

PEMANFAATAN ZEOLIT ALAM SEBAGAI KATALIS PADA TAHAP TRANSESTERIFIKASI PEMBUATAN BIODIESEL DARI SAWIT OFF GRADE

Sari Ulfayana, Syaiful Bahri, Zuchra Helwani

Laboratorium Perancangan dan Pengendalian Proses

Program Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

E-mail : ulfayana35@yahoo.co.id

ABSTRACT

Indonesia has abundance reserves of natural zeolite and hasn't been used to the fullest purpose. Zeolite has many advantages, such as environmental friendly and economical properties of molecular sieves that could potentially be developed as a catalyst in the production of biodiesel from palm off grade. This study aims to produce biodiesel from low quality raw materials and determine the effectiveness of the process by looking at the effect of process conditions such as reaction temperature, molar ratio and catalyst concentration on the yield of biodiesel. The process of making biodiesel is done with a two-stage reaction that is esterification and transesterification reactions because the raw materials had a high free fatty acid levels. Processing of the data in this study conducted by response surface methodology (RSM) using Design Expert 8.0 program, which is experimental design determined by central composite design (CCD), which consists of three variables. The highest biodiesel obtained as much as 97.79%-wt under the conditions, 60°C reaction temperature, 8:1 molar ratio and 3%-wt catalyst concentration. Characteristics of biodiesel produced will be analyzed, that is density, kinematic viscosity, acid number and flash point, accordance to Indonesian biodiesel standards. Process conditions that give real effect on the yield of biodiesel produced is the reaction temperature and catalyst concentration.

Keywords : *biodiesel, esterification, natural zeolite, palm off grade, transesterification.*

1. Pendahuluan

Peraturan Presiden No.5/2006 tanggal 25 Januari 2006 merupakan salah satu langkah pemerintah dalam penanggulangan krisis BBM. Ditargetkan pada tahun 2025, sumber energi terbarukan harus sudah mencapai lebih dari 5% dari kebutuhan energi nasional [1]. Sumber energi terbarukan yang potensial adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar cair yang mempunyai sifat menyerupai diesel yang berasal

dari minyak fosil dengan hasil pembakaran yang lebih bersih dibandingkan diesel. Biodiesel diperoleh dari sumber energi terbarukan, seperti minyak tumbuhan maupun minyak hewan [2].

Bahan baku biodiesel yang sedang dikembangkan adalah *crude palm oil* (CPO). Indonesia merupakan negara penghasil CPO nomor satu di dunia (50% dari produksi dunia) [3]. Harga CPO saat ini masih tergolong sangat mahal yang menyebabkan 60 –

70% biaya produksi biodiesel berasal dari bahan baku [2,4]. Salah satu bahan baku yang efisien untuk dikembangkan adalah sawit *off grade*. Ketersediaan sawit *off grade* cukup banyak, yaitu 7 – 10% dari sebuah pabrik CPO. Sawit *off grade*, berdasarkan tingkat kematangannya diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu buah muda (mentah), kurang matang, lewat matang, busuk dan abnormal. Pengolahan minyak dari sawit muda dan abnormal akan menghasilkan *yield* CPO yang rendah sedangkan pengolahan minyak dari sawit lewat matang dan busuk akan menghasilkan minyak yang berkadar asam lemak bebas (ALB) >5% [5].

Pembuatan biodiesel dari bahan baku berkadar ALB tinggi membutuhkan proses pendahuluan sebelum dilakukan reaksi transesterifikasi, salah satunya adalah reaksi esterifikasi. Pada reaksi esterifikasi, katalis yang digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4) sedangkan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa (KOH dan NaOH). Dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan katalis homogen adalah menghasilkan limbah beracun dan berbahaya [6]. Katalis homogen ini dapat digantikan dengan katalis heterogen yang lebih ramah lingkungan, stabil pada suhu tinggi, pori yang besar dan murah [7].

Menurut Departemen Pertambangan dan Energi [1995], Indonesia diperkirakan memiliki cadangan zeolit alam sebesar 207 juta ton yang tersebar di pulau Sumatera, Jawa dan Kalimantan. Mengingat jumlah zeolit yang tersedia cukup besar dan belum dimanfaatkan secara maksimal, maka zeolit berpotensi untuk dikembangkan sebagai katalis. Oleh sebab itu pada penelitian ini akan digunakan zeolit alam yang berasal dari daerah

Bandung (Jawa Barat) sebagai katalis pengemban logam pada tahap transesterifikasi pembuatan biodiesel dari sawit *off grade*.

Penggunaan zeolit alam pada reaksi transesterifikasi dengan metode reaksi dua tahap diharapkan dapat meningkatkan *yield* dan membuat proses produksi biodiesel menjadi lebih efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biodiesel dari bahan baku kualitas rendah dengan proses yang efektif, mengetahui efektifitas proses pembuatan biodiesel dengan reaksi dua tahap menggunakan katalis padat zeolit alam pada tahap transesterifikasi dengan mengetahui pengaruh suhu reaksi, rasio molar metanol : minyak dan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu minyak dari sawit *off grade* yang diperoleh dari hasil ekstraksi. Proses ekstraksi minyak sawit *off grade* dilakukan dengan menggunakan alat *spindle hydraulic press*. Minyak hasil ekstraksi dipisahkan terlebih dahulu dari air dengan menggunakan corong pisah. Pada reaksi esterifikasi dan transesterifikasi minyak sawit *off grade* akan direaksikan dengan metanol sehingga menghasilkan biodiesel. Katalis yang digunakan yaitu katalis H_2SO_4 untuk reaksi esterifikasi dan katalis zeolit alam untuk reaksi transesterifikasi.

Kemudian alat yang digunakan pada proses pembuatan 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 Persiapan Bahan Baku dan Katalis

Metode yang digunakan untuk mengekstrak minyak sawit *off grade* adalah metode artisanal. Langkah pertama yang dilakukan pencucian buah agar terbebas dari kotoran, pasir dan mahkota buah. Selanjutnya buah dikukus dalam dandang agar buah lunak, kemudian buah dipres menggunakan *spindle hydraulic press* dengan tekanan tertentu dan dilakukan penambahan air panas selama proses berlangsung. Hasil ekstraksi dimasukkan ke dalam corong pisah hingga terbentuk dua lapisan yaitu minyak dan air. Minyak yang diperoleh dianalisa untuk mengetahui kadar ALB dan kadar airnya [8].

Selanjutnya persiapan katalis heterogen untuk transesterifikasi, yang mana Zeolit alam dimodifikasi dengan proses perendaman dalam larutan kalium hidroksida (KOH) pada konsentrasi tertentu. Proses ini dilakukan dalam labu dengan kondensor *reflux*, termometer dan pengaduk. Proses impregnasi zeolit dengan larutan KOH dilakukan pada suhu 60°C selama 2 jam, kemudian campuran diletakkan dalam oven bersuhu 60°C selama 24 jam. Setelah proses impregnasi selesai, campuran dipisahkan dengan cara penyaringan. Katalis termodifikasi yang tertahan di kertas saring kemudian dikeringkan dalam oven bersuhu 110°C selama 24 jam untuk menghilangkan kadar air. Selanjutnya katalis termodifikasi dikalsinasi pada suhu 450°C selama 4 jam [6]. Katalis yang telah dimodifikasi dikarakterisasi dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD).

2.3 Reaksi Dua Tahap

Minyak sawit *off grade* yang mempunyai kadar ALB lebih dari 2 %

diolah menjadi biodiesel dengan reaksi esterifikasi kemudian dilanjutkan dengan transesterifikasi. 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, pereaksi metanol dan katalis H_2SO_4 ditambahkan secara terukur. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan 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 yang akan dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi [8].

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, kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi yang telah ditentukan tercapai, tambahkan pereaksi metanol dan katalis zeolit. Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan. Setelah reaksi berlangsung selama 2 jam, kemudian campuran didinginkan dan disaring dengan kertas saring *wathman* secara vakum. Endapan berupa katalis dipisahkan dari filtratnya. Filtrat yang didapat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel [6].

2.4 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 [8].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ekstraksi Sawit *Off Grade*

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.

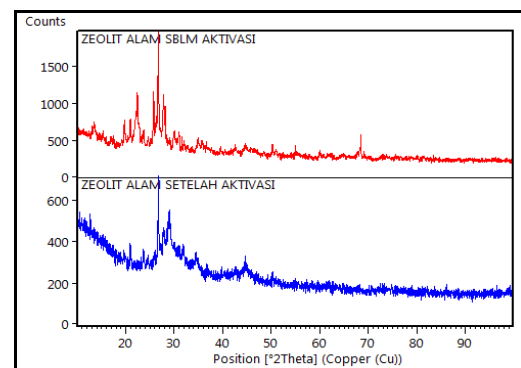
Minyak sawit *off grade* memiliki kadar air dan kadar ALB yang tinggi. Kadar air yang tinggi dalam minyak menyebabkan terjadinya hidrolisis yang merupakan salah satu penyebab terbentuknya ALB dan air juga dapat bereaksi dengan katalis sehingga akan menyebabkan jumlah katalis untuk reaksi berkurang. Kadar ALB yang tinggi membutuhkan proses pendahuluan sebelum dilakukan reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel [9].

Tabel 1. Karakteristik Minyak Sawit *Off Grade*

No	Karakteristik	Satuan	Nilai	Standar CPO SNI 01-2901-2006
1	Warna	-	Jingga kemerahan	
2	Densitas (40°C)	kg/m ³	885	-
3	Viskositas (40°C)	mm ² /s	33,48	-
4	Kadar air	%	3,6	Maks 0,5
5	Kadar asam lemak bebas	%	11,32	Maks 0,5

3.2 Karakteristik Zeolit Alam

Analisis karakteristik zeolit alam dilakukan dengan *X-ray Diffraction* (XRD) yang bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal zeolit yang digunakan. Pola XRD untuk zeolit mentah dan zeolit setelah impregnasi ditampilkan pada Gambar 1. Zeolit alam yang berasal dari Bandung, Jawa Barat yang digunakan sebagai katalis pada tahap transesterifikasi pembuatan biodiesel tergolong jenis klinoptilolit. Hal ini ditunjukkan oleh puncak difraksi yang terbentuk pada posisi 2θ : 13,4°; 19,6°; 22,3°; 23,7°; 26,6°; 27,7°; 28°; 30,9°; 34,8°; 39,5°; 44,6° dan 68,4°.



Gambar 1. Pola XRD zeolit alam sebelum dan sesudah aktivasi

Dari pola yang terbentuk untuk zeolit mentah dan zeolit setelah modifikasi dapat dilihat bahwa pada zeolit modifikasi terbentuk fasa K₂O

pada posisi 2θ : $20,9^\circ$; $23,6^\circ$; $26,7^\circ$; $27,7^\circ$; $28,9^\circ$; $34,5^\circ$ dan $44,6^\circ$. Terbentuknya K_2O merupakan indikasi bahwa KOH yang terimpregnasi pada permukaan matriks zeolit telah termodifikasi melalui proses kalsinasi. K_2O memiliki aktivitas katalitik yang tinggi sehingga dapat menambah luas permukaan spesifik sistem katalis tersebut [6].

3.3 Reaksi Dua Tahap

3.3.1 Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi merupakan proses pendahuluan yang dilakukan untuk menurunkan kadar ALB yang terdapat pada bahan baku minyak sawit *off grade*. Kadar ALB awal minyak adalah 11,32% sedangkan setelah reaksi esterifikasi berlangsung, kadar ALB menjadi 0,989%. Konversi ALB menjadi metil ester adalah 91,26%.

3.3.2 Reaksi Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi merupakan proses utama pembuatan biodiesel. *Yield* biodiesel yang didapatkan dari penelitian ini adalah berkisar antara 73.12% hingga 97.79%. *Yield* biodiesel terendah diperoleh sebanyak 73.12% pada kondisi proses suhu reaksi 60°C , rasio molar 8 : 1 dan konsentrasi katalis 6.36%. Sedangkan *yield* biodiesel tertinggi diperoleh sebanyak 97,79% pada kondisi proses suhu reaksi 60°C , rasio molar 8 : 1 dan konsentrasi katalis 3%.

3.4 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 [10]. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan dituliskan pada Tabel 2.

Biodiesel dengan densitas yang melebihi standar akan menyebabkan reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan mesin [8]. Reaksi pembakaran bahan bakar juga dipengaruhi oleh viskositas (kekentalan). Tingginya viskositas dapat mempengaruhi sistem injektor mesin diesel sehingga menyebabkan terbentuknya deposit dalam mesin [11]. Selanjutnya, titik nyala akan mempengaruhi penyimpanan biodiesel. Titik nyala biodiesel yang didapat yaitu $134^\circ\text{C} > 100^\circ\text{C}$ yang menandakan biodiesel aman dalam proses penyimpanan. Sementara itu angka asam biodiesel yang didapatkan adalah 0,61 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 [8].

Tabel 2. Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian

No	Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	Standar SNI 04-7182-2006
1	Densitas	kg/m^3	856,5	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	mm^2/s	4,81	2,3 – 6,0
3	Titik nyala	$^\circ\text{C}$	134	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,61	Maks. 0,8

3.5 Desain dan Analisis Model *Yield Biodiesel*

Desain penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh variasi kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Data hasil percobaan dianalisis dengan rancangan percobaan (*design experiment*) yang menerapkan metode statistik *Central*

Composite Design (CCD). Kemudian diolah dengan menggunakan program *Design Expert 8.0* sehingga diperoleh model dan grafik yang menunjukkan pengaruh variasi kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Rancangan percobaan dengan menggunakan kode variabel untuk tempuhan model ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Variabel dan kode variabel pada tempuhan model

Perlakuan	Satuan	Level				
		- α	-1	0	1	+ α
Suhu reaksi (X_1)	°C	43,18	50	60	70	76,82
Rasio molar (X_2)	Mol	4,64	6	8	10	11,36
Konsentrasi katalis (X_3)	%-b	0,00	1	3	5	6,36

Kode variabel pada Tabel 3 akan digunakan untuk pengolahan data hasil percobaan seperti ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil percobaan pada variasi kondisi proses

Standar	Run	Natural Variable			Coded Variable			Yield (%)	
		ξ_1	ξ_2	ξ_3	X_1	X_2	X_3	1	2
1	14	50.00	6.00	1.00	-1	-1	-1	91,34	91,24
2	16	70.00	6.00	1.00	1	-1	-1	93,08	93,89
3	6	50.00	10.00	1.00	-1	1	-1	91,42	91,77
4	3	70.00	10.00	1.00	1	1	-1	83,67	83,99
5	12	50.00	6.00	5.00	-1	-1	1	80,66	81,03
6	4	70.00	6.00	5.00	1	-1	1	76,67	77,21
7	9	50.00	10.00	5.00	-1	1	1	79,53	78,78
8	11	70.00	10.00	5.00	1	1	1	87,65	87,21
9	17	43.18	8.00	3.00	-1.68	0	0	87,70	87,23
10	20	76.82	8.00	3.00	1.68	0	0	75,00	76,04
11	8	60.00	4.64	3.00	0	-1.68	0	89,38	88,87
12	13	60.00	11.36	3.00	0	1.68	0	91,24	91,10
13	15	60.00	8.00	0.00	0	0	-1.68	90,64	90,88
14	7	60.00	8.00	6.36	0	0	1.68	73,12	73,88
15	2	60.00	8.00	3.00	0	0	0	97,79	97,20
16	5	60.00	8.00	3.00	0	0	0	94,67	95,18
17	1	60.00	8.00	3.00	0	0	0	95,15	95,88
18	19	60.00	8.00	3.00	0	0	0	96,14	96,76
19	18	60.00	8.00	3.00	0	0	0	95,60	95,89
20	10	60.00	8.00	3.00	0	0	0	96,45	96,88

Data *yield* biodiesel pada Tabel 4 seterusnya diolah dengan menggunakan program *Design Expert 8.0* sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti ditampilkan Persamaan 1.

$$y = 96,08 - 1,56 X_1 + 0,21 X_2 - 4,75 X_3 + 0,28 X_1 X_2 + 1,24 X_1 X_3 + 2,27 X_2 X_3 - 4,82 X_1^2 - 1,76 X_2^2 - 4,60 X_3^2 \dots\dots\dots (1)$$

Yang mana, y = *Yield* biodiesel (%)
 X_1 = Suhu reaksi (°C)
 X_2 = Rasio molar (mol)
 X_3 = Konsentrasi katalis (%-b)

Dari pengolahan data dengan menggunakan program *Design Expert 8.0*, analisis varian dapat diringkas dan ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Analisis varian untuk pengaruh variabel terhadap *yield* biodiesel

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat	F_{Hitung}	P-value Prob>F	F_{Tabel} ($F_{0,05.9.30}$)
Model	1979,62	9	219,96	28,12	< 0,0001	2,21
A	66,37	1	66,37	8,49	0,0067	
B	1,22	1	1,22	0,16	0,6954	
C	616,03	1	616,03	78,76	< 0,0001	
AB	1,23	1	1,23	0,16	0,6943	
AC	24,70	1	24,70	3,16	0,0857	
BC	82,36	1	82,36	10,53	0,0029	
A ²	669,95	1	669,95	85,66	< 0,0001	
B ²	89,40	1	89,40	11,43	0,0020	
C ²	608,78	1	608,78	77,84	<0,0001	
Residu	234,64	30	7,82			
<i>Lack of Fit</i>	223,13	5	44,63	97,8	< 0,0001	
<i>Pure Error</i>	11,56	25	0,46			
Total	2214,26	39				

Catatan : Keterangan $F_{0,05.9.30}$

0,05 : nilai probabilitas error ($\alpha = 5\%$)

9 : derajat kebebasan model

30 : derajat kebebasan residu/eror

Selanjutnya Persamaan 1 dilakukan pengujian kecocokan model terhadap respon dari hasil percobaan dengan analisis varian. Hipotesis yang berlaku untuk pengujian adalah sebagai berikut :

H_0 : $X_1 = X_2 \dots = X_k$ tidak terdapat kesesuaian terhadap model

H_1 : Tidak semua X_i terdapat kesesuaian terhadap model

Pernyataan H_0 disebut hipotesis nol dan H_1 merupakan hipotesis alternatif. Hipotesis H_0 dapat diterima apabila F_{hitung} variabel sama atau lebih kecil dari F_{tabel} yang didapat dari tabel statistik distribusi F. Jika F_{tabel} lebih besar dari F_{hitung} maka H_0 ditolak yang menyatakan variabel bebas X memiliki kontribusi signifikan terhadap respon. Pada Tabel 4.5. dapat dilihat bahwa nilai F_0 (F_{hitung}) lebih

besar dibandingkan nilai $F_{0,05,9,30}$ (F_{tabel}). Hal ini berarti hipotesis H_0 dapat ditolak dan hipotesis H_1 diterima yang menunjukkan kesesuaian model yang diperoleh terhadap variabel bebas berupa suhu reaksi (X_1), rasio molar (X_2) dan konsentrasi katalis (X_3). Kemudian dari hasil analisis statistik akan didapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang digunakan untuk mengetahui ketepatan sebuah model regresi dengan Y yang merupakan respon percobaan.

Nilai R^2 dapat dihitung dengan Persamaan 2 [8].

$$R^2 = \frac{\text{Jumlah kuadrat model}}{\text{Jumlah kuadrat total}} = \frac{SS_R}{SS_T} \quad (2)$$

Nilai R^2 yang didapat dari model regresi pada penelitian ini adalah 0,8940 yang mendekati nilai 1, sehingga model regresi memiliki kecocokan dengan respon percobaan. Setelah didapatkan kecocokan antar model dengan respon, dilanjutkan dengan menentukan variabel yang berpengaruh dan yang tidak berpengaruh terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan. Hal ini dapat ditentukan dengan uji *P-value*.

Pada uji *P-value*, H_0 dapat diterima apabila nilai *P-value* lebih besar dari nilai probabilitas eror ($\alpha = 5\%$) [8]. Hasil pengujian *P-value* pada penelitian ini yaitu nilai variabel yang besar dari nilai α adalah X_2 , X_1X_2 dan X_1X_3 , sedangkan nilai variabel yang lebih kecil dari nilai α adalah X_1 , X_3 , X_2X_3 , X_1^2 , X_2^2 dan X_3^2 . Sehingga dapat diketahui koefisien model yang memberikan pengaruh nyata terhadap respon (*yield* biodiesel) diantaranya : X_1 mewakili suhu reaksi, X_3 mewakili konsentrasi katalis zeolit alam, X_2X_3 yang merupakan interaksi rasio molar minyak : metanol dan konsentrasi katalis, X_1^2 (suhu reaksi kuadratik),

X_2^2 (rasio molar kuadratik) serta X_3^2 (konsentrasi katalis kuadratik).

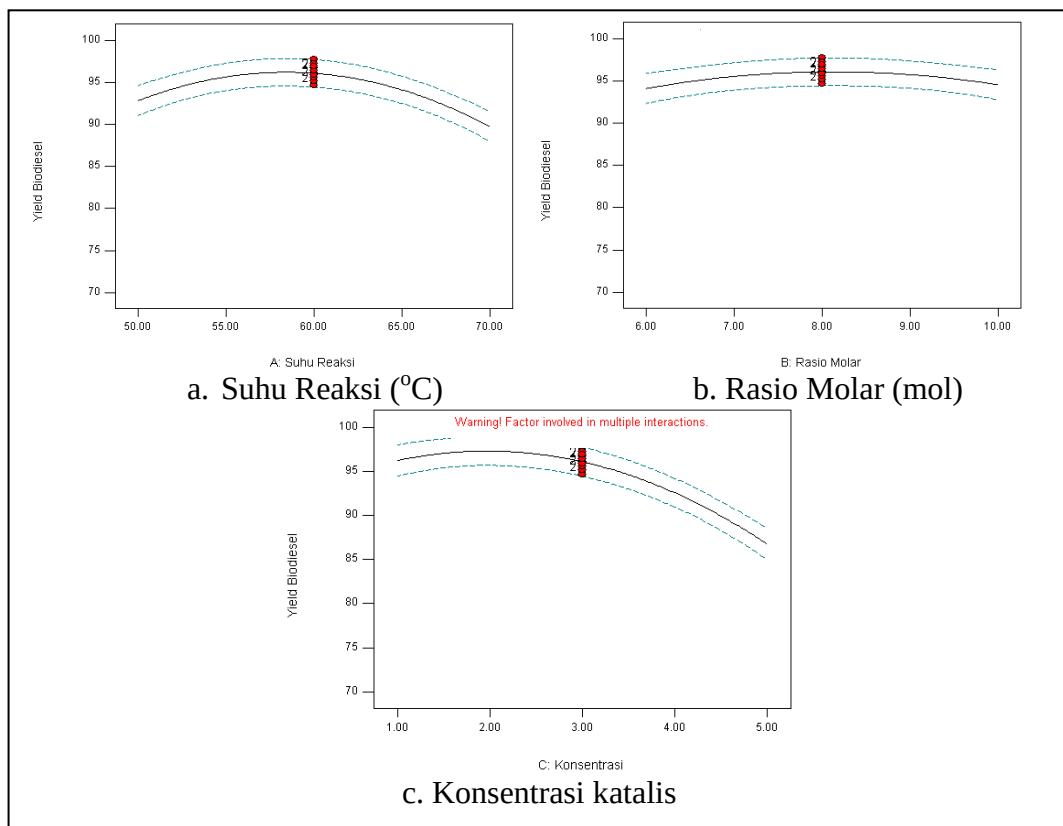
3.6 Pengaruh Kondisi Proses dan Interaksinya terhadap *Yield* Biodiesel

3.6.1 Pengaruh Kondisi Proses terhadap *Yield* Biodiesel

Terdapat tiga kondisi proses yang dipelajari yaitu suhu reaksi (A), rasio molar (B) dan konsentrasi katalis zeolit alam (C). Dari hasil pengujian *P-value*, kondisi proses yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah suhu reaksi dan konsentrasi katalis. Hal ini dibuktikan pada Gambar 2.

Kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan adalah suhu reaksi dan konsentrasi katalis sedangkan rasio molar tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Semakin tinggi suhu reaksi yang diberikan maka *yield* biodiesel yang dihasilkan juga semakin tinggi hingga mencapai suhu 60°C namun apabila suhu ditingkatkan lagi maka *yield* yang dihasilkan akan menurun. Reaksi transesterifikasi dapat dilangsungkan pada rentang suhu kamar hingga mendekati titik didih metanol. Suhu reaksi yang tinggi akan menyebabkan metanol menguap sehingga rasio molar minyak metanol untuk pembuatan biodiesel berkurang dan *yield* yang dihasilkan sedikit [12].

Selanjutnya penambahan metanol berlebih bertujuan agar reaksi bergerak ke arah produk karena reaksi yang terjadi merupakan reaksi kesetimbangan. Setelah kesetimbangan tercapai maka penambahan metanol hanya akan menyebabkan biaya produksi meningkat sedangkan *yield* biodiesel yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan [13].

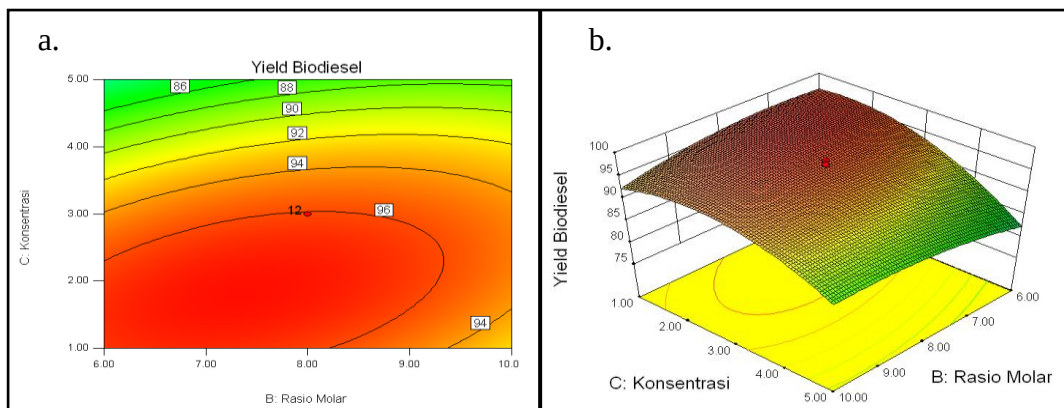


Gambar 2. Pengaruh kondisi proses : a). Suhu reaksi, b). Rasio molar metanol : minyak dan c). Konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel

3.6.2 Pengaruh Interaksi Kondisi Proses terhadap *Yield* Biodiesel

Berdasarkan pengujian *P-value* interaksi kondisi proses yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah rasio molar metanol : minyak dengan konsentrasi katalis zeolit alam. Pengaruh interaksi rasio molar metanol : minyak dan konsentrasi katalis ini digambarkan dalam bentuk kontur dua dimensi dan kurva permukaan (*surface curve*) pada Gambar 3. Kontur dan kurva respon permukaan ini menunjukkan pengaruh interaksi rasio molar metanol : minyak dan konsentrasi katalis pada suhu 60°C. Yang mana pada rasio molar metanol : minyak 8 : 1, *yield* biodiesel yang dihasilkan lebih besar pada konsentrasi katalis 1%-b hingga 3%-b

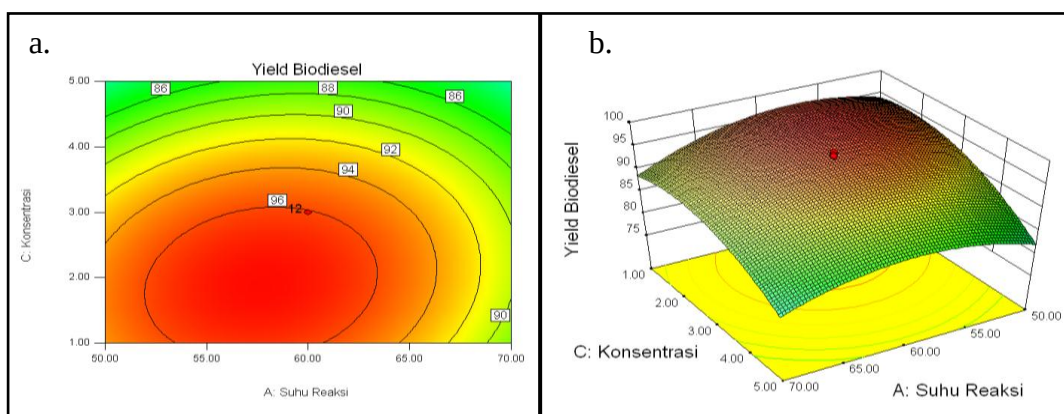
dibandingkan dengan konsentrasi katalis yang besar. Sehingga bisa dikatakan penggunaan jumlah katalis yang besar tidak memberikan efek positif pada proses pembuatan biodiesel. Sedangkan pengaruh rasio molar tidak memberikan kontribusi yang signifikan, namun *yield* biodiesel yang lebih besar diperoleh pada rasio molar rendah. Hal ini dapat disebabkan karena kelebihan metanol dalam reaksi dapat larut dengan produk samping berupa gliserol. Karena reaksi pembuatan biodiesel merupakan reaksi kesetimbangan maka jika mol produk melebihi mol reaktan maka akan terjadi reaksi gliserolisis sehingga akan terbentuk kembali trigliserida dan metanol. Sehingga *yield* biodiesel yang dihasilkan kecil [14].



Gambar 3. Pengaruh interaksi rasio molar metanol : minyak (B) dan konsentrasi katalis (C) terhadap *yield* biodiesel pada suhu 60°C, a) Kontur dua dimensi dan b) kurva permukaan.

Kondisi proses yang memberikan pengaruh yang signifikan adalah suhu reaksi dan konsentrasi katalis. Sehingga interaksi lain yang cukup memberikan pengaruh terhadap *yield* biodiesel selanjutnya adalah interaksi suhu reaksi dan konsentrasi katalis, namun interaksi ini tidak terdeteksi pada analisis statistik.. Pengaruh interaksi ini digambarkan dalam bentuk kontur dua dimensi dan kurva permukaan (*surface curve*) pada Gambar 4. Gambar ini menunjukkan pengaruh interaksi suhu reaksi dan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel pada rasio molar metanol :

minyak 8 : 1. Pada suhu reaksi di bawah 60°C *yield* biodiesel yang diperoleh lebih besar ketika konsentrasi katalis yang digunakan kecil dari 3%-b dibandingkan pada konsentrasi katalis besar. Sedangkan pada suhu reaksi yang lebih tinggi dan konsentrasi katalis juga tinggi, *yield* biodiesel tidak mengalami peningkatan. Hal ini dapat disebabkan karena suhu reaksi tinggi yang melebihi titik didih metanol dapat menyebabkan metanol menguap sehingga rasio molar untuk reaksi kesetimbangan tidak tercapai dan *yield* biodiesel yang dihasilkan rendah [12].



Gambar 4. Pengaruh interaksi suhu reaksi (A) dan konsentrasi katalis (C) terhadap *yield* biodiesel pada rasio molar metanol : minyak 8:1, a) Kontur dua dimensi dan b) kurva permukaan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa biodiesel dapat dihasilkan dari minyak sawit *off grade* yang berkualitas rendah melalui reaksi dua tahap dengan menggunakan katalis zeolit alam pada tahap transesterifikasi. *Yield* biodiesel tertinggi didapat sebanyak 97,79% pada kondisi proses suhu reaksi 60°C, rasio molar minyak : metanol 1:8 dan konsentrasi katalis zeolit alam 3%-b. Kondisi operasi yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah suhu reaksi dan konsentrasi katalis, yang mana dengan peningkatan suhu di atas 60°C dan konsentrasi katalis di atas 3% tidak memberikan kontribusi yang nyata pada *yield* biodiesel.

Daftar Pustaka

- [1] Yunizurwan. 2007. Analisis Potensi dan Peluang Ekonomi Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* L) sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Tesis*. Pascasarjana Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [2] Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, J. Kim dan W. J. N. Fernando. 2009. Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol. *Journal of Elsevier, Application Catalysis A : General*. 369 : 1 - 10.
- [3] Widiastuti. 2010. Kajian Pengembangan Kontrak Berjangka CPO. Badan Pengawas Perdagangan Berjangka Komoditi (BAPPEBTI). <http://www.bappebti.go.id/id/edu/articles/detail/1038.html>. 17 November 2013 (14:30).
- [4] Hayyan, A., Md. Z. Alam, M.E.S. Mirghani, N.A. Kabbashi, N.I.N.M. Hakimi, Y.M. Siran dan S. Tahiruddin. 2010. Sludge palm oil as a renewable raw material for biodiesel production by two step processes. *Journal of Elsevier, Bio resource Technology*. 101 : 7804 – 7811.
- [5] Arifin, J.K. 2009. Pemanfaatan Buah Sawit Sisa Sortiran sebagai Sumber Bahan Baku Asam Lemak. *Tesis*. Program S2 Teknik Kimia Universitas Sumatra Utara. Medan.
- [6] 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.
- [7] Chouhan, A.P.S. dan A.K. Sarma. 2011. Modern Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production : A Comprehensive Review. *Journal of Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15 : 4378 – 4399.
- [8] 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. *Chemical Engineering on Science and Application*. 7 : 40 – 50.
- [9] Farag, H.A., El Maghraby, A. dan Taha, N.A. 2013. Kinetic Study of Used Vegetable Oil for Esterification and

- Transesterification Process of Biodiesel Production. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences (ISSN 2226-9614)* 3 : 1 – 8.
- [10] (BSN) Badan Standarisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-2901:2006 tentang Minyak kelapa sawit mentah (CPO). Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- (BSN) Badan Standarisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182:2006 tentang Biodiesel. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- [11] Kasim, R. 2010. Desain Esterifikasi Menggunakan Katalis Zeolit pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) Melalui Metode Dua Tahap Esterifikasi – Transesterifikasi. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [12] Liu, X., H. He, Y. Wang, S. Zhu dan X. Piao. 2008. Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst. *Journal of Elsevier, Fuel*. 87 : 216 – 221.
- [13] Lee, D.W., Y.M. Park dan K.Y. Lee. 2009. Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis. *Catal Surv Asia*. 13 : 63 – 77.
- [14] Kafuku, G., M.K. Lam, J. Kasedo, K.T. Lee dan M. Mbarawa. 2010. Croton Megalocarpus Oil : A Feasible Non-edible Oil Source for Biodiesel Production. *Journal of Elsevier, Bioresource Technology*. 101 : 7000-7004.