2014]. Namun, untuk ketiga variasi katalis CaO /serbuk besi terjadi perubahan warna dari tidak berwarna menjadi ungu yang mengindikasikan bahwa katalis memiliki kebasaan $\text{H}^+ > 9,3$ dan membuktikan bahwa katalis yang didapatkan bersifat basa sehingga dapat digunakan pada reaksi transesterifikasi minyak sawit *off grade* (Helwani *et al.*, 2016).

3.2.3 Karakterisasi Katalis CaO /Serbuk Besi menggunakan *Brunauer-Emmet-Teller (BET) Surface Area*

Perbandingan luas permukaan katalis CaO /serbuk besi yang disintesis menggunakan variasi temperatur kalsinasi masing-masing 800, 850 dan 900° C pada komposisi 80:20 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. BET *Surface Area* Katalis CaO /Serbuk Besi pada Variasi Temperatur Kalsinasi

Temperatur Kalsinasi (°C)	Luas Permukaan (m^2/g)
800	0,720
850	1,963
900	0,088

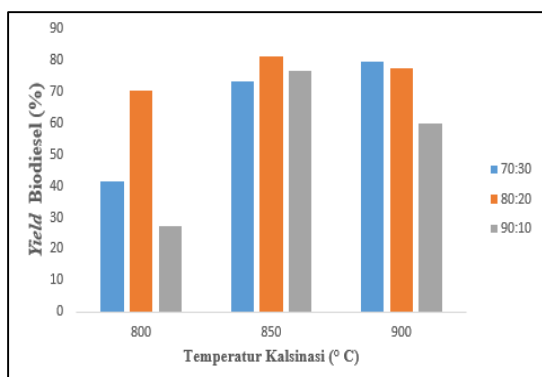
Kondisi optimum sintesis katalis didapat pada temperatur kalsinasi 850° C dengan luas permukaan katalis sebesar $1,963 \text{ m}^2/\text{g}$ dikarenakan dengan peningkatan temperatur kalsinasi, katalis secara bertahap berubah menjadi kristal yang stabil dan *surface area* meningkat [Tang *et al.*, 2012]. Namun luas permukaan katalis berkurang menjadi $0,088 \text{ m}^2/\text{g}$ seiring meningkatnya temperature kalsinasi dikarenakan peningkatan temperatur yang melewati batas optimum akan membentuk gumpalan-gumpalan (aglomerasi) pada permukaan katalis sehingga mengurangi *surface area* katalis [Liu *et al.*, 2010].

3.3 Yield dan Karakteristik Biodiesel

3.3.1 Yield Biodiesel

Untuk mengetahui pengaruh dari komposisi CaO dan temperatur kalsinasi katalis terhadap aktivitas katalis CaO /serbuk besi dengan indikator banyaknya *yield* biodiesel yang dihasilkan, semua katalis di uji pada kondisi reaksi transesterifikasi yang sama dari rasio mol metanol:minyak 10:1, konsentrasi katalis 1%-b dan suhu reaksi 70°

C selama 2 jam [Rahman *et al.*, 2016]. *Yield* biodiesel yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Komposisi CaO dan Temperatur Kalsinasi Katalis terhadap *Yield* Biodiesel

Yield biodiesel tertinggi didapatkan sebesar 81,32% pada katalis dengan komposisi 80:20 yang dikalsinasi pada temperatur 850° C. Hasil yang diperoleh jauh lebih tinggi dibandingkan Rahman *et al.* (2016) dengan menggunakan katalis dan kondisi proses transesterifikasi yang sama.

Berdasarkan perhitungan dengan perbandingan berat molekul, pada penelitian ini kadar CaO yang terdapat dalam katalis sebesar 23,78% begitu juga dengan penelitian Rahman *et al.* (2016). Pada penelitian ini, proporsi antara prekursor CaO terhadap serbuk besi sedikit lebih ditingkatkan masing-masing sebesar 70:30, 80:20 dan 90:10 yang dikalsinasi masing-masing pada temperatur 800, 850 dan 900° C. Sementara itu, Rahman *et al.* (2016) menggunakan katalis CaO/serbuk besi dengan proporsi 45:55 yang dikalsinasi pada temperatur 800° C. Rahman *et al.* (2014) mendapatkan *yield* biodiesel tertinggi sebesar 52,34% sedangkan pada penelitian ini mendapatkan *yield* biodiesel tertinggi sebesar 81,32%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan komposisi CaO dan temperatur kalsinasi berpengaruh besar terhadap aktivitas katalitik katalis yang

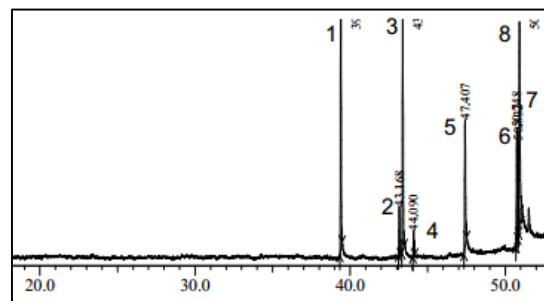
berdampak terhadap perolehan *yield* biodiesel.

3.3.2 Karakteristik Biodiesel

Karakterisasi biodiesel dibutuhkan untuk membandingkan karakteristik biodiesel yang dihasilkan dengan standar mutu biodiesel Indonesia sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhannya. Karakteristik yang dianalisis diantaranya adalah densitas, viskositas kinematik, titik nyala dan angka asam yang ditampilkan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa semua karakteristik biodiesel telah sesuai dengan standar SNI 7182:2015. Densitas dan viskositas biodiesel akan mempengaruhi sistem pembakaran dan injeksi pada mesin. Titik nyala yang sesuai standar menandakan biodiesel aman dalam proses transportasi dan penyimpanannya. Angka asam yang sesuai standar menandakan biodiesel tidak bersifat korosif.

Biodiesel juga dianalisa menggunakan GC-MS untuk mengetahui komposisinya. Hasil uji ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Analisa GC-MS Biodiesel Hasil Penelitian

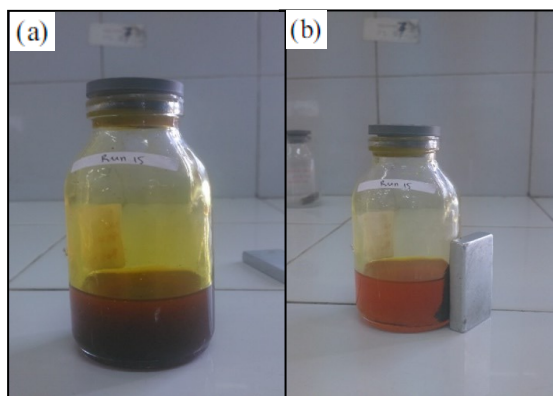
Komposisi yang paling banyak pada biodiesel adalah metil oleat sebesar 20,43% ditampilkan dengan nomor 3 diikuti dengan metil palmitat sebesar 20,05% ditampilkan dengan nomor 1. Sedangkan komposisi yang paling sedikit pada biodiesel adalah metil stearat sebesar 1,76% ditampilkan dengan nomor 4.

Tabel 2. Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian

Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	Standar SNI 7182:2015
Densitas	kg/m ³	871,67	850-890
Viskositas Kinematik	mm ² /s	4,037	2,3-6,0
Titik nyala	° C	135	Min. 100
Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,396	Maks. 0,5

3.4 Pemisahan Katalis CaO/Serbuk Besi

Katalis CaO/serbuk besi memiliki sifat magnet karena adanya kandungan hematit (Fe_2O_3) yang terdapat pada serbuk besi sehingga dapat ditarik oleh magnet. Proses pemisahan katalis dari produk ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 7. Pemisahan Katalis CaO/Serbuk Besi menggunakan Magnet: (a) Biodiesel yang Masih Bercampur Katalis dan (b) Katalis Dipisah dengan Magnet

Menurut marinkovic *et al.* (2016), katalis CaO yang diperoleh dari prekursor kalsium nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) tergolong katalis berukuran nano (ukuran kristal 93 nm) dan berpori (volume pori 0,05 cm³/g dan diameter pori 33 nm). Hal ini juga dibuktikan dari hasil penelitian Ezzah-Mahmudah *et al.* (2016) dengan menggunakan katalis $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ untuk reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas dimana didapatkan ukuran pori katalis sebesar 97,5 nm dan volume pori katalis sebesar 0,03 cm³/g.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan yaitu katalis basa padat nanomagnetik dapat dibuat dengan pemuatan serbuk besi pada CaO untuk menghasilkan biodiesel dari minyak sawit *off grade* yang berkualitas rendah melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. XRD menunjukkan katalis memiliki puncak CaO, Fe_2O_3 dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Katalis CaO/serbuk besi dengan komposisi 80:20 yang dikalsinasi pada temperatur 850° C mempunyai luas permukaan spesifik yang lebih tinggi dibandingkan katalis yang dikalsinasi pada temperatur 800 dan 900° C yaitu sebesar 1,963 m²/g. Katalis CaO/serbuk besi memiliki kebasaaan $\geq 9,3$. Aktivitas katalitik terbaik dari katalis CaO/serbuk besi didapat pada komposisi 80:20 yang dikalsinasi pada temperatur 850° C dengan perolehan *yield* biodiesel sebesar 81,32%.

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*. Januari. Banda Aceh. 7:40-50.
- Chouhan, A.P.S. dan Sarma, A.K. 2011. Modern Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15:4378-4399.
- Ezzah-Mahmudah, S., Lokman, I.M., Saiman, M.I. dan Taufiq-Yap, Y.H.

2016. Synthesis and Characterization of $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ Derived from Anadara Granosa for Methyl Ester Production. *Energy Conversion and Management*. 126:124-131.
- Helwani, Z., Aziz, N., Kim, J. dan Othman, M.R. 2016. Improving The Yield of Jatropha Curcas's FAME through Sol-Gel Derived Meso-porous Hydrotalcites. *Renewable Energy*. 86:68-74.
- Hindryawati, N., Maniam, G.P., Karim, Md., R. dan Chong, K.F. 2014. Transesterification of Used Cooking Oil Over Alkali Metal (Li, Na, K) Supported Rice Husk Silica as Potential Solid Base Catalyst. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 1-9.
- Hu, S., Guan, Y. dan Han, H. 2011. Nano-Magnetic Catalyst $\text{KF}/\text{CaO}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ for Biodiesel Production. *Applied Energy*. 88:2685-2690.
- Istadi, I., Prasetyo, S.A. dan Nugroho, T.S. 2015. Characterization of $\text{K}_2\text{O}/\text{CaO}-\text{ZnO}$ Catalyst for Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel. *Procedia Environmental Sciences*. 23:394-399.
- Linder, M., Roßkopf, Chr., Schmidt, M. dan Wörner, A. 2014. Thermochemical Energy Storage in kW-scale Based on $\text{CaO}/\text{Ca}(\text{OH})_2$. *Energy Procedia*. 49:888-897.
- Liu, X., He, H., Wang, Y., Zhu, S. dan Piao, X. 2008. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel Using CaO as a Solid Base Catalyst. *Fuel*. 87:216-221.
- Liu, C., Pengmei, Lv., Yuan, Z., Yan, F. dan Luo, W. 2010. The Nanometer Magnetic Solid Base Catalyst for Production of Biodiesel. *Renewable Energy*. 35:1531-1536.
- Liu, Y., Zhang, P., Fan, M. dan Jiang, P. 2016. Biodiesel Production from Soybean Oil Catalyzed by Magnetic Nanoparticle $\text{MgFe}_2\text{O}_4@/\text{CaO}$. *Fuel*. 164:314-321.
- Kesic, Z., Lukic, I., Zdujic, M., Liu, H. dan Skala, D. 2012. Mechanochemically Synthesized CaO.ZnO Catalyst for Biodiesel Production. *Procedia Engineering*. 42:1169-1178.
- Mahdavi, V. dan Monajemi, A. 2014. Optimization of Operational Conditions for Biodiesel Production from Cottonseed Oil on $\text{CaO}-\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ Solid Base Catalyst. *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineering*. 7:903.
- Marinkovic, D.M., Stankovic, M.V., Velickovic, A.V., Avramovic, J.M., Miladinovic, M.R., Stamenkovic, O.O., Veljkovic, V.B. dan Jovanovic, D.M. 2016. Calcium Oxide as a Promising Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production: Current State and Perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 56:1387-1408.
- Mutreja, V., Singh, S. dan Ali, A., 2014. Potassium Impregnated Nanocrystalline Mixed Oxides of La and Mg as Heterogeneous Catalysts for Transesterification. *Renewable Energy*. 62: 226–233.
- Rahman, M., Helwani, Z. dan Saputra, E. 2016. Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi yang Diimpregnasi dengan CaO sebagai Katalis pada Tahap Transesterifikasi Minyak Sawit *Off Grade* menjadi Biodiesel. *JOM*. Pekanbaru. Program Sarjana Teknik Kimia Universitas Riau.
- Tang, S., Wang, L., Zhang, Y., Li, S., Tian, S. dan Wang, B. 2012. Study on Preparation of $\text{Ca}/\text{Al}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ Magnetic Composite Solid Catalyst and Its Application in Biodiesel Transesterification. *Fuel Processing Technology*. 95:84-89.

- Ulfayana, S. dan Helwani. Z. 2015. Natural Zeolite for Transesterification Step Catalysts in Biodiesel Production from Palm Off Grade. *Abstract Book: Regional Conference on Chemical Engineering*. Desember. Yogyakarta. 7:22.
- Wong, Y.C., Tan, Y.P., Yap, Y.H.T., Ramli, I. dan Tee, H.S. 2015. Biodiesel Production via Transesterification of Palm Oil by Using CaO-CeO₂ Mixed Oxide Catalysts. *Fuel*. 162:288-293.
- Zhang, P., Han, Q., Fan, M. dan Jiang, P. 2014. Magnetic Solid Base Catalyst CaO/CoFe₂O₄ for Biodiesel production: Influence of Basicity and Wettability of the Catalyst in Catalytic Performance. *Applied Surface Science*. 317:1125-1130.
- Zhang, F., Fang, Z. dan Wang, Y.T. 2015. Biodiesel Production Directly from Oils with High Acid Value by Magnetic Na₂SiO₃@Fe₃O₄/C Catalyst and Ultrasound. *Fuel*. 150:370-377.