

Pembuatan Biodiesel dari Sawit *Off-grade*

Rangga Budiawan, Zulfansyah & Zuchra Helwani

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
zulfansyah@unri.ac.id

Abstract

One source of vegetable oil that hasn't been used and generated from sortation process in palm oil mill is off-grade oil palm fruit. Availability of off-grade oil palm fruit is about 7-10% for a Palm Oil Mill with capacity 30 ton per hour and has potential to cause environmental pollution. The objective of this research were to produce biodiesel from off-grade oil palm fruit by two step reaction, to characterize and to study the effect of transesterification process condition such as, concentration of NaOH catalyst, molar ratio of methanol to oil and reaction temperature on yield, acid number, density and viscosity of biodiesel. Experimental design determined by Central Composite Design (CCD) with three variables. The impact of process condition to responses were analyzed using a statistical software (Design Expert 6.0). The result showed that the highest yield of biodiesel obtained is 93,45% with molar ratio of methanol to oil of 10:1, reaction temperature at 50°C and 0,75% (w/w) of NaOH. The most influence factor are concentration of NaOH catalyst and reaction temperature. The characteristic of biodiesel such as acid value, density, viscosity and flash point has met the standard biodiesel of Indonesia. In this research, various process conditions is not significantly affected the characteristics of biodiesel.

Keywords : biodiesel, off-grade oil palm fruit, esterification, transesterification

Abstrak

Salah satu sumber minyak nabati yang belum termanfaatkan dan berasal dari sisa sortasi di pabrik Crude Palm Oil (CPO) adalah sawit *off-grade*. Ketersediaan sawit *off-grade* yang cukup banyak yaitu sekitar 7-10% dari sebuah pabrik CPO dengan kapasitas olah 30 ton per jam berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan sehingga perlu dilakukan pemanfaatan lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biodiesel dari sawit *off-grade* melalui dua reaksi bertahap dan mengetahui karakteristiknya serta mempelajari pengaruh kondisi proses transesterifikasi seperti konsentrasi katalis NaOH (0,75-1,25 %-b), rasio molar metanol: minyak (6:1-10:1) dan suhu reaksi (50-70°C) terhadap yield, angka asam, densitas dan viskositas biodiesel. Tempuhan rancangan penelitian ditentukan oleh *Central Composite Design* (CCD) dengan tiga variabel. Pengolahan data hasil penelitian menggunakan aplikasi statistik *Design Expert* 6.0. Perolehan biodiesel tertinggi yaitu 93,45%-b dihasilkan pada konsentrasi katalis natrium hidroksida 0,75%-b, rasio molar metanol : minyak 10:1 dan suhu reaksi 50°C dengan faktor yang paling berpengaruh konsentrasi katalis NaOH dan suhu reaksi. Karakteristik biodiesel berupa angka asam, densitas, viskositas dan titik nyala telah memenuhi standar biodiesel Indonesia. Pada penelitian ini, variasi kondisi proses tidak terlalu memberikan efek yang nyata terhadap karakteristik biodiesel.

Kata kunci : sawit *off-grade*, biodiesel, esterifikasi, transesterifikasi

1 Pendahuluan

Sawit *off-grade* merupakan salah satu sumber minyak nabati yang belum termanfaatkan dan berasal dari sisa sortasi di Pabrik *Crude Palm Oil* (CPO). Sawit *off-grade* terdiri dari buah muda, abnormal, lewat matang dan busuk. Pengolahan buah muda dan abnormal akan menghasilkan yield CPO yang rendah sedangkan pengolahan buah lewat matang dan busuk akan menghasilkan minyak berkadar asam lemak bebas (ALB) >5% [Arifin, 2009]. Biasanya, sawit *off-grade* harus dikembalikan ke penjual. Selanjutnya penjual akan menjual kembali ke pengepul sawit dengan harga murah. Sawit *off-grade* yang tidak terjual akan ditumpuk atau dibakar di areal perkebunan tanpa ada pemanfaatan lanjut.

Jumlah ketersediaan sawit *off-grade* cukup banyak yaitu sekitar 7-10% untuk sebuah Pabrik CPO dengan

kapasitas olah 30 ton perjam [Arifin, 2009]. Penjualan sawit dengan harga murah akan mengakibatkan kerugian petani. Sementara itu, sawit *off-grade* yang dibiarkan terus menumpuk atau dibakar di perkebunan menyebabkan pencemaran lingkungan. Penumpukan sawit *off-grade* mengakibatkan bau yang tidak sedap sedangkan pembakaran sawit *off-grade* mengakibatkan polusi udara. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemanfaatan sawit *off-grade* menjadi produk yang lebih bernilai.

Di Indonesia, sumber bahan baku pembuatan biodiesel berasal dari CPO yang merupakan bahan baku utama minyak goreng dan produk pangan lainnya. Menurut data, konsumsi biodiesel Indonesia mengalami peningkatan dari 217 kiloliter (kL) pada tahun 2006 menjadi 4.394 kL pada tahun 2010 dan diperkirakan akan terus mengalami peningkatan [Ditjen. EBTKE., 2011]. Sehingga, dikhawatirkan penggunaan CPO

sebagai bahan baku biodiesel akan berdampak pada harga produk pangan. Dengan demikian, dibutuhkan sumber minyak nabati lainnya yang murah atau bahkan belum dimanfaatkan seperti sawit *off-grade*.

Pembuatan biodiesel difokuskan dari bahan baku yang murah, ekonomis dan ramah lingkungan [Hayyan dkk., 2011] karena 60-80% biaya total produksi biodiesel berasal dari bahan baku [Helwani dkk., 2009]. Penggunaan sawit *off-grade* dapat mengurangi biaya produksi biodiesel karena sawit *off-grade* dijual dengan harga 30-40% lebih murah dibandingkan sawit layak olah [Arifin, 2009]. Namun, tidak mudah untuk mengolah sawit *off-grade* karena kadar ALB-nya yang tinggi. Dengan demikian, diperlukan teknologi yang lebih efektif dan efisien untuk mengolah sawit *off-grade* menjadi biodiesel.

Biodiesel umumnya diproduksi melalui reaksi transesterifikasi minyak dan alkohol menggunakan katalis natrium hidroksida [Marchetti dkk., 2007]. Metode ini dilakukan pada minyak dengan ALB dibawah 1% [Zhang dkk., 2003]. Penggunaan minyak berkadar ALB diatas 1% membutuhkan perlakuan awal untuk menurunkan kadar ALB karena pengolahan minyak berkadar ALB tinggi dapat menghasilkan produk samping berupa sabun sehingga menurunkan yield dan mempersulit proses pemisahan [Canakci dkk., 1999]. Sehingga diperlukan suatu metode perlakuan awal bahan baku yang tepat untuk menurunkan kadar ALB dalam minyak sebelum transesterifikasi berkatalis basa.

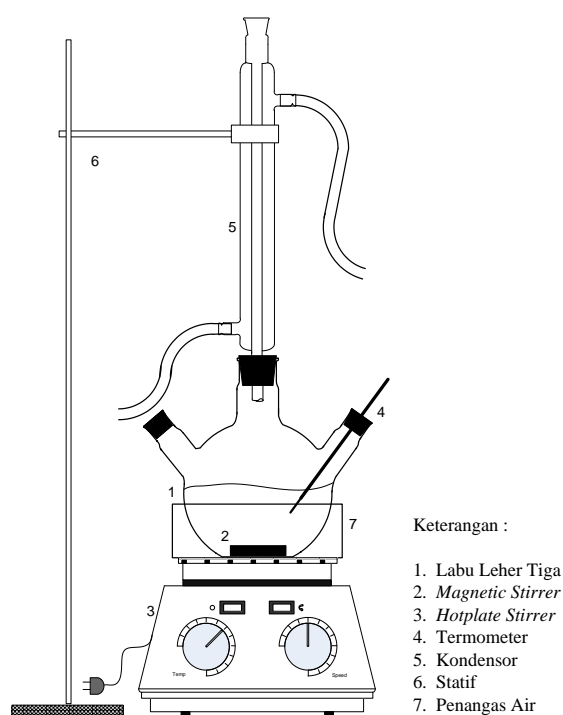
Beberapa metode perlakuan awal bahan baku telah diteliti untuk menurunkan kadar ALB dalam minyak. Seperti distilasi uap, ekstraksi dengan alkohol dan esterifikasi berkatalis asam. Meskipun distilasi uap dapat menurunkan kadar ALB, namun membutuhkan suhu yang tinggi dan efisiensi yang rendah. Sementara itu, metode ekstraksi menggunakan pelarut sangat rumit dan terbatasnya kelarutan ALB dalam alkohol menyebabkan banyaknya kebutuhan alkohol yang diperlukan sebagai pelarut. Jika dibandingkan dari dua metode sebelumnya, maka esterifikasi berkatalis asam merupakan cara yang paling tepat karena dapat mengkonversi ALB menjadi biodiesel [Leung dkk., 2010]. Dengan demikian, diperlukan dua reaksi bertahap untuk mengkonversi minyak dengan kadar ALB tinggi menjadi biodiesel yaitu esterifikasi berkatalis asam dilanjutkan dengan transesterifikasi berkatalis basa.

Penggunaan dua reaksi bertahap dapat diterapkan pada bahan baku biodiesel yang berkadar asam lemak bebas tinggi seperti minyak dari sawit *off-grade*. Sementara itu, katalis seperti H_2SO_4 dan $NaOH$ lebih dipilih karena murah dan banyak tersedia dibandingkan dengan katalis heterogen [Leung dkk., 2010]. Saat ini, pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade* melalui reaksi dua reaksi bertahap belum diketahui yield maupun karakteristiknya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang pembuatan biodiesel melalui dua reaksi bertahap dari sawit *off-grade*.

2 Metode Penelitian

2.1 Bahan Dan Alat

Minyak diperoleh melalui ekstraksi sawit *off-grade* dengan menggunakan *spindle* pres. Reaksi esterifikasi dilangsungkan dengan katalis asam pekat yaitu asam sulfat (H_2SO_4) dilanjutkan dengan transesterifikasi berkatalis basa yaitu Natrium Hidroksida ($NaOH$). Sementara itu, metanol ditambahkan sebagai reaktan. Adapun alat yang digunakan pada proses pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade* yaitu labu leher tiga bervolume 500 ml sebagai reaktor *batch* yang dilengkapi dengan kondensor dan termometer. Sebagai sumber panas dan pengaduk digunakan *hotplate* dengan *magnetic stirrer*. Rangkaian alat penelitian ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat penelitian

2.2 Prosedur Penelitian

Prosedur pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade* terdiri dari tiga tahap utama yaitu :

2.2.1 Ekstraksi minyak dari *mesocarp* sawit *off-grade*

Sawit *off-grade* dicacah dan disterilisasi. Selanjutnya brondolan dibungkus dengan kain tipis kemudian diekstraksi menggunakan *spindle* pres. Minyak hasil ekstraksi sawit *off-grade* kemudian disaring dengan penyaring berukuran 60 mesh serta diuji angka asam dan kadar airnya.

2.2.2 Dua reaksi bertahap

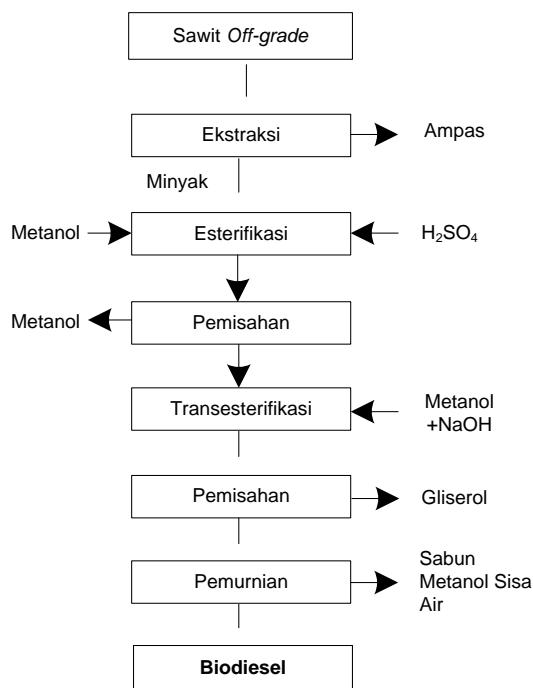
a. Esterifikasi

Proses esterifikasi dilangsungkan dalam labu leher tiga sebagai reaktor. Minyak hasil ekstraksi sawit *off-*

grade dimasukan ke dalam reaktor dan pemanas dinyalakan hingga suhu minyak mencapai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai, dilanjutkan dengan mencampurkan katalis asam sulfat dan metanol yang telah diukur sebelumnya. Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan pada kecepatan sekitar 400 rpm. Reaksi berlangsung selama 1 jam. Setelah itu, campuran didiamkan dalam corong pemisah selama 1 jam hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan bagian atas yang berupa metanol berlebih dipisahkan dengan lapisan bawah.

b. Transesterifikasi

Lapisan bawah hasil esterifikasi dimasukan ke dalam reaktor dan dipanaskan sesuai suhu reaksi yang telah ditentukan. Selanjutnya, dicampurkan dengan campuran metanol dan katalis NaOH yang telah diukur sesuai dengan variabel penelitian. Kondensor dipasang dan pengaduk dijalankan pada kecepatan sekitar 400 rpm. Biarkan reaksi berlangsung selama 1 jam. Campuran dimasukan ke dalam corong pisah dan biarkan selama 8 jam hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas yang terbentuk akan dilanjutkan ke tahap pemisahan dan pemurnian biodiesel. Untuk lebih jelasnya, prosedur pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade* ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade*

2.2.3 Pemisahan dan Pemurnian Biodiesel

Campuran hasil transesterifikasi yang terdiri dari *crude* biodiesel dan gliserol dipisahkan dengan corong pemisah. *Crude* biodiesel selanjutnya dimurnikan dengan cara dicuci aquades hingga air pencuci jernih untuk melarutkan gliserol dan metanol sisa. Biodiesel dikeringkan di dalam oven bersuhu 105°C selama 60

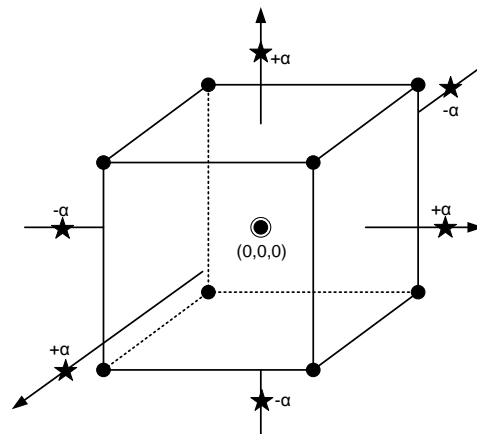
menit kemudian ditimbang untuk menghitung yield dan dianalisis untuk mengetahui karakteristik biodiesel dari sawit *off-grade*. Yield biodiesel dihitung dengan persamaan 1 [Hayyan dkk., 2011] :

$$\text{Yield biodiesel} = \frac{\text{Berat Biodiesel}}{\text{Berat Bahan Baku (Minyak)}} \times 100\% \quad (1)$$

2.3 Rancangan Penelitian dan Analisis Data

Kondisi proses yang dijaga konstan pada penelitian pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade* terdiri dari berat minyak 100 gr, laju pengadukan 400 rpm, waktu masing-masing reaksi 1 jam dan kondisi proses esterifikasi meliputi konsentrasi katalis 1%-b, rasio molar metanol : minyak 12:1 dan suhu reaksi 60°C. Sedangkan kondisi proses yang divariasikan adalah kondisi proses transesterifikasi yang meliputi konsentrasi katalis NaOH 0,75-1,25%-b, rasio molar metanol : minyak 6:1-10:1 dan suhu reaksi 50-70°C.

Jumlah tempuhan penelitian ditentukan dengan *Central Composite Design* (CCD) yang terdiri dari *factorial design*, *star point* dan *central point*. *Factorial design* didapat dari 2^k faktorial, yang mana k merupakan jumlah variabel berubah. Pada penelitian ini terdapat 3 variabel berubah yaitu konsentrasi katalis NaOH (ξ_1), rasio molar (ξ_2) dan suhu reaksi transesterifikasi (ξ_3), sehingga didapatkan *factorial design* (n_f) berjumlah 8 titik. Batasan level untuk setiap variabel dinyatakan dengan $\alpha = (n_f)^{1/4}$, sehingga pada penelitian ini didapatkan nilai $\alpha = 1,682$. Sebaran tempuhan rancangan penelitian berdasarkan CCD ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sebaran tempuhan rancangan penelitian [Montgomery, 1991].

Rentang *coded variables* dikodekan ke dalam rentang (-1, 0, 1) untuk memudahkan pengolahan data. Sehingga hubungan antara *natural variables* (ξ_i) dan *coded variables* (X_i) dapat dinyatakan pada persamaan 2 dan 3.

$$X_i = \frac{\xi_i - \xi_i \text{ mid.}}{\xi_i \text{ mid.} - \xi_i \text{ low}} \quad (2)$$

Yang mana,

$$\xi_i \text{ mid} = \frac{\xi_i \text{ high} + \xi_i \text{ low}}{2} \quad (3)$$

Tempuhan rancangan penelitian dengan CCD ditampilkan pada Tabel 1. Untuk mendapatkan variasi respon, maka dilakukan perulangan sebanyak satu kali. Pengolahan dan analisis data hasil penelitian dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Design Expert* 6.0.

Tabel 1 Tempuhan rancangan penelitian

Perlakuan	Satuan	Level				
		- α	-1	0	1	+ α
Konsentrasi Katalis (X_1)	%-b	0,58	0,75	1	1,25	1,42
Rasio Molar (X_2)	mol	1:5	1:6	1:8	1:10	11
Suhu Reaksi (X_3)	°C	43	50	60	70	77

Data hasil penelitian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh dari konsentrasi katalis, rasio molar dan suhu reaksi terhadap yield, angka asam, densitas dan viskositas biodiesel. Pengolahan data menghasilkan model matematis orde dua (ditampilkan pada persamaan 4) dan koefisien-koefisien model akan diprediksi dengan metode regresi multivariabel.

$$\eta = \beta_o + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 \quad (4)$$

Dimana : η = fungsi respon teoritis
 $\beta_o, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ = koefisien-koefisien model
 X_i = coded variable

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ekstraksi Minyak Sawit *Off-grade*

Sawit *off-grade* terlebih dahulu dibanting-banting (*threshing*) untuk melepaskan brondolan dari tandan. Selanjutnya, brondolan dimasukkan ke dalam dandang dan dikukus selama 120 menit, suhu *steam* sekitar 100°C dan tekanan 1 atm. Penurunan kadar air pada berondolan sawit sebesar 3% selama proses sterilisasi. Brondolan yang telah disterilisasi selanjutnya diekstraksi secara mekanis menggunakan *spindle* pres. Perolehan minyak sawit *off-grade* dari hasil ekstraksi menggunakan *spindle* pres adalah sebesar 10%. Minyak sawit *off-grade* selanjutnya dianalisis untuk mengetahui angka asam dan kadar airnya. Karakteristik minyak dari sawit *off-grade* ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Minyak dari Sawit *Off-grade*

No.	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Kadar Asam Lemak Bebas	%	11,6
2	Kadar Air	%	1,47
3	Densitas (40°C)	kg/m ³	902,92
4	Viskositas Kinematik (40°C)	mm ² /s	13,27

Minyak sawit *off-grade* yang diperoleh pada penelitian ini memiliki kadar ALB yang tinggi (11,6%). Tingginya kadar asam lemak bebas pada minyak membutuhkan perlakuan awal sebelum masuk proses pembuatan biodiesel. Sedangkan kadar air yang ada dalam minyak dari sawit cukup tinggi yaitu 1,47%. Untuk mengurangi kadar air maka diperlukan proses pemanasan hingga suhu minyak 70°C selama 15 menit.

3.2 Esterifikasi

Esterifikasi telah menurunkan kadar asam lemak bebas dari 11,5% menjadi 1,3%. Konversi asam lemak bebas menjadi alkil ester adalah 88%. Hasil ini lebih rendah dengan hasil penelitian Hayyan dkk. [2011] yang mendapatkan penurunan kadar ALB dari 23,2% menjadi 1,3% pada rasio molar 1:12 suhu reaksi 60°C dan laju pengadukan sekitar 400 rpm. Konversi ALB menjadi alkil ester yang diperoleh sebesar 94%. Konversi yang diperoleh belum maksimum karena belum diketahui kondisi optimal untuk esterifikasi sehingga masih terdapat kadar ALB yang tidak terkonversi. Namun, hasil ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan penelitian Charoenchaitrakool dan Thienmethangkoon [2011] yang mendapatkan konversi ALB menjadi biodiesel sebesar 84,58% pada kondisi proses konsentrasi katalis asam sulfat 0,68%-b, rasio molar dan suhu reaksi 51°C dan rasio molar 6,1:1 selama 1 jam.

3.3 Yield dan Karakteristik Biodiesel

3.3.1 Yield Biodiesel

Pada pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade*, yield biodiesel berkisar antara 65,68% - 93,45%. Yield biodiesel tertinggi sebesar 93,45% dihasilkan pada konsentrasi katalis 0,75%-b rasio molar metanol : minyak 10:1 dan suhu reaksi 50°C. Sedangkan yield biodiesel terendah sebesar 65,68% diperoleh pada konsentrasi katalis 1,25%-b, rasio molar metanol : minyak 10:1 dan suhu reaksi 70°C. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, maka yield yang dihasilkan pada penelitian ini cukup tinggi. Charoenchaitrakool dan Thienmethangkoon [2011] telah melakukan optimasi pembuatan biodiesel dari *waste frying oil* (ALB 25,8%). Hasil penelitian diperoleh yield optimum sebesar 90,56%. Sedangkan Hayyan dkk. [2011] telah melakukan penelitian biodiesel dari CPO parit dan hanya memperoleh yield sebesar 87,23%. Perolehan yield yang tinggi karena hampir tercapainya kondisi proses yang optimum sehingga hampir semua ALB dan trigliserida terkonversi menjadi biodiesel dalam waktu 1 jam.

3.3.1 Karakteristik Biodiesel

Adapun karakteristik biodiesel yang akan dibandingkan dengan SNI terdiri dari angka asam, densitas, viskositas dan titik nyala ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 4. Hasil penelitian pada berbagai kondisi proses

Run	Natural Variables			Coded Variables			Yield		Densitas		Viskositas		Angka Asam	
	ξ_1	ξ_2	ξ_3	X_1	X_2	X_3	(%)		kg/m ³		cSt		mg-KOH/g	
1	0,75	6	50	-1	-1	-1	84,02	85,10	857	861	2,39	2,34	0,67	0,67
2	1,25	6	50	1	-1	-1	69,87	70,85	861	861	2,38	2,35	0,69	0,48
3	0,75	10	50	-1	1	-1	93,45	92,40	859	861	2,42	2,35	0,62	0,46
4	1,25	10	50	1	1	-1	76,16	75,51	861	863	2,35	2,38	0,59	0,54
5	0,75	6	70	-1	-1	1	88,04	81,39	861	863	2,36	2,38	0,72	0,66
6	1,25	6	70	1	-1	1	70,69	70,72	865	859	2,46	2,32	0,66	0,66
7	0,75	10	70	-1	1	1	71,92	70,69	863	863	2,39	2,38	0,53	0,40
8	1,25	10	70	1	1	1	65,28	66,51	859	863	2,40	2,38	0,58	0,67
9	0,58	8	60	-1,682	0	0	92,52	92,85	863	867	2,39	2,41	0,40	0,67
10	1,42	8	60	1,682	0	0	59,23	57,41	861	861	2,35	2,34	0,51	0,74
11	1	4,64	60	0	-1,682	0	86,66	87,59	863	861	2,36	2,35	0,41	0,43
12	1	11,36	60	0	1,682	0	82,20	83,34	863	863	2,39	2,39	0,55	0,67
13	1	8	43	0	0	-1,682	82,65	83,97	865	861	2,47	2,34	0,55	0,53
14	1	8	77	0	0	1,682	80,83	81,36	857	863	2,39	2,38	0,42	0,65
15	1	8	60	0	0	0	84,21	82,21	861	863	2,40	2,38	0,42	0,40
16	1	8	60	0	0	0	87,68	86,60	863	861	2,40	2,35	0,48	0,54
17	1	8	60	0	0	0	84,92	88,43	859	863	2,38	2,37	0,47	0,44
18	1	8	60	0	0	0	84,29	83,82	861	861	2,36	2,35	0,63	0,47
19	1	8	60	0	0	0	82,67	83,28	863	861	2,40	2,37	0,54	0,62
20	1	8	60	0	0	0	86,03	85,78	863	863	2,39	2,36	0,57	0,45

Tabel 3. Perbandingan karakteristik biodiesel hasil penelitian dengan biodiesel standar dalam SNI 04-7182-2006.

Karakteristik	Satuan	SNI Biodiesel	Biodiesel Hasil Penelitian
Densitas	kg/m ³	850-890	857-867
Viskositas Kinematik	mm ² /s	2,3-6,0	2,32-2,46
Titik Nyala	°C	Min. 100	137
Angka Asam	mg-KOH/g	Max. 0,8	0,40-0,67

Dari hasil pengujian, biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini memiliki karakteristik seperti, angka asam 0,40-0,72 mg-KOH. Berarti, biodiesel tersebut tidak korosif dan tidak merusak injektor mesin diesel. Sementara itu densitas biodiesel berkisar 857-867 kg/m³. Biodiesel dengan densitas dalam batas SNI dapat menghasilkan pembakaran yang sempurna. Menurut Prihandana dkk. [2006], biodiesel yang memiliki densitas melebihi ketentuan akan menghasilkan reaksi pembakaran tidak sempurna. Sehingga akan meningkatkan emisi dan keausan mesin. Viskositas kinematik biodiesel 2,32-2,46 mm²/s. Dengan nilai viskositas kinematik biodiesel sebesar 2,32-2,46 mm²/s maka tidak akan mengganggu kinerja injektor mesin diesel. Sementara itu, dari hasil pengujian titik nyala diperoleh titik nyala sebesar 137°C. Titik nyala yang diatas ambang batas Standar Nasional Indonesia (SNI) membuat biodiesel aman dalam penyimpanan.

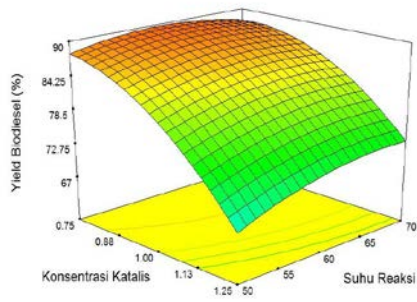
3.4 Desain dan Analisis Model Yield serta karakteristik Biodiesel

Model polinomial orde dua digunakan untuk memperkirakan kelengkungan (*curvature*) dari respon. Untuk desain model dua maka digunakan rancangan penelitian dengan CCD. Sedangkan data hasil penelitian pada berbagai kondisi proses ditampilkan pada Tabel 4.

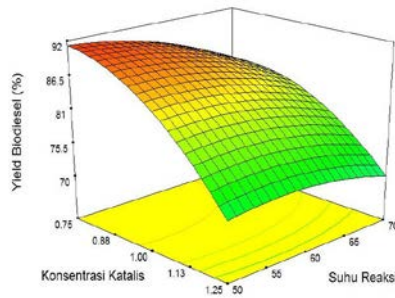
Dari data hasil penelitian, dilakukan regresi polinomial orde dua untuk mendapatkan persamaan yang mendekati nilai masing-masing respon. Adapun respon dari penelitian ini yaitu yield biodiesel (y_1), angka asam (y_2), densitas (y_3) dan viskositas (y_4). Koefisien masing masing persamaan yang dihasilkan dari pengolahan data ditampilkan ke dalam Tabel 5.

Tabel 5. Koefisien-koefisien persamaan pada berbagai respon

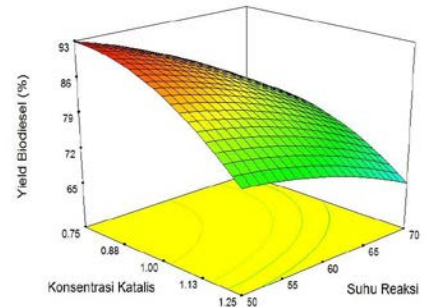
Koefisien	Respon			
	y_1	y_2	y_3	y_4
β_0	-54,64	2,99	823,9	2,59
β_1	52,86	-2,34	14,93	-0,03
β_2	13,27	-0,01	1,38	0,02
β_3	2,85	-0,03	0,8	-0,09
β_{12}	1,43	0,08	-0,5	-0,08
β_{13}	0,59	0,01	-0,3	-0,02
β_{23}	-0,2	-0,01	-0,01	-0,002
β_{11}	-65,83	-0,61	2,84	0,03
β_{22}	-0,19	0,04	0,01	0,005
β_{33}	-0,02	2,36	-3,5	0,0001



a. Rasio molar 6:1

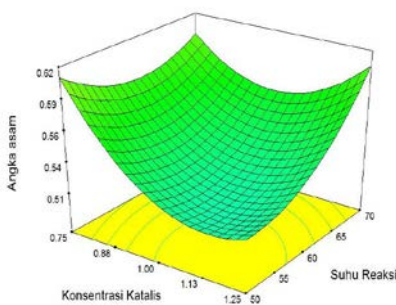


b. Rasio molar 8:1

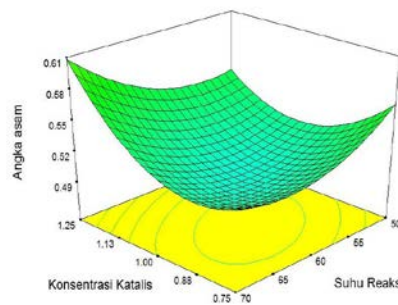


c. Rasio molar 10:1

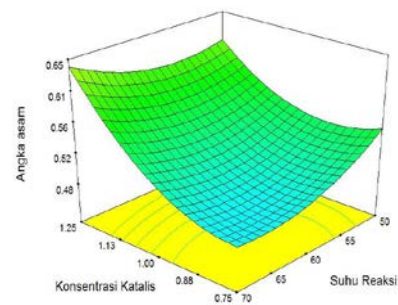
Gambar 4. Grafik permukaan pengaruh kondisi konsentrasi katalis NaOH dan suhu reaksi terhadap yield biodiesel pada berbagai variasi rasio molar metanol : minyak.



a. Rasio molar 6:1

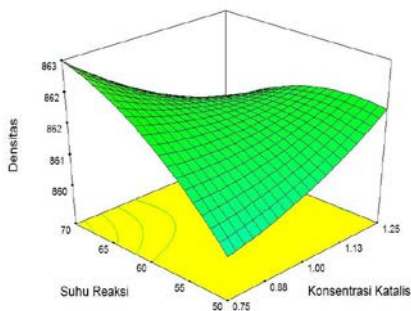


b. Rasio molar 8:1

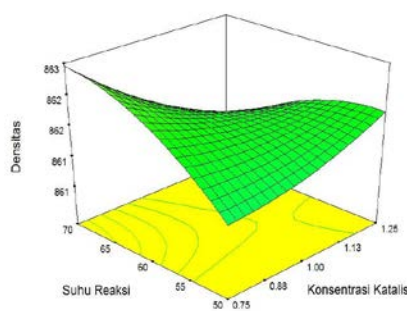


c. Rasio molar 10:1

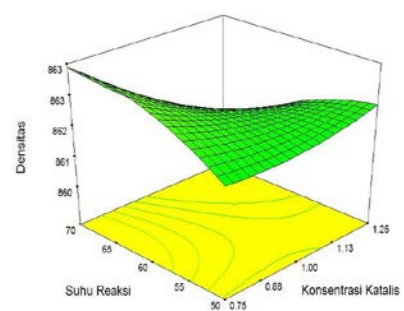
Gambar 5. Grafik permukaan pengaruh kondisi konsentrasi katalis NaOH dan suhu reaksi terhadap angka asam biodiesel pada berbagai variasi rasio molar metanol : minyak.



a. Rasio molar 6:1



b. Rasio molar 8:1



c. Rasio molar 10:1

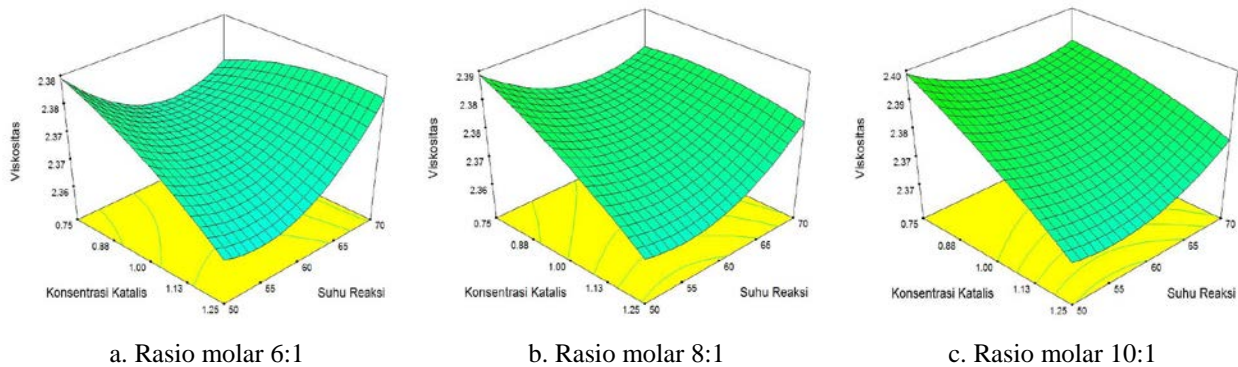
Gambar 6. Grafik permukaan pengaruh kondisi konsentrasi katalis NaOH dan suhu reaksi terhadap densitas biodiesel pada berbagai variasi rasio molar metanol : minyak.

3.4.1 Analisis Yield Biodiesel

Pada perbandingan rasio molar metanol : minyak 6:1 (Gambar 4.a), peningkatan jumlah katalis akan menurunkan yield biodiesel sedangkan peningkatan suhu reaksi akan meningkatkan yield. Sementara itu pada perbandingan rasio molar 8:1 (Gambar 4.b), peningkatan jumlah katalis juga akan menurunkan yield biodiesel sedangkan peningkatan suhu tidak terlalu memberikan pengaruh yang nyata terhadap yield biodiesel. Pada perbandingan rasio molar metanol : minyak 10:1 (Gambar 4.c), penurunan yield terjadi pada peningkatan

konsentrasi katalis namun berbanding terbalik terhadap peningkatan suhu reaksi.

Phan dan Phan [2008] telah mempelajari pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap yield biodiesel dari minyak goreng bekas. Yield biodiesel menurun pada konsentrasi katalis 1 hingga 1,5%-b. Peningkatan jumlah katalis akan berdampak negatif terhadap yield biodiesel karena terjadinya reaksi pembentukan sabun (saponifikasi). Canakci dkk. [1999] mengungkapkan bahwa penambahan konsentrasi katalis setelah dicapai kondisi maksimum hanya akan menyebabkan terbentuknya sabun sehingga menurunkan yield



Gambar 7. Pengaruh kondisi konsentrasi katalis NaOH dan suhu reaksi terhadap viskositas biodiesel pada berbagai variasi rasio molar metanol : minyak.

biodiesel dan mempersulit pemisahan. Selain itu, terbentuknya sabun juga akan menghambat pemisahan biodiesel dengan gliserol [Leung dkk., 2010]. Sementara itu, Phan dan Phan [2008] juga mengungkapkan penurunan yield terjadi pada suhu reaksi diatas 70°C karena sebagian metanol telah berkurang melalui penguapan.

3.4.2 Analisis Angka Asam

Pengaruh variasi rasio molar, konsentrasi katalis dan suhu reaksi terhadap angka asam biodiesel yang dipelajari tidak terlalu nyata. Angka asam biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 0,4 hingga 0,67 mg-KOH/g (Gambar 5). Angka tersebut masih berada dalam kisaran standar angka asam biodiesel Indonesia ($<0,8$ mg-KOH/g). Angka asam meningkat seiring peningkatan konsentrasi katalis dan penurunan suhu reaksi. Namun Penggunaan berbagai kondisi proses transesterifikasi ternyata tidak menunjukkan peningkatan ataupun penurunan angka asam yang nyata.

3.4.3 Analisis Densitas

Pengaruh variasi rasio molar, konsentrasi katalis dan suhu reaksi terhadap densitas yang dipelajari tidak terlalu nyata. Penggunaan berbagai kondisi proses transesterifikasi tidak menunjukan peningkatan ataupun penurunan yang nyata. Densitas biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 857 hingga 867 kg/m^3 (Gambar 6). Peningkatan densitas terjadi seiring peningkatan konsentrasi katalis NaOH dan suhu reaksi. Nilai densitas yang diperoleh pada penelitian ini masih berkisar pada nilai densitas biodiesel standar Indonesia ($850\text{-}890$ kg/m^3).

3.4.4 Analisis Viskositas

Pengaruh variasi kondisi proses terhadap viskositas biodiesel yang dipelajari tidak terlalu memberikan peningkatan atau penurunan viskositas yang nyata. Penggunaan berbagai kondisi proses transesterifikasi tidak menunjukan peningkatan ataupun penurunan yang nyata di setiap variasi rasio molar metanol : minyak. Viskositas biodiesel cenderung konstan pada peningkatan suhu 50 hingga 55°C dan meningkat tajam setelah kenaikan suhu 55°C hingga 70°C . Sedangkan penurunan viskositas terjadi pada setiap peningkatan konsentrasi

katalis NaOH dari 0,75%-b hingga 1,25%-b. Viskositas biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini berkisar antara 2,32 hingga 2,46 mm^2/s (Gambar 7). Nilai ini masih dalam batas nilai viskositas biodiesel standar Indonesia ($2,3\text{-}6,0$ mm^2/s).

5. Kesimpulan

Biodiesel dapat dihasilkan dari minyak hasil ekstraksi sawit *off-grade* melalui dua reaksi bertahap. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa peningkatan suhu reaksi diatas 60°C dan konsentrasi katalis diatas 0,75%-b akan mengakibatkan penurunan yield biodiesel. Sedangkan kondisi operasi tidak menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap angka asam, densitas dan viskositas biodiesel. Yield biodiesel tertinggi sebesar 93,45% diperoleh pada konsentrasi katalis NaOH 0,75%-b, rasio molar 1:10 dan suhu reaksi 50°C .

Daftar Pustaka

- Arifin, J.K., 2009, Pemanfaatan Buah Sawit Sisa Sortiran Sebagai Sumber Bahan Baku Asam Lemak, Tesis, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional, 2006, Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182:2006 tentang Biodiesel, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Canakci, M., dan Gerpen, J.V., 1999, Biodiesel Production via Acid Catalysis, *Trans. ASAE*, 42, 1203-1210.
- Charoenchaitrakool, M., dan Thienmethangkoon, J., 2011, Statistical optimization for biodiesel production from waste frying oil through two-step catalyzed process, *Fuel Processing Technology*, 92, 112-118
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2011, "*Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*", Edisi 8, Jakarta.
- Encinar, J.M., Gonzalez, J.F dan Rodriguez-Reinares, A., 2005, Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics

- of the biodiesel, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44, 5491–9.
- Felizardo, P., Correia, M.J.N., Paposo, I., Mendes, J.F., Berkemeier, R., dan Bordado, J.M., 2006, Production of biodiesel from waste frying oils, *Waste Manage*, 26, 487-94.
- 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 Technol.*, 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.
- Leung, D.Y.C., Wu X., dan Leung M.K.H., 2010, A review on biodiesel using catalyzed transesterification, *Applied Energy*, 87, 1083-1095.
- Marchetti, J.M., Miguel, V.U., dan Errazzu, A.E., 2007, Possible methods for biodiesel production, *Renewable and Sustainable Energy*, 11, 1300-1311
- Phan, A.N., dan Phan, T.M., 2008, Biodiesel production from waste cooking oils, *Fuel*, 87, 3490-3496
- Prihandana, R., Hendroko, R., dan Nuramin, M., 2006, *Menghasilkan Biodiesel Murah*, PT Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Zhang, Y., Dube, M.A., McLean D.D., dan Kates, M., 2003, Biodiesel production from waste cooking oil, 2. Economic assessment and sensitivity analysis, *Bioresour. Technol.*, 90, 229–240.
- Zhang, Y., Lu, X.H., Yu, Y.L., dan Ji, J.B., 2008, Study on the coupling process of catalytic esterification and extraction of high acid value waste oil with methanol