

Pembuatan Biodiesel dari Sawit *Off-grade* dengan Proses Dua Tahap

Rahmawati, Zuchra Helwani, Yelmida A

Laboratorium Teknologi Oleokimia

Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

*Email : rahmawatiche140890@gmail.com

ABSTRACT

Off-grade palm oil is a source of untapped vegetable oil. Off-grade palm oil can be used as an alternative raw material for biodiesel production despite having high content Free Fatty Acid (> 5%). Plant with a capacity of 30 tones of FFB yield 7-10% off-grade palm oil or 2-3 tons per hour. The catalyst used is potassium hydroxide because it has smaller ionization energy, making it faster to form a product when used as a catalyst. This research 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 biodiesel making process was carried out with two stages of the reaction, esterification and transesterification reactions due to high content of free fatty acid in the raw material. Data processing in this study was analyzed by response surface methodology (RSM) using Design Expert 8.0 program. Experiment runs were determined by central composite design (CCD), which consists of three variables, namely temperature, catalyst concentration and molar ratio of methanol to oil. The highest biodiesel yield was 88.56% (%wt) obtained under the conditions of reaction temperature 60 °C, the molar ratio of methanol to oil 8:1 and the concentration of 1% KOH base catalyst. The characteristics of biodiesel produced in the form of density, kinematic viscosity, acid number and flash point are in accordance with the standards of Indonesian biodiesel. Catalyst concentration have a significant influence on the yield of biodiesel.

Keyword : *off-grade palm oil, biodiesel, base catalyst, esterification and transesterification*

I. Pendahuluan

Sawit *off-grade* merupakan salah satu sumber minyak nabati yang belum dimanfaatkan. Sawit *off-grade* merupakan sawit sisa sortiran TBS (Tandan Buah Segar) yang dilakukan oleh pabrik sawit. Sawit *off-grade* terdiri dari buah muda, abnormal, lewat matang dan busuk [Arifin, 2009]. Sawit *off-grade* menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) berkualitas rendah sehingga mempengaruhi biaya proses dan harga jual dari CPO dipasaran nasional dan internasional [Arifin, 2009].

Pembuatan biodiesel difokuskan dari bahan baku yang murah, ekonomis dan ramah lingkungan [Hayyan dkk., 2011] karena 60% – 80% biaya total pembuatan biodiesel berasal dari bahan baku [Helwani dkk., 2009]. Penggunaan sawit *off-grade* dapat mengurangi biaya pembuatan karena

selama ini sawit sortiran dijual ke pihak lain dengan harga 30% – 40% lebih murah dari TBS biasa, sehingga hal ini dapat merugikan petani maupun pihak pabrik sawit [Arifin.,2009].

Ester alkil atau yang lebih dikenal dengan sebutan biodiesel didefinisikan sebagai ester mono – alkil dari rantai asam lemak yang terdapat pada minyak nabati atau lemak hewani. Mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel dapat mengurangi emisi gas buang, partikulat, CO, H₂ yang tidak terbakar [Van Gerpen, 2004]. Biodiesel dapat digunakan tanpa harus memodifikasi mesin yang ada [Helwani dkk, 2009]. Biodiesel yang berasal dari minyak nabati/lemak hewani dipertimbangkan sangat menjanjikan untuk menjadi pengganti bahan bakar minyak yang berasal dari petroleum. Biodiesel

memiliki banyak keuntungan, seperti bahan bakar alternatif, dapat diperbaharui, tidak beracun, *biodegradable* (mudah mengurai) dan ramah lingkungan. Biodiesel dapat diterima dengan baik karena beberapa alasan, diantaranya, karena meningkatnya harga minyak mentah, terbatasnya bahan baku minyak dari fosil dan adanya permasalahan lingkungan [Hayyan dkk, 2011].

Pembuatan biodiesel dilakukan dengan proses dua tahap yaitu reaksi esterifikasi dan reaksi transesterifikasi.

Reaksi esterifikasi adalah reaksi asam lemak bebas dengan alkohol membentuk ester dan air. Esterifikasi biasanya dilakukan jika minyak yang diumpankan mengandung asam lemak bebas tinggi (>5%). Umumnya, proses esterifikasi menggunakan katalis asam dan bersifat *reversible* [Fessenden, 1986]. Asam – asam pekat seperti asam sulfat dan asam klorida adalah jenis asam yang sekarang ini banyak digunakan sebagai katalis [Hambali, 2007].

Reaksi transesterifikasi atau alkoholisis adalah reaksi yang akan menghasilkan ester alkil jika alkohol yang digunakan adalah metanol. Umumnya reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel memerlukan katalis guna mempercepat laju reaksi. Katalis yang digunakan dapat berupa asam atau basa. Lazimnya katalis yang digunakan adalah katalis basa seperti NaOH dan KOH.

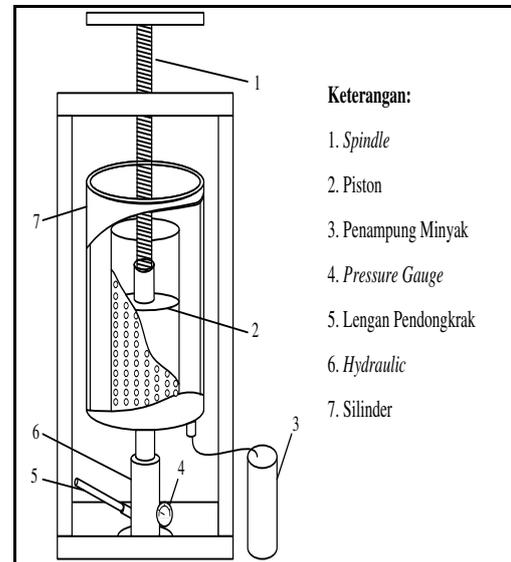
Dalam pembuatan biodiesel ada beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu bahan baku, waktu reaksi, laju pengadukan, suhu reaksi, perbandingan molar alkohol terhadap minyak, dan jenis alkohol.

II. Metode Penelitian

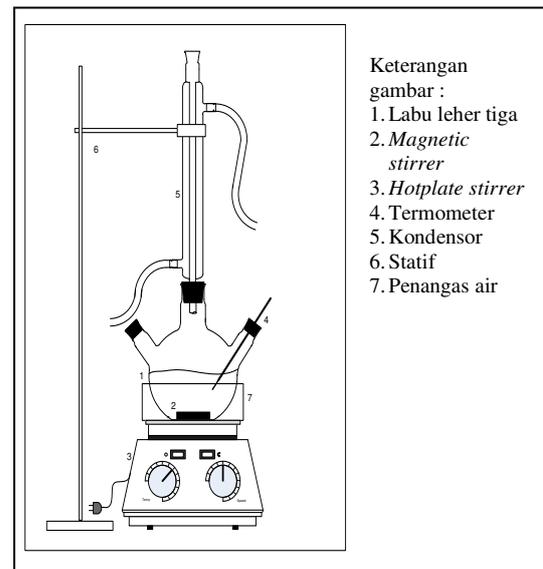
Bahan baku yang digunakan adalah minyak hasil ekstraksi sawit *off-grade*. Pada reaksi esterifikasi pereaktan yang digunakan adalah alkohol jenis metanol dan katalis yang digunakan adalah H₂SO₄. Sedangkan pada reaksi transesterifikasi

katalis yang digunakan adalah katalis basa KOH.

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan biodiesel ini ditampilkan oleh Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Rangkaian Alat Spindle Press



Gambar 2.2 Rangkaian Alat Reaktor

Pada proses pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade* dengan proses dua tahap variabel proses yang dijaga konstan adalah variabel di reaksi esterifikasi yaitu berat minyak sawit *off-grade* 100 gram, konsentrasi katalis H₂SO₄ 1%-b, rasio molar metanol:minyak 12:1 dan suhu reaksi 60°C. Sementara variabel yang dijaga konstan adalah kondisi proses pada

reaksi transesterifikasi yang juga divariasikan yaitu konsentrasi katalis KOH 0,75;1;1,25%-b, suhu reaksi 50, 60 dan 70°C, rasio molar metanol:minyak 6:1;8:1;10:1.

2.1 Proses Pembuatan Biodiesel

Sawit *off-grade* yang telah dipisahkan diambil lebih kurang 3,5 kg dicuci kemudian disterilkan dalam dandang dengan suhu 100°C selama 150 menit dan tekanan 1 atm [Nugroho dkk., 2013]. Brondolan sawit yang telah steril dibungkus dengan kain tipis kemudian diekstrak dengan menggunakan alat press hingga diperoleh minyak. Minyak disaring menggunakan kain dan ditampung dalam wadah.

Minyak yang ditampung diukur kadar air dan kadar ALBnya. Setelah kadar air dan kadar ALB diketahui maka dilanjutkan ke tahap berikutnya. Minyak yang akan dipergunakan harus bebas dari kandungan air, maka diperlukan perlakuan awal untuk menghilangkan kadar air dari minyak. Minyak yang masih memiliki kadar air dipanaskan hingga kandungan airnya menguap [Nugroho dkk., 2013].

Proses esterifikasi dilakukan karena minyak sawit *off-grade* mempunyai kadar ALB lebih dari 2 %. Minyak sawit *off-grade* ditimbang sebanyak 100 gram dan dimasukkan ke dalam reaktor (labu leher tiga 500 ml), kemudian pemanas dinyalakan pada suhu 60°C dan pengaduk juga dinyalakan. Untuk menjaga reaksi berjalan dengan baik maka reaktor dipasang kondensor. Setelah suhu reaksi tercapai yaitu 60°C, pereaksi metanol pa 96% sebanyak 58,27 ml dan katalis H₂SO₄ 98% sebanyak 1 gram ditambahkan secara terukur. Waktu awal reaksi mulai dihitung setelah katalis dan metanol diumpankan ke dalam reaktor.

Campuran hasil esterifikasi dimasukkan ke dalam corong pisah sehingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas yang terdiri dari metanol dan katalis dipisahkan dari lapisan bawah berupa minyak hasil esterifikasi. Selanjutnya,

minyak hasil esterifikasi akan dilanjutkan ke reaksi transesterifikasi berkatalis KOH. Sebelum dilanjutkan ke tahap transesterifikasi minyak hasil esterifikasi ini diperiksa kadar ALBnya [Budiawan dkk., 2013].

Minyak hasil esterifikasi dimasukkan kembali ke dalam reaktor dan dipanaskan sesuai suhu reaksi 60°C. Apabila suhu reaksi telah tercapai, masukkan campuran metanol sebanyak 38,85 ml dan KOH sebanyak 1 gram. Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan pada kecepatan yang telah diatur. Biarkan reaksi berlangsung selama 2 jam. Setelah reaksi berlangsung, kemudian campuran dimasukkan ke dalam corong pisah dan biarkan hingga terbentuk dua lapisan.

Lapisan atas berupa *crude* biodiesel dan lapisan bawah berupa campuran metanol dan KOH. Lapisan atas dipisahkan dari lapisan bawah, lapisan atas yang didapat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel [Kusuma dkk., 2011]. Cara yang sama dilakukan untuk kondisi proses yang lain, sesuai dengan variabel yang telah disiapkan.

Proses pemisahan biodiesel dilakukan dengan cara memisah lapisan atas yang terdiri dari *crude* biodiesel dan metanol sisa reaksi serta lapisan bawah yang berupa gliserol menggunakan corong pemisah. *Crude* biodiesel hasil pemisahan selanjutnya dimurnikan dengan cara dicuci dengan aquades hingga air pencuci jernih untuk melarutkan gliserol dan metanol.

Biodiesel dikeringkan di dalam oven bersuhu 105°C selama 1 jam, kemudian ditimbang untuk menghitung *yield* dan dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya [Budiawan dkk., 2013].

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan *Response Surface Methodology* (RSM). RSM merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi respon dengan

tujuan akhir untuk mengoptimalkan respon [Nuryanti dkk., 2008]. Sedangkan jumlah tempuhan percobaan ditentukan dengan *Central Composite Design* (CCD) yang terdiri dari *factorial design*, *star point* dan *central point*.

2.2 Pengujian Biodiesel

Karakteristik biodiesel yang diuji meliputi Angka asam dengan metode FBI-A01-03, viskositas kinematik dengan metode ASTM D 445, berat jenis dengan metode ASTM D 1298, serta titik nyala dengan metode SNI 7182:2012.

III. Hasil dan Pembahasan

Tabel 3.1. 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	899	-
3	Viskositas (40°C)	mm ² /s	34,02	-
4	Kadar air	%	3,6	Maks 0,5
5	Kadar asam lemak bebas	%	11,63	Maks 0,5

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa minyak sawit *off-grade* yang diperoleh memiliki kadar ALB dan kadar air yang tinggi yaitu sebesar 11,63% dan 3,6%. 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.

3.2 Konversi ALB pada Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi merupakan proses perlakuan awal yang dilakukan untuk menurunkan kadar ALB yang terdapat dalam bahan baku minyak sawit *off-grade*. Kadar ALB awal yang terdapat dalam bahan baku adalah sebesar 11,63%, setelah dilakukan reaksi esterifikasi kadar ALB turun menjadi 1,07%. Hasil konversi ALB menjadi metil ester pada penelitian ini

3.1 Ekstraksi Minyak Sawit *off-grade*

Minyak sawit *off-grade* yang diperoleh setelah proses ekstraksi adalah sebesar 10% dari berat sawit *off-grade* [Budiawan dkk., 2013]. Minyak sawit *off-grade* selanjutnya dianalisis karakteristiknya seperti densitas, viskositas, kadar air dan kadar asam lemak bebas untuk mengetahui perlakuan awal yang dibutuhkan sebelum pembuatan biodiesel. Karakteristik minyak dari sawit *off-grade* ditampilkan pada Tabel 3.1.

adalah 90,79% pada suhu reaksi 60°C, rasio molar metanol:minyak 12:1 dan konsentrasi katalis H₂SO₄ 1%-b.

3.3 Yield Biodiesel pada Reaksi Transesterifikasi

Yield biodiesel yang didapatkan dari penelitian ini adalah berkisar antara 32,29% hingga 88,56%. *Yield* biodiesel tertinggi diperoleh sebanyak 88,56% pada kondisi proses suhu reaksi 60°C, rasio molar metanol:minyak 8 : 1 dan konsentrasi katalis 1%-b. Sedangkan *yield* biodiesel terendah diperoleh sebanyak 32,29% pada kondisi proses suhu reaksi 60°C, rasio molar metanol:minyak 8 : 1 dan konsentrasi katalis 0,58%.

Karakteristik yang dianalisis diantaranya adalah densitas, viskositas kinematik, titik nyala dan angka asam yang kemudian dibandingkan dengan karakteristik biodiesel berdasarkan SNI, ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian

No	Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	Standar SNI 04-7182-2006
1	Densitas	kg/m ³	856 – 862	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	mm ² /s	3,51 – 4,84	2,3 – 6,0
3	Titik nyala	°C	142	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,65	Maks. 0,8

Densitas biodiesel yang dihasilkan yaitu rentang 856 – 862 kg/m³ sudah sesuai dengan standar sehingga 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]. Reaksi pembakaran bahan bakar juga dipengaruhi oleh viskositas (kekentalan). Viskositas biodiesel yang didapat adalah 4,39 mm²/s. Tingginya viskositas dapat mempengaruhi sistem injektor mesin diesel sehingga menyebabkan terbentuknya deposit dalam mesin.

Selanjutnya, titik nyala akan mempengaruhi penyimpanan biodiesel. Titik nyala biodiesel yang diperoleh sebesar 142°C. Hasil ini telah sesuai dengan standar yaitu >100°C yang menandakan biodiesel aman dalam proses penyimpanan. Sementara itu angka asam biodiesel yang diperoleh sebesar 0,65 mg-KOH/g-biodiesel. Angka asam yang 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].

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). Pengujian model dilakukan dengan *coded variable* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien – koefisien model yaitu suhu reaksi, rasio molar dan konsentrasi katalis terhadap respon berupa *yield* biodiesel. Percobaan model orde dua digunakan untuk memperkirakan kelengkungan (*curvature*) dari respon. Tempuhan rancangan percobaan orde dua merupakan pengembangan model orde satu dengan penambahan tempuhan kuadratik dari masing – masing variabel dan interaksi antara variabel tersebut.

Rancangan percobaan dengan menggunakan kode variabel untuk tempuhan model ditampilkan pada Tabel 3.3. Kode variabel pada Tabel 3.3 akan digunakan untuk pengolahan data hasil percobaan. Selanjutnya data hasil percobaan pada berbagai kondisi proses ditampilkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.3. Variabel dan kode variabel pada tempuhan model

Perlakuan	Satuan	Level				
		- α	-1	0	1	+ α
Konsentrasi katalis (X ₁)	%-b	0,58	0,75	1	1,25	1,42
Rasio molar metanol:minyak (X ₂)	Mol	4,64	6	8	10	11,36
Suhu reaksi (X ₃)	°C	43,18	50	60	70	76,82

Tabel 3.4. Hasil percobaan pada variasi kondisi proses

Run	Natural Variable			Coded Variable			Yield (%)	
	ξ_1	ξ_2	ξ_3	$X_1=A$	$X_2=B$	$X_3=C$	1	2
1	0.75	6.00	50.00	-1	-1	-1	62,4	63,65
2	1.25	6.00	50.00	1	-1	-1	46,47	45,12
3	0.75	10.00	50.00	-1	1	-1	44,49	44,57
4	1.25	10.00	50.00	1	1	-1	54,24	55,13
5	0.75	6.00	70.00	-1	-1	1	46,75	45,87
6	1.25	6.00	70.00	1	-1	1	61,36	60,34
7	0.75	10.00	70.00	-1	1	1	58,03	58,13
8	1.25	10.00	70.00	1	1	1	64,15	63,39
9	0.58	8.00	60.00	-1.68	0	0	34,01	32,29
10	1.42	8.00	60.00	1.68	0	0	44,78	44,12
11	1.00	4.64	60.00	0	-1.68	0	62,72	60,87
12	1.00	11.36	60.00	0	1.68	0	59,06	58,55
13	1.00	8.00	43.18	0	0	-1.68	83,45	82,56
14	1.00	8.00	76.82	0	0	1.68	83,34	82,67
15	1.00	8.00	60.00	0	0	0	79,67	78,78
16	1.00	8.00	60.00	0	0	0	76,88	77,98
17	1.00	8.00	60.00	0	0	0	75,13	74,87
18	1.00	8.00	60.00	0	0	0	88,56	87,74
19	1.00	8.00	60.00	0	0	0	73,47	74,67
20	1.00	8.00	60.00	0	0	0	75,85	76,23

Data *yield* biodiesel pada Tabel 3.4 seterusnya diolah dengan menggunakan program *Design Expert 8.0* sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti ditampilkan pada persamaan 3.1, yaitu :

$$y = - 85,90 + 371,77 X_1 + 15,94 X_2 - 3,15 X_3 + 4,61 X_1X_2 + 1,36 X_1X_3 + 0,15 X_2X_3 - 240,40 X_1^2 - 1,86 X_2^2 + 0,0064 X_3^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

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

Selanjutnya pada persamaan 3.1 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 Y yaitu *yield* biodiesel. Dari pengolahan data dengan

menggunakan program *Design Expert 8.0*, analisis varian dapat diringkas dalam

Tabel 3.5 dan didapat nilai F_{hitung} sebagai berikut.

Tabel 3.5. Analisis varian untuk pengaruh variabel terhadap *yield* biodiesel

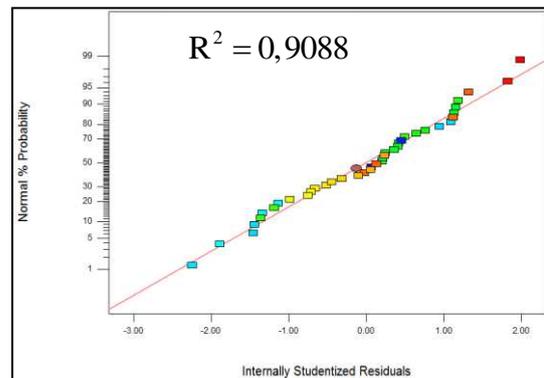
Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat	F_{hitung}	P-value Prob>F	F_{Tabel} ($F_{0,05,9,30}$)
Model	8369,29	9	929,92	33,21	< 0,0001	2,21
A	152,40	1	152,40	5,44	0,0265	
B	0,00027	1	0,00027	0,0000099	0,9975	
C	63,82	1	63,82	2,28	0,1416	
AB	84,96	1	84,96	3,03	0,0917	
AC	185,03	1	185,03	6,61	0,0154	
BC	148,78	1	148,78	5,31	0,0282	
A ²	6506,82	1	6506,82	232,41	< 0,0001	
B ²	1588,46	1	1588,46	56,74	0,0020	
C ²	10,50	1	10,50	0,38	< 0,0001	
Residu	839,92	30	28,00		0,5448	
Lack of Fit	564,96	5	112,99	10,27	< 0,0001	
Pure Error	274,95	25	11,00			
Total	9209,20	39				

Catatan : Keterangan $F_{0,05,9,30}$
 0,05 : nilai probabilitas error ($\alpha = 5\%$)
 9 : derajat kebebasan model
 30 : derajat kebebasan residu/eror
 A : Konsentrasi katalis (%-b)
 B : Rasio molar metanol:minyak (mol)
 C : Suhu reaksi ($^{\circ}$ C)

Pada Tabel 3.5. 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 konsentrasi katalis (X_1), rasio molar metanol:minyak (X_2) dan suhu reaksi (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 3.2 [Budiawan dkk., 2013].

$$R^2 = \frac{\text{Jumlah kuadrat model}}{\text{Jumlah kuadrat total}} = \frac{SS_R}{SS_T} \dots\dots(3.1)$$

$$R^2 = \frac{8369,29}{9209,20} = 0,9088$$



Gambar. 4.1 Grafik Model Regresi

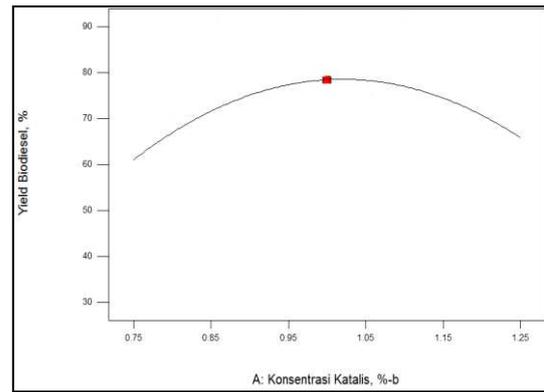
Setelah didapatkan kecocokan antar model dengan respon, dilanjutkan dengan menentukan variabel yang berpengaruh dan yang tidak berpengaruh terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan. Hal ini dapat ditentukan dengan uji P-value. Uji P-value dapat menunjukkan tingkat keberartian terkecil dari suatu variabel terhadap respon yang diamati sehingga nilai uji statistik masih berarti.

Kelebihan uji *P-value* yaitu dapat memberikan dua informasi sekaligus, yaitu petunjuk bahwa hipotesis H_0 pantas ditolak dan peluang terjadinya hipotesis H_0 (dengan asumsi H_0 dianggap benar). Pada uji *P-value*, H_0 dapat diterima apabila nilai *P-value* lebih besar dari nilai probabilitas eror ($\alpha = 5\%$) dan sebaliknya H_0 ditolak apabila nilai *P-value* lebih kecil dari nilai α [Budiawan dkk., 2013].

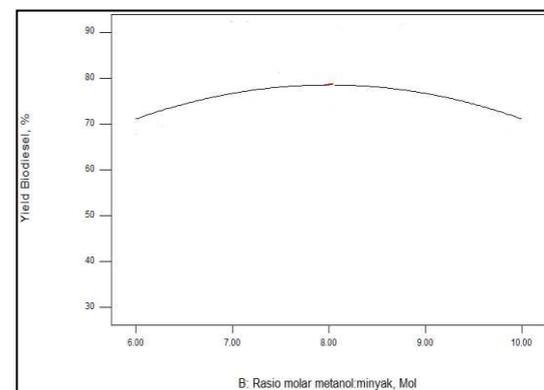
Hasil pengujian *P-value* pada penelitian ini yaitu variabel – variabel yang nilainya lebih besar dari nilai α adalah X_2 , X_3 , X_1X_2 dan X_3^2 , sedangkan variabel – variabel yang nilainya lebih kecil dari nilai α adalah X_1 , X_1X_3 , X_2X_3 , X_1^2 , dan X_2^2 . Sehingga dapat diketahui koefisien model yang memberikan pengaruh nyata terhadap respon (*yield* biodiesel) diantaranya : X_1 mewakili konsentrasi katalis, X_1X_3 yang merupakan interaksi konsentrasi katalis dan suhu reaksi, X_2X_3 yang merupakan interaksi rasio molar metanol:minyak dan suhu reaksi, X_1^2 (konsentrasi katalis kuadratik), X_2^2 (rasio molar metanol:minyak kuadratik). Jadi variabel yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel hanya konsentrasi katalis, sedangkan rasio molar metanol:minyak dan suhu reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

3.4 Pengaruh Kondisi Proses dan Interaksinya terhadap *Yield* Biodiesel

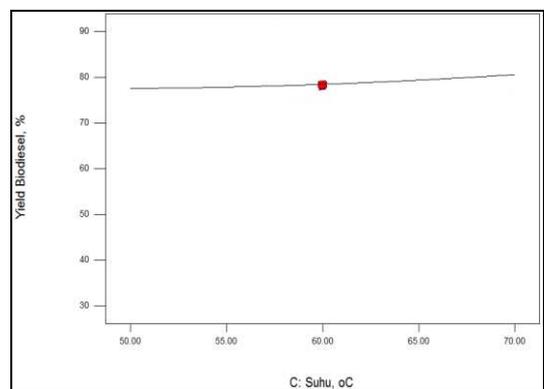
Terdapat tiga kondisi proses yang dipelajari yaitu suhu reaksi, rasio molar metanol:minyak dan konsentrasi katalis. Dari hasil pengujian *P-value*, kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah konsentrasi katalis yang ditampilkan pada Gambar 3.2. Sementara variabel rasio molar metanol:minyak dan variabel suhu reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan.



Gambar. 3.2 Grafik Hubungan Konsentrasi Katalis terhadap *Yield* Biodiesel



Gambar. 3.3 Grafik Hubungan Rasio Molar Metanol:Minyak terhadap *Yield* Biodiesel



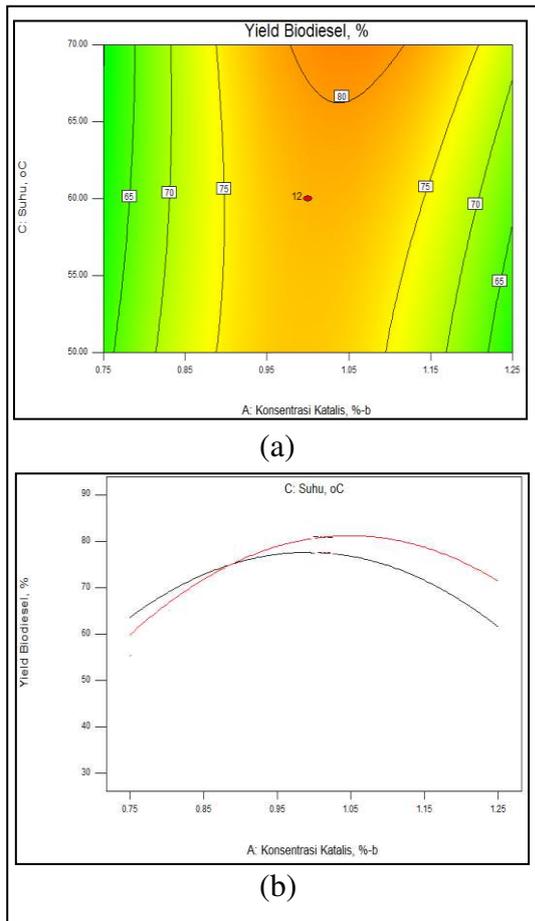
Gambar. 3.4 Grafik Hubungan Suhu Reaksi terhadap *Yield* Biodiesel

Pada Gambar 3.2, semakin tinggi konsentrasi katalis maka *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin tinggi pula, akan tetapi penambahan konsentrasi setelah mencapai kondisi optimum akan menurunkan *yield* biodiesel.

Pada gambar 3.3, penambahan metanol berlebih tidak meningkatkan *yield* biodiesel. Pada gambar 3.4, kenaikan suhu

tidak berpengaruh karena tidak terjadi peningkatan *yield* yang signifikan.

Berdasarkan pengujian *P-value* interaksi kondisi proses yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah konsentrasi katalis. Pengaruh interaksi konsentrasi katalis ini digambarkan dalam bentuk kontur dua dimensi dan grafik interaksi pada Gambar 3.5.

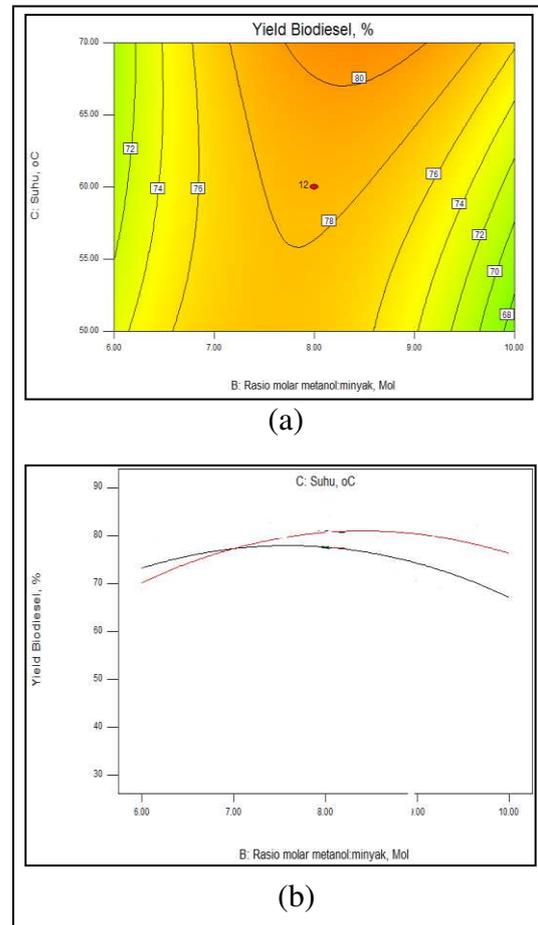


Gambar 3.5. Pengaruh interaksi konsentrasi katalis A) dan suhu (C) terhadap *yield* biodiesel pada perbandingan molar metanol:minyak 8:1, a) Kontur dua dimensi dan b) grafik interaksi

Yield biodiesel tertinggi diperoleh pada konsentrasi katalis 1%-b. Penambahan konsentrasi katalis yang lebih tinggi tidak memberikan dampak yang positif terhadap peningkatan *yield* biodiesel.

Kondisi proses yang memberikan pengaruh yang signifikan hanya konsentrasi katalis saja. Interaksi lain cukup memberikan pengaruh terhadap

yield biodiesel selanjutnya adalah interaksi rasio molar metanol:minyak dan suhu reaksi. Pengaruh interaksi ini digambarkan dalam bentuk kontur dua dimensi dan grafik interaksi pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Pengaruh interaksi Rasio molar metanol:minyak (B) dan Suhu (C) terhadap *yield* biodiesel pada konsentrasi katalis 1%-b, a) Kontur dua dimensi dan b) grafik interaksi

Gambar 3.6 menunjukkan pengaruh interaksi rasio molar metanol:minyak dan suhu reaksi terhadap *yield* biodiesel pada konsentrasi katalis 1%-b. Pada saat suhu tinggi mencapai 70 °C dan rasio molar metanol:minyak 8:1, *yield* biodiesel mengalami peningkatan. Namun, ketika suhu turun dan rasio molar metanol:minyak dinaikkan mencapai 10:1, *yield* biodiesel justru mengalami penurunan yang signifikan.

IV. KESIMPULAN

Biodiesel dapat dihasilkan dari minyak sawit *off-grade* yang berkualitas rendah yang dilihat dari kadar air dan ALBnya yang cukup tinggi, melalui reaksi dua tahap dengan menggunakan katalis KOH pada tahap transesterifikasi. *Yield* biodiesel tertinggi didapat sebanyak 88,56 % pada suhu reaksi 60°C, rasio molar metanol:minyak 8:1 dan konsentrasi katalis basa KOH 1%-b. Konsentrasi katalis memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ibu Zuchra Helwani, ST., MT., PhD, Ibu Dra. Yelmida A, M.Si, seluruh staf Laboratorium Teknologi Oleo Kimia, teman satu tim penelitian dan pihak – pihak yang ikut andil membantu hingga penelitian ini selesai.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, J.K., 2009, Pemanfaatan Buah Sawit sisa Sortiran sebagai Sumber Bahan Baku Asam Lemak, *Tesis*, Universitas Sumatra Utara, Medan.

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. *Chemical Engineering on Science and Application*, 7, 40–50.

Fessenden, R.J., dan Fessenden J.S., 1986, *Kimia Organik*, Jilid ke 2, edisi ke 3. Terjemahan A.H., Pudjaatmaka, Erlangga, Jakarta.

Gerpen, J.V., 2004, Biodiesel Processing and Production, *Fuel Processing Technology* 86, 1097–1107.

Hambali, E., Mujdalipah, S., Armansyah, Pattiwiri, A., Waries, dan Handroko, R., 2007, *Teknologi Bioenergi*, Argomedia, Jakarta.

Hayyan, A., Alam, M.Z., Kabbashi, N.A., Mirghani, M.E.S., Hakimi, N.I.N.M., Siran, Y.M., dan

Tahiruddin, S., 2011, Reduction of High Content of Free Fatty Acid in Sludge Palm Oil via Acid Catalyst for Biodiesel Production, *Fuel Processing Technology*., 92, 920–924.

Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz., N., Fernando, W.J.N., dan Kim. J., 2009, Technologies for Production of Biodiesel Focusing on Green Catalytic Techniques: A review, *Fuel Processing Technology*, 90, 1502–1514.

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.

Nugroho, D.A., Zulfansyah., Helwani, Z dan Rionaldo, H., 2013, Ekstraksi Sawit Off-grade menggunakan Metode Artisanal. Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Riau.

Nuryanti dan D.H. Salimy. 2008. Metode Permukaan Respon dan Aplikasinya pada Optimasi Eksperimen Kimia. *Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir*. 373–391.