



## Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit *Off-Grade* Menggunakan Katalis CaO Melalui Proses Dua Tahap

### Biodiesel Production from Off-Grade Palm Oil Using CaO Catalyst Through Two-Stage Process

Febrina Dwi Putri, Zuchra Helwani\*, Drastinawati

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293  
\*E-mail: [zuchrahelwani@yahoo.com](mailto:zuchrahelwani@yahoo.com)

#### Abstrak

Biodiesel merupakan sumber bahan bakar alternatif yang bisa dihasilkan dari minyak nabati melalui transesterifikasi dengan metanol. Sawit *Off-grade* merupakan salah satu sumber minyak nabati yang mempunyai potensi untuk digunakan sebagai bahan dasar produksi biodiesel. Reaksi transesterifikasi dilangsungkan dengan bantuan katalis CaO dari cangkang telur yang dikalsinasi pada suhu 900°C selama 2 jam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memproduksi biodiesel dari minyak sawit *off-grade* melalui reaksi dua-tahap, melihat performa katalis CaO terhadap reaksi transesterifikasi, serta mempelajari pengaruh temperatur reaksi, rasio mol minyak:metanol dan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel pada reaksi transesterifikasi. Esterifikasi dilakukan pada suhu 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:12 menggunakan 1%wt katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Asam lemak bebas (ALB) tereduksi dari 16,18% menjadi 0,6%. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan variasi perbandingan mol minyak:metanol 1:7, 1:9, 1:11, konsentrasi katalis 2%wt, 4%wt, 6%wt, serta suhu reaksi pada 50°C, 60°C, 70°C selama 2 jam. Data yang diperoleh diproses dengan menggunakan *response surface methodology* (RSM), sedangkan jumlah eksperimen ditentukan dengan *central composite design* (CCD). *Yield* yang diperoleh pada penelitian ini yaitu sebanyak 62,30%-87,41%. *Yield* optimum dihasilkan pada reaksi dengan suhu 70°C menggunakan minyak:metanol dengan perbandingan 1:11 dan katalis CaO 2%wt. Kondisi proses yang berpengaruh terhadap *yield* biodiesel adalah suhu reaksi, perbandingan mol minyak:metanol, serta interaksi antara suhu dengan perbandingan mol minyak:metanol. Akan tetapi tidak ditemukan adanya pengaruh signifikan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel.

Kata kunci: biodiesel, CaO, minyak sawit *off-grade*, rsm, transesterifikasi

#### Abstract

Biodiesel is an alternative fuel which can be generated from transesterification of vegetable oil with methanol. Off-grade palm is one of vegetable oil sources which can potentially be used as a raw material in biodiesel production. Transesterification was conducted by using CaO catalyst produced from eggshell calcined at a temperature of 900°C for 2 hours. This research was aimed to produce biodiesel from off-grade palm by means of two-stage reaction, to observe the performance of CaO catalyst from calcined eggshell on the transesterification reaction, and to determine the effect of reaction temperature, mole ratio of oil:methanol, and catalyst concentration on the yield of biodiesel. Esterification was carried out at a temperature of 60°C with mole ratio of oil:methanol 1:12 and 1%wt of catalyst H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Free fatty acid (FFA) managed to be diminished from 16.18% to 0.6%. Transesterification was run for 2 hours with variations of oil:methanol mole ratio of 1:7, 1:9, 1:11, CaO catalyst concentrations of 2%wt, 4%wt, 6%wt, at reaction temperatures of 50°C, 60°C, 70°C. Processing of the data was done by response surface methodology (RSM) method, while the number of experiments was determined by central composite design (CCD). The resulted yield in this study were 62.30%-87.41%. Optimum yield was achieved at reaction with a temperature of 70°C, oil:methanol ratio of 1:11 and catalyst CaO 2%wt. Operational conditions which caused significant effects on the biodiesel yield were temperature, mole ratio of oil:methanol, and the interaction between temperature and mole ratio of oil:methanol. However, the concentration of CaO catalyst did not show a significant influence on the yield.

Keywords: biodiesel, CaO, off-grade palm oil, rsm, transesterification



## 1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang berasal dari minyak nabati dan lemak hewani. Biodiesel bersifat ramah lingkungan karena mudah terurai (*biodegradable*), tidak beracun (*non-toxic*), dan menghasilkan gas buang berbahaya yang lebih sedikit dibandingkan diesel seperti sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), karbon monoksida (CO), karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), hidrokarbon yang tidak terbakar, dan partikel karbon lainnya. Keuntungan biodiesel lainnya yaitu memiliki angka setana (*cetane number*) dan titik nyala (*flash point*) yang tinggi sehingga biodiesel mudah penanganannya, serta memiliki sifat pelumasan yang baik sehingga dapat memperpanjang umur mesin. Biodiesel dapat digunakan langsung tanpa perlu memodifikasi mesin yang ada (Boey dkk., 2011; Helwani dkk., 2009).

Peluang Indonesia untuk menjadi penghasil biodiesel berbahan baku minyak sawit sangat besar. Indonesia merupakan negara penghasil minyak sawit terbesar di dunia. (Indonesian palm oil association, 2013). Pembuatan biodiesel dari minyak sawit dirasa masih mahal. Sekitar 60-70% biaya produksi biodiesel berasal dari pembelian bahan baku sehingga perlu ditemukan bahan baku yang relatif lebih murah (Hayyan dkk., 2011; Helwani dkk., 2009). Penggunaan minyak sawit *off-grade* dapat mengurangi biaya produksi biodiesel sampai 30-40% (Arifin, 2009). Minyak sawit *off-grade* adalah minyak sawit yang memiliki bilangan asam lebih tinggi dari 5 %.

Pembuatan biodiesel selama ini lebih banyak menggunakan katalis homogen, seperti asam ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan basa (larutan NaOH atau KOH). Namun, penggunaan katalis tersebut memiliki kelemahan yaitu pemisahan katalis dari produknya cukup rumit. Selain itu, katalis homogen dapat bereaksi dengan asam lemak bebas (ALB) membentuk sabun sehingga akan mempersulit pemurnian, menurunkan *yield* biodiesel serta memperbanyak konsumsi katalis dalam reaksi metanolisis (Padil dkk., 2010). Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan katalis heterogen seperti CaO untuk reaksi transesterifikasi dalam menghasilkan biodiesel. Penggunaan CaO sebagai katalis sangat menguntungkan karena ketersediaannya yang sangat melimpah. Katalis CaO dapat menurunkan harga produksi dan proses pemisahannya sangat mudah sehingga hasil ester dan gliserol yang didapat memiliki kualitas tinggi

(Awaluddin dkk., 2009). Bahan baku pembuatan CaO juga sangat mudah didapat. Katalis CaO dapat dibuat melalui proses kalsinasi  $\text{CaCO}_3$ . Salah satu sumber  $\text{CaCO}_3$  yang mudah diperoleh adalah dari kulit telur yang banyak dihasilkan dari limbah pengolahan makanan. Komposisi kimia (per berat) dari kulit telur telah dilaporkan sebagai berikut: kalsium karbonat (94%), magnesium karbonat (1%), kalsium fosfat (1%) dan bahan organik lainnya (4%). Kadar  $\text{CaCO}_3$  yang tinggi dan terdapat dalam jumlah yang melimpah, sehingga dimungkinkan untuk membuat katalis heterogen aktif dari kulit telur (Wei dkk., 2009). Meskipun kulit telur merupakan bahan baku yang sangat potensial untuk menghasilkan katalis basa heterogen dalam pembuatan biodiesel, informasi mengenai cara pembuatan katalis kulit telur tersebut, karakteristik fisik dan kimianya, serta kinerjanya dalam pembuatan biodiesel masih sangat terbatas. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian penggunaan katalis heterogen CaO yang berasal dari kulit telur pada reaksi transesterifikasi sawit *off-grade* menjadi biodiesel.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Bahan dan Alat

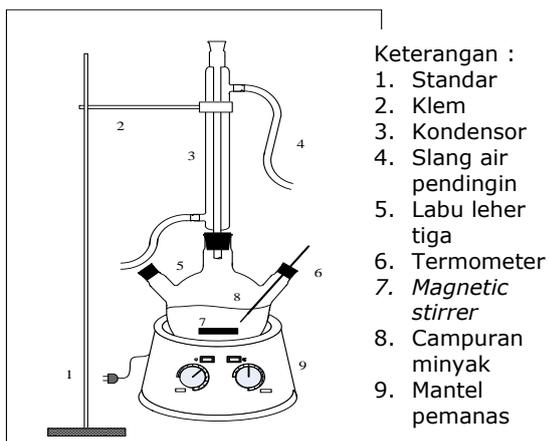
Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah sawit *off-grade* yaitu sawit lewat matang dan busuk. Proses ekstraksi minyak sawit *off grade* dilakukan dengan menggunakan alat *spindle hydraulic press*. Sawit *off-grade* terlebih dahulu dicuci agar terbebas dari kotoran berupa pasir dan mahkota buah. Selanjutnya buah sebanyak 3 kg dikukus selama 120 menit. Setelah proses pengukusan selesai, buah di *press* menggunakan *spindle hydraulic press* dengan tekanan pengepress 30 bar. Hasil ekstraksi selanjutnya dimasukkan ke dalam corong pisah hingga terbentuk dua lapisan yaitu minyak dan air. Kemudian dianalisis untuk mengetahui kadar ALB dan kadar airnya (Nugroho, 2013).

### 2.2. Proses Pembuatan Biodiesel dengan Reaksi Dua Tahap

Minyak sawit *off-grade* dan metanol direaksikan dengan bantuan katalis asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) sebagai katalis asam pada reaksi esterifikasi dan kalsium oksida (CaO) dari kalsinasi kulit telur sebagai katalis basa pada reaksi transesterifikasi. Rangkaian alat reaktor ditampilkan pada Gambar 1.

a. Esterifikasi

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 temperatur reaksi. Setelah temperatur reaksi 60°C, tambahkan pereaksi metanol dengan perbandingan mol minyak:metanol ialah 1:12 dan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 1%-b. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan dan di reaksikan hingga kadar ALB lebih kecil dari 2% (Budiawan dkk., 2013).



**Gambar 1.** Rangkaian Alat Penelitian (Budiawan dkk., 2013)

b. Pemisahan produk hasil esterifikasi

Filtrat hasil esterifikasi dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan selama 1 jam. Setelah 1 jam akan terbentuk dua lapisan yaitu lapisan atas berupa campuran H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan metanol sisa reaksi dan lapisan bawah berupa campuran metil ester dengan trigliserida. Kemudian dipisahkan dan lapisan bawah dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi. Sebelum dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi, lapisan bawah terlebih dahulu dianalisa kandungan asam lemak bebasnya (Budiawan dkk., 2013).

c. Transesterifikasi

Lapisan bawah hasil esterifikasi dengan kadar ALB lebih kecil 2% dimasukkan ke dalam reaktor transesterifikasi dan dipanaskan sampai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai, ditambahkan campuran metanol dan katalis CaO sesuai dengan variabel penelitian. Endapan berupa katalis dipisahkan dari filtratnya. Filtrat yang didapat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel (Awaluddin dkk., 2009).

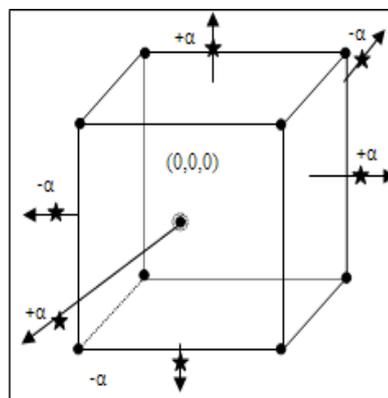
d. Pemisahan dan pemurnian biodiesel

Filtrat dipisahkan dengan corong pisah 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 jernih. Biodiesel dikeringkan di dalam oven pada suhu 105°C selama 60 menit, kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya (Budiawan dkk., 2013). Selanjutnya biodiesel ditimbang untuk menentukan *yield* biodiesel dan dihitung dengan persamaan 1 (Hayyan dkk., 2011).

$$Yield = \frac{\text{Berat biodiesel}}{\text{Berat bahan baku}} \times 100\% \quad (1)$$

**2.5. Rancangan Penelitian dan Analisa Data**

Pada proses pembuatan biodiesel dalam penelitian ini terdapat beberapa kondisi proses yang dijaga konstan dan kondisi proses yang berubah untuk mempelajari variasinya. Kondisi proses yang dijaga konstan yaitu berat minyak 100 gr dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kondisi proses reaksi esterifikasi meliputi waktu reaksi 1 jam, konsentrasi katalis 1%-b, perbandingan mol minyak:metanol 1:12 dan temperatur reaksi 60°C. Pada reaksi transesterifikasi waktu reaksi adalah 2 jam. Kondisi proses yang divariasikan adalah pada reaksi transesterifikasi yang meliputi konsentrasi katalis 2%-b, 4%-b, 6%-b, perbandingan mol minyak:metanol 1:7, 1:9, 1:11 dan temperatur reaksi 50°C, 60°C, dan 70°C.



**Gambar 2.** Sebaran Tempuhan Rancangan Percobaan (Montgomery, 1991).

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan *response surface methodology* (RSM). Jumlah tempuhan percobaan ditentukan dengan *central composite design* (CCD) yang terdiri dari *factorial design*, *star point* dan

central point. Factorial design ( $n_f$ ) didapat dengan persamaan  $2^k$  faktorial, k merupakan jumlah variabel berubah. Pada penelitian ini terdapat tiga variabel berubah yaitu temperatur reaksi ( $\xi_1$ ), perbandingan mol minyak:metanol ( $\xi_2$ ) dan konsentrasi katalis CaO ( $\xi_3$ ), sehingga didapatkan  $n_f$  berjumlah delapan titik. Titik sebaran tempuhan rancangan percobaan CCD ditampilkan pada Gambar 2.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Kadar Asam Lemak Bebas

Sawit *off-grade* diekstrak menggunakan *spindle hydraulic press* dan diperoleh 300 – 400 g minyak dari setiap ekstraksi. Hasil penentuan kadar ALB dan kadar air pada minyak sawit *off-grade* masing-masing adalah 16,18 dan 9,35 %. Minyak sawit *off-grade* memiliki kandungan ALB yang cukup tinggi yaitu sebesar 16,18%. Bahan baku dengan kandungan ALB yang tinggi tidak mudah terkonversi dengan reaksi transesterifikasi karena akan terjadi reaksi antara katalis basa dengan ALB membentuk sabun. Sabun yang terbentuk akan mempersulit proses pemisahan produk (Kouzu dkk., 2008). Awaluddin dkk., (2009) mengatakan bahwa kandungan air merupakan faktor yang lebih dominan bila dibandingkan dengan kandungan ALB minyak, karena air dapat mengakibatkan terjadinya hidrolisis dari minyak dan biodiesel menjadi ALB.

#### 3.2. Konversi ALB pada Reaksi Esterifikasi

Minyak sawit *off-grade* memiliki kadar ALB yang cukup besar yaitu sebesar 16,18%. Oleh karena itu, diperlukan proses pendahuluan berupa reaksi esterifikasi untuk menurunkan kadar ALB. Reaksi esterifikasi pada suhu 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:12 dan dipercepat dengan 1%-b katalis  $H_2SO_4$  dapat menurunkan kadar ALB pada minyak sawit *off-grade* menjadi 0,6%. Sehingga 96,29% ALB pada minyak sawit *off-grade* telah terkonversi menjadi metil ester. Hasil ini lebih besar dari penelitian yang dilakukan (Budiawan dkk., 2013) yang hanya dapat mengkonversi 88% ALB pada minyak sawit *off-grade* menjadi metil ester pada suhu 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:12 dan 1%-b katalis  $H_2SO_4$ .

#### 3.3. Yield Biodiesel

*Yield* yang dihasilkan berkisar antara 62,30% sampai 87,41%. *Yield* terbesar diperoleh pada temperatur 70°C dengan perbandingan mol

minyak:metanol 1:11 dan berat katalis 2%-b. Perolehan ini lebih kecil dibandingkan dengan biodiesel dari *soybean oil* pada temperatur 65°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:9 dan 3%-b katalis CaO yang berasal dari kulit telur yaitu sebesar 95% (Wei dkk., 2009). Hal ini terjadi karena sawit *off-grade* yang digunakan masih memiliki ALB sebesar 0,6% sedangkan kadar ALB *soybean oil* sebesar lebih kecil dari 0,1%. Menurut (Kouzu dkk., 2008) penggunaan CaO sebagai katalis basa padat pada reaksi transesterifikasi dengan bahan baku yang memiliki kadar ALB tinggi menyebabkan terjadinya reaksi antara CaO dengan ALB sehingga konversi menjadi metil ester tidak sempurna. Kouzu dkk. (2008) telah membuat biodiesel dari *soybean oil* dan *waste cooking oil* dengan kondisi proses yang sama yaitu pada perbandingan mol minyak:metanol 1:12 dan katalis CaO 0,9%-b selama 1 jam reaksi. *Yield* yang dihasilkan menggunakan *waste cooking oil* dengan kadar ALB 2,6% sebesar 66%, sedangkan menggunakan *soybean oil* dengan kadar ALB lebih kecil dari 0,1% dapat menghasilkan *yield* biodiesel sebesar 93%.

#### 3.4. Karakteristik Biodiesel

Biodiesel dengan densitas 858,12 kg/m<sup>2</sup> dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Biodiesel dengan densitas yang melebihi standar akan menyebabkan reaksi pembakaran tidak sempurna, sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan mesin (Budiawan dkk., 2013). Viskositas kinematik dengan nilai 2,35 mm<sup>2</sup>/detik dapat dikatakan biodiesel ini mampu menghasilkan kinerja injektor mesin diesel yang lebih baik (Padil dkk., 2010).

Bilangan asam dapat digunakan untuk mengetahui tingkat korosifitas biodiesel yang dihasilkan. Semakin kecil bilangan asam, biodiesel memiliki kualitas yang baik karena tingkat korosifitasnya juga akan semakin kecil (Kartika dan Yuyun, 2012). Angka asam yang dimiliki biodiesel yaitu 0,24 mg-KOH/g-biodiesel. Sementara itu, titik nyala biodiesel yang diperoleh sebesar 132°C. Hasil ini telah sesuai dengan standar yaitu lebih besar dari 100°C yang menandakan biodiesel aman dalam proses penyimpanan (Budiawan dkk., 2013). Biodiesel yang dihasilkan memenuhi spesifikasi standar mutu biodiesel Indonesia karena data yang dihasilkan berada pada rentang standar yang ditetapkan.

#### 3.5. Analisis Model Yield Biodiesel

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan RSM, sedangkan jumlah tempuhan

percobaan ditentukan dengan CCD. *Yield* biodiesel hasil penelitian yang disajikan pada **Tabel 1.** Hasil Percobaan pada Variasi Kondisi Proses

Tabel 1, selanjutnya diolah dengan menggunakan program *design expert 8.0.*

Standard Order	Run Order	Natural Variable			Yield (%)	
		$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	Actual	Predicted
1	17	50	7	2	67,62	67,28
2	16	70	7	2	75,80	74,58
3	20	50	11	2	73,79	71,76
4	19	70	11	2	87,41	85,99
5	4	50	7	6	62,30	63,04
6	9	70	7	6	71,26	72,80
7	6	50	11	6	69,12	69,66
8	13	70	11	6	86,70	86,36
9	3	43	9	4	64,64	65,07
10	11	76	9	4	84,71	85,24
11	10	60	5	4	72,64	71,89
12	8	60	12	4	85,35	87,06
13	12	60	9	0,64	66,76	69,52
14	15	60	9	7	68,07	66,27
15	2	60	9	4	78,17	78,18
16	18	60	9	4	80,92	78,18
17	5	60	9	4	76,57	78,18
18	14	60	9	4	75,62	78,18
19	1	60	9	4	79,12	78,18
20	7	60	9	4	78,85	78,18

**Tabel 2** Hasil Pengujian P-value dari Variabel Penelitian

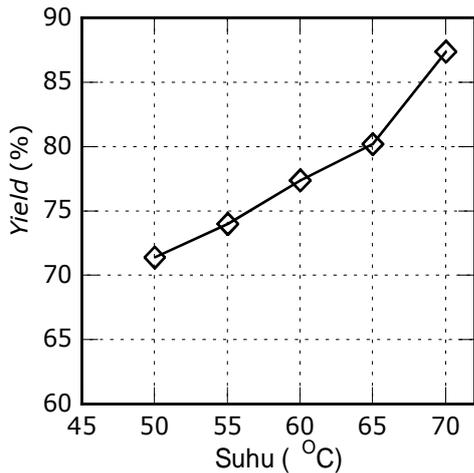
Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat	P-value
Model	1020,59	9	113,40	< 0,0001
X <sub>1</sub>	491,32	1	491,32	<0,0001
X <sub>2</sub>	277,81	1	277,81	<0,0001
X <sub>3</sub>	12,79	1	12,79	0,1214
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	16,47	1	16,47	0,0838
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	3,03	1	3,03	0,4295
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	190,50	1	190,50	<0,0001
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	24,08	1	24,08	0,0426
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	3,03	1	3,03	0,4296
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	2,31	1	2,31	0,4884
Residual	44,66	10	4,47	
total	1065,25	19		

Hasil pengolahan data diperoleh persamaan *polynomial* orde dua seperti ditampilkan pada Persamaan 1.

$$y = 78,18 + 6X_1 + 4,51X_2 - 0,97X_3 - 1,07X_1^2 + 0,46X_2^2 - 3,64X_3^2 + 1,73 X_1X_2 + 0,61X_1X_3 + 0,54X_2X_3 \quad (1)$$

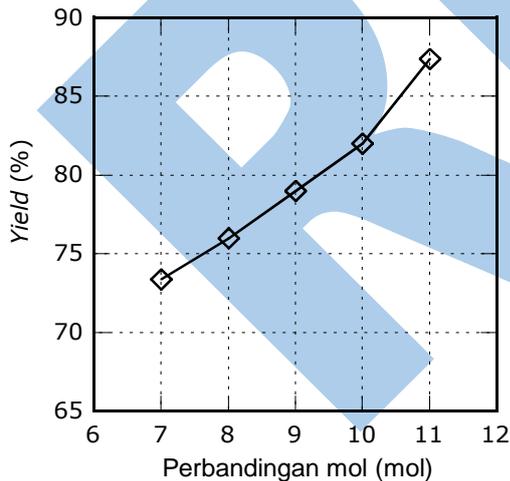
Pengaruh variabel proses terhadap *yield* biodiesel dilihat berdasarkan koefisien pada persamaan 1. Variabel yang memiliki pengaruh besar terhadap *yield* biodiesel adalah temperatur reaksi dan perbandingan mol minyak:metanol, sedangkan konsentrasi katalis hanya memberikan pengaruh yang kecil terhadap *yield* biodiesel. Grafik hubungan antara variabel proses terhadap *yield* biodiesel ditampilkan pada Gambar 3,

Gambar 4, dan Gambar 5. Dapat dilihat bahwa temperatur dan perbandingan mol minyak:metanol berbanding lurus terhadap *yield* biodiesel.

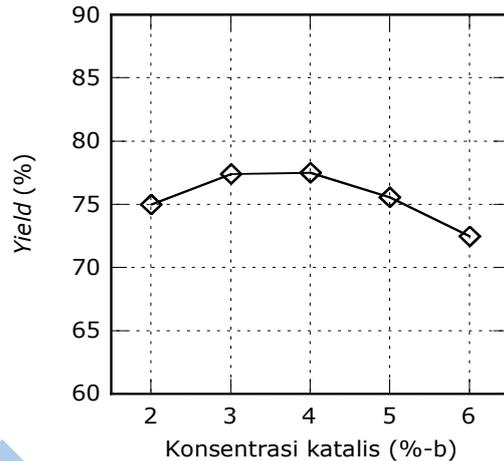


**Gambar 3.** Hubungan suhu reaksi terhadap *yield* biodiesel

*Yield* terbesar diperoleh pada temperatur 70°C (Gambar 3) dengan perbandingan mol minyak: metanol 1:11 (Gambar 4) yaitu sebesar 87,41%. Hasil pengujian *P-value* dari variabel penelitian ditampilkan pada Tabel 2. Huaping dkk. (2006) telah mempelajari pengaruh suhu reaksi dan perbandingan mol minyak:metanol menggunakan katalis CaO super basa terhadap konversi biodiesel dari *jatropha curcas oil* (JCO). Konversi biodiesel terbesar diperoleh pada suhu 70°C dengan perbandingan mol minyak:metanol 1:12 yaitu sebesar 92,6%.



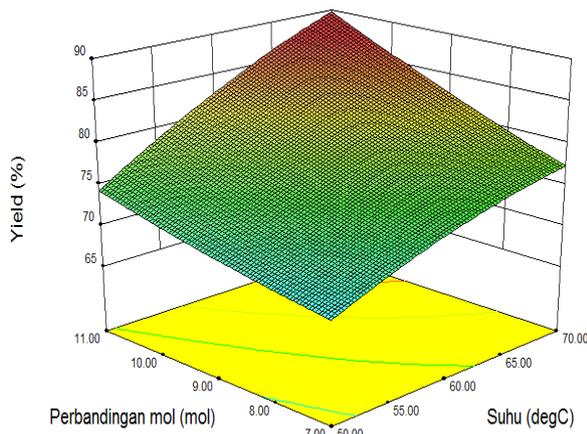
**Gambar 4.** Hubungan perbandingan mol minyak dan metanol terhadap *yield* biodiesel



**Gambar 5.** Hubungan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel

Wei dkk. (2009) telah membuat biodiesel dari *soybean oil* pada temperatur 65°C, perbandingan mol minyak:metanol 1:9 dengan 3%-b katalis CaO dan diperoleh *yield* biodiesel sebesar 95%. Liu dkk. (2008) mengatakan penggunaan perbandingan mol minyak:metanol dalam jumlah berlebihan agar reaksi kesetimbangan berjalan kearah kanan (produk). Sehingga penggunaan perbandingan mol minyak:metanol dapat meningkatkan *yield* biodiesel. Setelah kesetimbangan tercapai maka penambahan metanol tidak akan meningkatkan *yield* biodiesel yang dihasilkan tetapi meningkatkan biaya produksi. Menurut Huaping dkk. (2006), penggunaan perbandingan mol minyak: metanol dalam jumlah berlebihan tidak menguntungkan karena membutuhkan energi yang lebih besar untuk memurnikan biodiesel dari metanol yang tidak bereaksi.

Pada Gambar 5 memperlihatkan penambahan konsentrasi katalis dapat meningkatkan *yield* biodiesel yang dihasilkan. Namun setelah tercapai kondisi maksimum, *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin menurun. Hal ini terjadi karena biodiesel terserap ke dalam katalis sehingga *yield* biodiesel yang dihasilkan menurun (Huaping dkk., 2006). Wei dkk. (2009) mengatakan *yield* biodiesel meningkat ketika katalis ditambah hingga 3%-b, sedangkan ketika katalis digunakan dalam jumlah yang sedikit (<1%-b) *yield* biodiesel yang dihasilkan tidak besar. Namun penambahan katalis lebih dari 3%-b tidak memberikan peningkatan pada *yield* biodiesel.



**Gambar 6.** Pengaruh Suhu dan perbandingan mol minyak:metanol terhadap *yield* biodiesel

Hasil pengujian *P-value* menunjukkan bahwa interaksi antara temperatur dengan perbandingan mol minyak:metanol ( $X_1X_2$ ) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel. Interaksi antara temperatur dan perbandingan mol minyak:metanol terhadap *yield* biodiesel disajikan pada Gambar 6. Penentuan titik optimum proses dilakukan dengan menentukan titik stationer. Titik optimum diperoleh pada temperatur 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol sebesar 1:9 dimana *yield* biodiesel prediksi sebesar 78% sedangkan *yield* biodiesel hasil penelitian berkisar antara 75,25% - 80,92%. *Yield* biodiesel tertinggi pada penelitian ini diperoleh pada temperatur 70°C dengan perbandingan mol minyak:metanol sebesar 1:11 dan katalis CaO 2%-b yaitu sebesar 87,41%. Namun, untuk memperoleh *yield* biodiesel sekitar 87% berdasarkan *contour plot* seharusnya pada kondisi proses dengan temperatur 60°C dengan perbandingan mol minyak:metanol sebesar 1:12.

#### 4. Kesimpulan

Pembuatan biodiesel dari bahan baku ALB tinggi dapat dilakukan dengan proses dua tahap. Pada penelitian ini, reaksi esterifikasi dapat mengkonversi 96,29% ALB pada sawit *off-grade* menjadi metil ester. *Yield* biodiesel tertinggi diperoleh pada temperatur 70°C dengan rasio molar minyak:metanol 1:11 yaitu sebesar 87,41%. Kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah temperatur reaksi, perbandingan mol minyak:metanol, dan interaksi antara temperatur dengan perbandingan mol minyak:metanol, sedangkan konsentrasi katalis tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

#### Daftar Pustaka

- Arifin, J.K. (2009) Pemanfaatan buah sawit sisa sortiran sebagai sumber bahan baku asam lemak, *Tesis*, Program S2 Teknik Kimia Universitas Sumatra Utara, Medan.
- Awaluddin, A., Saryono, Nelvia, S., dan Wahyuni, W. (2009) Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi biodiesel dari minyak sawit mentah menggunakan katalis padat kalsium karbonat yang dipijarkan, *Jurnal Natur Indonesia*, 11(2), 129-134.
- Boey, P., Maniam, G.P., Hamid, S.A. (2011) Performance of calcium oxide as a heterogeneous catalyst in biodiesel production: A Review, *Chemical Engineering Journal*, 168, 15-22.
- Budiawan, Zulfansyah, R., Fatra, W., dan Helwani, Z. (2013) Off-grade palm oil as a renewable raw material for biodiesel production by two-step processes, *ChESA-7 Conference*, Januari, Banda Aceh, 40 - 50.
- Hayyan, A., Alam, Md. Z., Mirghani, M.E.S., Kabbashi, N.A., Hakimi, N.I.N.M., Siran, Y.M., Tahiruddin, S. (2011) Reduction of high content of free fatty acid in sludge palm oil via acid catalyst for biodiesel production, *Fuel Processing Technology*, 52, 920 - 924.
- Helwani, Z., Othman, M.R., Kim, J., Fernando, W.J.N. (2009) Solid heterogeneous catalyst for transesterification of triglycerides with methanol: A review, *Applied Catalysis A: General*, 363, 1 -10.
- Huaping, Z., Zongbin, W., Yuanxiong, C., Ping, Z., Shije, D., Xiaohua, L., Zongqiang, M. (2006) Preparation of biodiesel catalyzed by solid super base of calciumoxide and its refining process, *Chinese Journal of Catalysis*, 27(5), 391-396.
- Indonesian palm oil association (2013) Indonesian and oil palm plantations amid global environmental issues, GAPKI, Jakarta.
- Kartika, I.A., dan Yuyun P. (2012) Optimasi produksi biodiesel dari biji jarak pagar melalui transesterifikasi *in situ* menggunakan metode respon permukaan, *Agroindustri Indonesia*, 1(2), 68-74.
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Sugimoto, Y., Yamanaka, S., Hidaka, J. (2008)

Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production, *Fuel Processing Technology*, 87, 2798-2806.

Liu, X., Ye, H., Wang, Y., Zhu, S., Piao, X. (2008) Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst, *Fuel*, 87, 216-221.

Montgomery, D.C. (1991) *Design and Analysis of Experiments 3<sup>rd</sup> edition*, John Wiley and Sons Inc, Singapore.

Nugroho, D.A. (2013) Ekstraksi sawit *off-grade* menggunakan metode *artisanal*,

*Skripsi Sarjana*, Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau, Pekanbaru.

Padil, Wahyuningsih, S., Awaluddin, A. (2010) Pembuatan biodiesel dari minyak kelapa melalui reaksi metanolisis menggunakan Katalis CaCO<sub>3</sub> yang dipijarkan, *Jurnal Natur Indonesia*, 13(1), 27-32.

Wei, Z., Xu, C., dan Li, B. (2009) Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production, *Bioresource Technology*, 100, 2883-2885.

RRK