

Penggunaan Katalis *Fly Ash* yang Diimpregnasi dengan CaO dari $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ pada Tahap Transesterifikasi Minyak Sawit *Off-grade* Menjadi Biodiesel

Putra Zelly Nugraha¹, Zuchra Helwani², Edy Saputra²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, ² Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Riau

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

¹Email : putraznugraha@yahoo.com

ABSTRACT

The synthesis of biodiesel from off-grade palm oil needs the help of CaO/fly ash during the transesterification step. CaO with high basicity and acts as a good catalyst. The use of fly ash as the support of CaO catalyst has several benefits because it is safe for the environment, it adds economical value, and Ca inside the fly ash itself can be utilized. The synthesis of biodiesel in this research aims to observe the effect of reaction temperature, molar ratio of methanol : oil, and the effect of CaO/fly ash concentration towards biodiesel yield. The synthesis of biodiesel is performed through esterification reaction to reduce the amount of free fatty acid content in oil, and is continued by transesterification reaction to produce biodiesel. Data processing in this research is conducted using Response Surface Methodology (RSM) with the help of Design Expert 7.0 software, while experimental design is determined using Central Composite Design (CCD) which consists of 3 variables. The highest biodiesel yield is 61.72% with a reaction temperature of 60°C, methanol : oil ratio of 8:1, and CaO/fly ash catalyst concentration of 7 %wt. Biodiesel characteristics which consist of density, kinematics viscosity, acid value and flash point is consistent with Indonesia's National Standards (SNI) of biodiesel. The variable which has the highest effect towards biodiesel yield is catalyst concentration.

Key words : Biodiesel, Off-grade Palm Oil, Catalyst, Fly Ash, Transesterification.

1. Pendahuluan

Pembuatan biodiesel dari minyak sawit dengan kadar Asam Lemak Bebas (ALB) tinggi, seperti minyak sawit dari sawit *off-grade*, dapat dilakukan dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi. Pada tahap esterifikasi, ALB direaksikan dengan metanol dan katalis asam yang bertujuan untuk menurunkan kadar ALB, dan pada tahap transesterifikasi, trigliserida direaksikan dengan metanol untuk menghasilkan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) atau biodiesel dengan bantuan katalis basa.

Reaksi transesterifikasi biasanya menggunakan katalis homogen seperti natrium dan kalium hidroksida yang mudah larut di dalam alkohol dan sangat aktif (Arzamendi, dkk., 2007). Namun, penggunaan katalis basa homogen untuk

reaksi transesterifikasi dapat bereaksi dengan ALB dan membentuk sabun, sehingga akan menyulitkan pemisahan gliserol dan mengurangi *yield* biodiesel (Yan dkk., 2009).

Penggunaan katalis heterogen padat pada pembuatan biodiesel kini banyak dilakukan untuk mengurangi dampak negatif dari penggunaan katalis homogen. Katalis heterogen yang saat ini telah dikembangkan diantaranya CaO, CaCO_3 dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Kouzu dkk., 2007), $\text{Ca}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_2$ (Liu dkk., 2008), CaO-*Fly ash* (Ho dkk., 2014), Zeolit Alam-KOH (Ulfayana dan Helwani, 2014) dan sebagainya.

CaO merupakan salah satu jenis katalis heterogen basa padat. Katalis ini digunakan karena banyak terdapat di alam, dan juga telah dikembangkan secara

efektif sebagai katalis pada transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester. Selain itu, keuntungan menggunakan CaO antara lain memiliki kebasaaan yang tinggi, kelarutan yang rendah, memudahkan proses pemisahan dengan produk biodiesel serta tidak membutuhkan air pencucian yang berlebihan (Ho dkk., 2014). Namun, ketika CaO direaksikan langsung, ion oksigen (O^{2-}) pada permukaannya mudah membentuk ikatan hidrogen dengan metanol atau gliserol yang akan meningkatkan viskositas gliserol dan membentuk suspensi dengan CaO. Sehingga CaO maupun gliserol akan sulit dipisahkan (Liu dkk., 2009). Solusi yang bisa dilakukan adalah dengan melakukan proses penambahan *support* katalis pada CaO. Jumlah CaO dan *support* yang digunakan telah dipelajari sebelumnya oleh Albuquerque dkk. (2008).

Salah satu penyokong katalis CaO adalah *fly ash*. *Fly ash* merupakan padatan sisa pembakaran pada produksi batubara, minyak dan biomassa (Wang, dkk., 2008). *Fly ash* terdiri dari berbagai komponen logam dan alkali yang terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 sebagai komponen utama serta senyawa lain seperti Na_2O , CaO, MgO, TiO_2 , BaO, K_2O , dan lainnya (Khatiri dan Rani 2008).

Penggunaan *fly ash* sebagai penyokong dimaksudkan untuk mencegah pembentukan ikatan hidrogen yang dapat mengurangi kemurnian gliserol dan menyulitkan proses pemisahan, selain itu juga menambah nilai guna dari *fly ash* yang belum termanfaatkan dengan baik. Pemanfaatan *fly ash* sebagai penyokong katalis heterogen dalam pembuatan biodiesel masih dalam proses pengembangan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade* dengan katalis CaO dalam *fly ash*. Penggunaan katalis heterogen ini diharapkan meningkatkan *yield* biodiesel dan menambah nilai guna *fly ash*.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Pada penelitian ini, bahan yang digunakan yaitu minyak dari sawit *off-grade* yang diperoleh dari hasil ekstraksi, aquades, *fly ash*, $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, metanol p.a, H_2SO_4 pekat, etanol teknis, indikator PP, asam oksalat dan KOH. Proses ekstraksi minyak sawit *off-grade* dilakukan dengan menggunakan alat *spindle press*. Pada tahap persiapan katalis, alat yang digunakan adalah reaktor, *furnace* yang berfungsi untuk proses kalsinasi dan *oven* yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air pada katalis CaO/*fly ash*. Kemudian alat yang digunakan pada proses produksi biodiesel dari minyak sawit *off-grade* yaitu labu leher tiga dengan kapasitas 500 ml sebagai reaktor *batch* yang dilengkapi dengan kondensor dan termometer. Untuk proses pemanasan dan pengadukan menggunakan mantel pemanas dengan *magnetic stirrer*.

2.2 Prosedur Penelitian

Kondisi proses yang dijaga konstan yaitu berat minyak 100 gr dan laju pengadukan 400 rpm, sedangkan untuk reaksi esterifikasi meliputi waktu reaksi 1 jam, konsentrasi katalis 1%-b, rasio molar minyak : metanol = 1:12 dan suhu reaksi 60°C. Pada reaksi transesterifikasi waktu reaksi adalah 3 jam dan laju pengadukan 400 rpm. Kondisi proses yang divariasikan adalah pada reaksi transesterifikasi yang meliputi konsentrasi katalis 2%-b, 4%-b dan 6%-b, rasio molar minyak : metanol 1:6, 1:8 dan 1:10 dan suhu reaksi 50°C, 60°C dan 70°C.

2.2.1 Persiapan Bahan Baku dan Katalis

Bahan baku yang digunakan adalah sawit *off-grade* yaitu sawit lewat matang dan sawit busuk. Untuk mendapatkan minyak dari sawit yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, sawit perlu diekstrak untuk mengambil minyaknya. Metode yang digunakan adalah metode artisanal. Langkah pertama

yang dilakukan dalam proses ekstraksi sawit adalah *pretreatment* berupa pencucian buah agar terbebas dari kotoran berupa pasir dan mahkota buah. Selanjutnya buah dikukus dalam dandang agar buah menjadi lunak selama 120 menit. Setelah proses pengukusan selesai, buah dipres menggunakan *spindle press*. Hasil ekstraksi selanjutnya dimasukkan ke dalam corong pisah hingga terbentuk dua lapisan yaitu minyak dan air (Ulfayana dan Helwani, 2014).

Selanjutnya, pada tahap persiapan katalis, katalis yang digunakan merupakan katalis homogen (H_2SO_4) untuk reaksi esterifikasi, sedangkan untuk reaksi transesterifikasi digunakan katalis heterogen ($CaO/fly\ ash$). $CaO/fly\ ash$ disintesis dengan cara impregnasi CaO ke dalam *fly ash*. Langkah awalnya, *fly ash* dikeringkan pada suhu $105^\circ C$ untuk menghilangkan kadar air. Selanjutnya *fly ash* dan $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ditimbang dengan persentase berat 50%-b *fly ash* dan 50%-b $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$. $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan aquades sebanyak 200 ml. Kondisi proses dilakukan pada temperatur $80^\circ C$ selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kemudian, *fly ash* ditambahkan secara perlahan. Setelah 4 jam, proses dihentikan. Hasil dari pencampuran ini akan terbentuk *slurry*. *Slurry* dikeringkan pada suhu $105^\circ C$ untuk menghilangkan H_2O dan HNO_3 yang masih bersisa. Setelah itu *slurry* ($Ca(OH)_2$ dan *fly ash*) di-furnace selama 2 jam pada suhu $850^\circ C$ (Ho dkk., 2014).

2.2.2 Pembuatan Biodiesel

Pembuatan biodiesel diawali dengan tahap esterifikasi. Proses esterifikasi dilakukan karena minyak sawit *off-grade* memiliki kadar ALB lebih dari 2%. Minyak hasil ekstraksi buah sawit *off-grade* ditimbang sebanyak 100 gram dan dimasukkan ke dalam reaktor esterifikasi. Proses dilakukan pada reaktor berpengaduk secara *batch* dan ditempatkan

di atas pemanas untuk menjaga suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai ($60^\circ C$), pereaksi metanol dengan rasio molar metanol : minyak = 12:1 dan katalis H_2SO_4 ditambahkan dengan 1%-b. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan dengan kecepatan 400 rpm dan reaksi berlangsung selama 1 jam. Kemudian campuran dipisahkan dalam corong pisah. Lapisan atas berupa katalis H_2SO_4 dan metanol sisa dipisahkan dari lapisan bawah berupa minyak yang akan dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi. Sebelum dilanjutkan ke tahap transesterifikasi lapisan bawah ini diperiksa kadar ALB-nya (Budiawan dkk., 2013).

Minyak hasil esterifikasi kemudian dilanjutkan ke tahap transesterifikasi. Proses transesterifikasi dilakukan untuk mendapatkan biodiesel dengan mengkonversi trigliserida yang terdapat di dalam minyak sawit *off-grade*. Lapisan bawah pada pemisahan produk hasil reaksi esterifikasi dimasukkan ke dalam reaktor transesterifikasi sebanyak 100 ml, kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi yang telah ditentukan tercapai ($50-70^\circ C$), tambahkan pereaksi metanol dengan rasio perbandingan metanol : minyak sebesar 6:1, 8:1, 10:1, dan 2, 4, 6 %berat katalis $CaO/fly\ ash$. Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan pada kecepatan pengadukan 400 rpm. Setelah reaksi berlangsung selama 3 jam, kemudian campuran didinginkan dan disaring dengan kertas saring *watchman* secara vakum. Endapan berupa katalis dipisahkan dari filtratnya. Filtrat yang didapat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel (Kusuma dkk., 2011).

2.2.3 Pemisahan dan Pemurnian

Filtrat dimasukkan ke dalam corong pisah dan dibiarkan hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas yang terdiri dari *crude* biodiesel dan metanol sisa reaksi dipisahkan dari lapisan bawah berupa gliserol. *Crude* biodiesel kemudian dimurnikan dengan cara dicuci dengan

aquades hingga air pencuci terlihat jernih. Biodiesel dikeringkan di dalam oven bersuhu 105°C, kemudian ditimbang untuk menentukan perolehan biodiesel yang dihasilkan dan dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya (Budiawan dkk., 2013).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ekstraksi Sawit Off-grade

Ekstraksi sawit *off-grade* dilakukan untuk mendapatkan minyak sawit yang akan digunakan sebagai bahan baku sintesis biodiesel. Berondolan sawit *off-grade* dikukus terlebih dahulu dengan tujuan untuk melunakkan *mesocarp* buah dan deaktivasi enzim lipase sehingga dapat mencegah peningkatan kadar ALB pada minyak yang dihasilkan (Budiawan dkk., 2013).

Minyak sawit *off grade* yang diperoleh dari proses ekstraksi menggunakan *spindle press* adalah

sebanyak 10%. Minyak sawit *off grade* selanjutnya 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* memiliki kadar air dan kadar ALB yang tinggi. Kadar air yang tinggi dalam minyak menyebabkan terjadinya hidrolisis yang merupakan salah satu penyebab terbentuknya ALB dan air juga dapat bereaksi dengan katalis sehingga akan menyebabkan jumlah katalis untuk reaksi berkurang. Kadar ALB yang tinggi membutuhkan proses pendahuluan sebelum dilakukan reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel.

Tabel 1. Karakteristik Minyak Sawit Off-grade

No	Karakteristik	Satuan	CPO Penelitian Ini	Standar CPO SNI 01-2901-2006
1	Warna	-	Jingga kemerahan	Jingga Kemerahan
2	Densitas (40°C)	kg/m ³	892,11	-
3	Viskositas (40°C)	mm ² /s	29,47	-
4	Kadar air	%	3,5	Maks 0,5
5	Kadar asam lemak bebas	%	6,19	Maks 0,5

3.2 Karakteristik Katalis CaO/fly ash

Katalis CaO/fly ash kemudian diuji kebasaan. Berdasarkan indikator Hammett (fenolftalein), terjadi perubahan warna dari tidak berwarna menjadi ungu. Hal ini menandakan bahwa katalis memiliki kebasaan $H_+ > 9,3$ (Helwani dkk., 2016).

3.3 Yield dan Karakteristik Biodiesel

3.3.1 Yield Biodiesel

Pada penelitian ini *yield* yang didapatkan bervariasi, mulai dari 16,12% hingga 61,72%. *Yield* biodiesel terendah diperoleh sebanyak 16,12% pada kondisi proses suhu reaksi 60°C, rasio mol 8 : 1 dan konsentrasi katalis 1%. Sedangkan *yield* biodiesel tertinggi diperoleh

sebanyak 61,72% pada kondisi proses suhu reaksi 60°C, rasio mol 8 : 1 dan konsentrasi katalis 7%. Rasio CaO/fly ash yang digunakan sebesar 50 : 50 dan jumlah CaO dalam katalis sebesar 17,07%. Perbedaan *yield* yang didapatkan terjadi karena perbedaan jumlah CaO dalam katalis. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah CaO dalam katalis CaO/fly ash berperan besar dalam meningkatkan *yield* biodiesel.

3.3.2 Karakteristik Biodiesel

Analisis karakteristik biodiesel dibutuhkan untuk mengetahui apakah 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 (BSN, 2006). Karakteristik biodiesel yang

dihasilkan dituliskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian

No	Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	Standar SNI 04-7182-2006
1	Densitas	kg/m ³	873,67	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	mm ² /s	3,762	2,3 – 6,0
3	Titik nyala	°C	132	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,396	Maks. 0,8
5	Kadar Alkil Ester	%-massa	100	Min. 96,5

Biodiesel dengan densitas yang melebihi standar akan menyebabkan reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan mesin (Budiawan dkk., 2013). Reaksi pembakaran bahan bakar juga dipengaruhi oleh viskositas (kekentalan) pada minyak. Viskositas yang tidak sesuai standar akan mempengaruhi peralatan injeksi pada mesin dan menimbulkan kuatnya tarikan pada pompa injeksi yang juga berpengaruh terhadap tingginya tekanan dan volum injeksi khususnya pada suhu mesin yang rendah (Romero, 2010).

Selanjutnya, titik nyala akan mempengaruhi penyimpanan biodiesel. Titik nyala biodiesel yang didapat yaitu 132°C > 100°C yang menandakan biodiesel aman dalam proses penyimpanan. Sementara itu angka asam biodiesel yang didapatkan adalah 0,396 mg-KOH/g-biodiesel telah berada di bawah standar yaitu maksimal 0,8 mg-KOH/g-biodiesel, menandakan biodiesel tersebut tidak bersifat korosif sehingga tidak akan menyebabkan kerusakan pada injektor mesin (Budiawan dkk., 2013).

3.4 Rancangan dan Analisis Model Yield Biodiesel

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh variasi kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Data hasil percobaan dianalisis dengan rancangan percobaan (*design experiment*) metode statistik *Central Composite Design* (CCD) dan diolah menggunakan program *Design Expert 7.0*. Program akan

mengeluarkan model dan grafik yang menunjukkan pengaruh variasi kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Pengujian model dilakukan dengan *coded variable* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien – koefisien model yaitu temperatur reaksi, rasio mol dan konsentrasi katalis terhadap respon berupa *yield* biodiesel.

Metode *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan metode yang digunakan untuk melakukan proses optimasi. Model yang sering digunakan untuk RSM adalah model polynomial orde 1 dan orde 2. Pada model orde I, perlu dilakukan uji kecocokan model untuk melihat tepat atau tidaknya dugaan model yang dilakukan. Apabila model tidak linier atau terdapat pola lengkung (*curvature*), maka model orde 1 tidak cocok digunakan dan digunakan model orde 2 (Montgomery, 2005).

Data *yield* biodiesel selanjutnya diolah dengan menggunakan program *Design Expert 7.0* sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti ditampilkan persamaan 4.1.

$$Y = 21,14 + 3,36 X_1 + 3,44 X_2 + 11,50 X_3 - 3,29 X_1 X_2 + 3,54 X_1 X_3 - 3,11 X_2 X_3 + 8,18 X_1^2 + 5,19 X_2^2 + 6,55 X_3^2 \dots (1)$$

Yang mana, Y = *Yield* biodiesel (%)

X₁ = Temperatur reaksi (°C)

X₂ = Rasio mol (mol)

X₃ = Konsentrasi katalis (%-b)

3.5 Pengaruh Kondisi Proses dan Interaksinya terhadap Yield Biodiesel

3.5.1 Pengaruh Kondisi Proses

Kondisi proses pada pembuatan biodiesel antara lain suhu reaksi (X_1), rasio mol metanol : minyak (X_2), dan konsentrasi katalis CaO/fly ash (X_3). Dari hasil pengujian *P-value*, semua kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel. Namun yang paling memberikan pengaruh adalah konsentrasi katalis CaO/fly ash (X_3). Pengaruh suhu reaksi (X_1), rasio mol metanol : minyak (X_2), dan konsentrasi katalis CaO/fly ash (X_3) ditampilkan pada Gambar 4.5.

Konsentrasi katalis CaO/fly ash dipengaruhi oleh komposisi kimianya. Komposisi CaO dan Ca(OH)_2 berperan penting sebagai katalis pada proses transesterifikasi. Semakin tinggi konsentrasi katalis CaO/fly ash akan meningkatkan konsentrasi CaO dan Ca(OH)_2 sehingga *yield* biodiesel juga akan semakin meningkat. Namun peningkatan konsentrasi katalis akan meningkatkan pengaruh perpindahan massa (Liu dkk., 2008). Pada reaksi dengan viskositas yang tinggi akan menghasilkan difusi massa yang rendah antara metanol-minyak-katalis heterogen (Kotwal dkk., 2009).

Reaksi transesterifikasi dapat berlangsung pada rentang suhu 45-70 °C. Semakin tinggi suhu reaksi akan meningkatkan *yield* biodiesel yang didapatkan. Suhu reaksi yang lebih tinggi dapat menurunkan viskositas minyak dan mengakibatkan laju reaksi meningkat serta mempersingkat waktu reaksi. Pada reaksi dengan suhu reaksi tepat atau sedikit di atas titik didih metanol ($\pm 69^\circ\text{C}$) akan meningkatkan tumbukan antara partikel metanol dan minyak. Selain itu penggunaan sistem refluks dan reaksi antara metanol dan Ca pada katalis akan mengakibatkan terjadinya emulsi sehingga metanol tidak terlalu banyak menguap selama proses transesterifikasi

berlangsung. Namun, Leung dan Guo (2006), dan Eevera, dkk. (2009) menyatakan bahwa ketika suhu reaksi meningkat melebihi suhu optimal, hasil dari produk biodiesel menurun karena suhu reaksi yang lebih tinggi mempercepat reaksi saponifikasi dari trigliserida.

Rasio mol metanol : minyak berpengaruh terhadap *yield* biodiesel. Pada stoikiometri reaksi transesterifikasi, satu mol minyak membutuhkan tiga mol alkohol untuk memproduksi tiga mol metil ester dan satu mol gliserol. Penambahan mol metanol berlebih bertujuan agar reaksi bergerak kearah produk karena reaksi yang terjadi merupakan reaksi kesetimbangan. Namun peningkatan rasio mol metanol : minyak tidak terlalu berpengaruh terhadap *yield* biodiesel. Hal ini dikarenakan semakin tinggi rasio mol metanol : minyak maka akan terbentuk emulsi. Peningkatan konsentrasi metanol akan menurunkan *yield* dikarenakan terjadinya peningkatan kelarutan metanol-gliserol yang akan mengganggu pemisahan gliserol (Ho dkk., 2014).

3.5.2 Pengaruh Interaksi Kondisi Proses terhadap Yield Biodiesel

Berdasarkan pengujian *P-value* tidak semua interaksi kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel. Interaksi antara temperatur dan rasio mol metanol : minyak memberikan pengaruh paling besar dibandingkan dengan interaksi lainnya.

Yield biodiesel tertinggi didapatkan pada kondisi suhu 60°C, rasio mol metanol : minyak 8 : 1 dan penambahan katalis 7%b. Peningkatan *yield* biodiesel berbanding lurus dengan penambahan jumlah katalis. Pada penggunaan katalis yang sedikit dan suhu reaksi ditingkatkan, tidak terjadi peningkatan nilai *yield* yang dihasilkan. Namun ketika konsentrasi katalis ditambahkan akan berdampak pada peningkatan nilai *yield* yang signifikan. Hal yang sama juga terjadi ketika penambahan katalis dan suhu reaksi yang tinggi, akan berpengaruh signifikan

terhadap peningkatan *yield* yang didapatkan. Suhu tinggi dapat mempengaruhi reaksi dengan meningkatkan energi kinetik selama proses transesterifikasi. Peningkatan suhu memberikan energi untuk molekul bergerak lebih cepat. Oleh karena itu, lebih mudah untuk memecahkan ikatan karbon digliserida dengan bantuan alkohol dan katalis selama proses reaksi (Hayyan, 2010).

Sementara itu, pengaruh nilai *yield* terhadap rasio mol. Jika konsentrasi katalis dinaikkan pada rasio mol metanol : minyak 6:1 maka *yield* biodiesel akan semakin meningkat. *Yield* biodiesel tertinggi didapatkan pada konsentrasi katalis 6%-b sebesar 61%. Sedangkan jika rasio mol metanol : minyak dinaikkan pada konsentrasi katalis 6%-b *yield* biodiesel cenderung menurun menjadi sebesar 55%. Hal ini menandakan bahwa penambahan rasio mol metanol : minyak akan mengakibatkan penurunan nilai *yield*, dikarenakan adanya peningkatan kelarutan metanol-gliserol sehingga akan mempengaruhi pemisahan gliserol (Kotwal dkk., 2009). Selain itu, adanya gugus hidroksil polar pada metanol akan mengakibatkan terjadinya emulsi pada produk (Viriya-empikul dkk., 2012).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan yaitu biodiesel dapat dihasilkan dari minyak sawit *off-grade* yang berkualitas rendah melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dengan menggunakan katalis *CaO/fly ash* pada tahap transesterifikasi. *Yield* biodiesel tertinggi didapat sebanyak 61,72% pada kondisi proses suhu reaksi 60°C, rasio mol metanol : minyak 8:1 dan konsentrasi katalis *CaO/fly ash* 7%. Model persamaan orde dua penelitian ini adalah $Y = 21,14 + 3,36 X_1 + 3,44 X_2 + 11,50 X_3 - 3,29 X_1 X_2 + 3,54 X_1 X_3 - 3,11 X_2 X_3 + 8,18 X_1^2 + 5,19 X_2^2 + 6,55 X_3^2$. Kondisi operasi yang paling memberikan pengaruh signifikan

terhadap *yield* biodiesel adalah konsentrasi katalis. Peningkatan konsentrasi katalis akan meningkatkan *yield* biodiesel. Selain itu, katalis *CaO/fly ash* memiliki kebiasaan $\geq 9,3$.

Daftar Pustaka

- Albuquerque, M.C.G., Jiménez-Urbistondo, I., Santamaría-González, J., Mérida-Robles, J.M., Moreno-Tost, R., dan Rodríguez-Castellón, E. 2008. Cao Supported on Mesoporous Silicas as Basic Catalysts for Transesterification Reactions. *Applied Catalysis A:General*. 334 : 35–43.
- Arzamendi, G., Campo, I., Arguinarena, E., Sanchez, M., Montes, M., dan Gandia, L.M. 2007. Synthesis of Biodiesel with Heterogenous NaOH/Alumina Catalysts: Comparison With Homogenous NaOH. *Chemical Engineering Journals*. 134 : 123-130.
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia : Biodiesel. SNI 04-7182-2006.
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia : Minyak Kelapa Sawit Mentah. SNI 01-2901-2006.
- Budiawan, R.Zulfansyah, W. Fatra dan Z. Helwani. 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.
- Guo, F. dan Z. Fang. 2011. Biodiesel Production with Solid Catalysts, Biodiesel – Feed Stocks and Processing Technologies, Margareta Stoytcheva (Ed.), ISBN : 978-953-307-713-0, InTech. [http : //www.intechopen.com/ books](http://www.intechopen.com/books). 3 Mei 2015 (11:55).
- Hayyan, A., Alam, M.Z., Mirghani, M.E.S., Kabbashi, N.A., Hakimi, N.I.N.M., Siran, Y.M., dan Tahiruddin, S. 2010. Sludge Palm Oil as A Renewable Raw Material

- For Biodiesel Production By Two Step Processes. *Bioresource Technology*. 101 : 7804 – 7811.
- Khatri, C., dan Rani, A. 2008. Synthesis of Nano-Crystalline Solid Acid Catalyst from Fly Ash And its Catalytic Performance. *Fuel*. 87 : 2886-2892.
- Kotwal, M.S., Niphadkar, P.S., Deshpande, S.S., Bokade, V.V., dan Joshi, P.N. 2009. Transesterification of Sunflower Oil Catalysed by Flyash-Based Solid Catalysts. *Fuel*. 88 : 8-1773
- Kouzu, M., T. Kasuno, M. Tajika, Y. Sugimoto, S. Yamanaka dan J. Hidaka. 2007. Calcium Oxide as Solid Base Catalyst for Transesterification of Soybean Oil and its Application to Biodiesel Production. *Fuel*. 87:2798 -2806.
- Kusuma, R.I., J.P. Hadinoto, A. Ayucitra dan S. Ismadji. 2011. Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Katalis Murah dalam Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Liu, C., L.V., Pengmei. Yuan, Z., F. Yan dan W. Luo. 2009. The Nanometer Magnetic Solid Base Catalyst for Production of Biodiesel. *Renewable Energy*. 15 : 1531-1536.
- Leung, D.Y.C., dan Guo, Y. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. *Fuel Process Technology*. 87 : 883–90.
- Liu, C., Pengmei, L.V., Yuan, Z., Yan, F., dan Luo, W. 2009. The Nanometer Magnetic Solid Base Catalyst for Production of Biodiesel. *Renewable Energy*. 15 : 1531-1536.
- Liu, X.J., He, H.Y., Wang, Y., dan Zhu, S. 2008a. Transesterification of Soybean Oil with Methanol to Biodiesel Using Calcium Oxide as A Solid Base Catalyst. *Fuel*. 87 : 216-221.
- Montgomery, D.C., 2005. Design and Analysis of Experiments, 6th Edition. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Romero, R., S.L Martinez dan R. Natividad. 2010. Biodiesel Production by Using Heterogenous Catalysts. *Centro Conjunto de Investigacion en Quimica Sustentable UAEM-UNAM*. Mexico.
- Ulfayana, S. dan Helwani, Z. 2014. Natural Zeolite for Transesterification Step Catalysts in Biodiesel Production from Palm Off Grade. *Regional Conference on Chemical Engineering*. Yogyakarta. 7 : 22.