

Pembuatan Biodiesel dari Sawit *Off Grade* Menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi sebagai Katalis pada Tahap Transesterifikasi

Romie Zulfadli¹, Zuchra Helwani¹, Syaiful Bahri²

¹Laboratorium Teknologi Oleokimia, ²Laboratorium Teknik Reaksi Kimia
Program Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau
e-mail : romie.zulfadli@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia has big amount of natural zeolite reserve which is spread in Sumatra, Java and Borneo. It can be utilized as catalyst in transesterification step to produce biodiesel from off grade palm fruit. This research aims to produce biodiesel from low quality raw material and determine the effectiveness of the process by looking at the process conditions effect such as temperature, methanol/oil molar ratio and catalyst concentration on the yield of biodiesel. Biodiesel production from off grade palm oil is done with two step reactions, that is esterification and transesterification. The esterification step is done to reduce free fatty acid (FFA) concentration till <2% as condition in transesterification step. Esterification step use H_2SO_4 as catalyst, whereas modified zeolite with KOH solution use in transesterification step. Both of process are done in three-neck flask, using magnetic stirrer and condenser. FFA concentration from raw material can be reduce from 11,32% to 0,989% in esterification step with 12:1 methanol/oil ratio, 60 °C temperature and 1%-wt catalyst concentration. Biodiesel with highest yield from transesterification step is 95,84% at 60 °C temperature, 8:1 methanol/oil ratio and 7,36% catalyst concentration. The result of research furthermore processed by Response Surface Methodology (RSM) to determine the effect of process condition toward biodiesel yield. Based on P-value analysis, process conditions that have real effect to the response (biodiesel yield) are temperature and catalyst concentration.

Keywords : Biodiesel, Esterification, Natural Zeolite, Off Grade Palm Fruit, Response Surface Methodology (RSM), Transesterification.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah pertumbuhan penduduk. Congressional Research Services (CRS) pada tahun 2003, dalam laporannya kepada Komisi Energi di Kongres Amerika Serikat menyebutkan bahwa cadangan bahan bakar fosil dunia akan habis dalam waktu 30 hingga 50 tahun mendatang (Yunizurwan, 2007).

Biodiesel merupakan bahan bakar yang dikembangkan saat ini karena dapat diproduksi dari minyak berbagai tumbuhan seperti sawit, jarak pagar dan lain-lain yang sumbernya bisa didapatkan secara berkelanjutan. Biodiesel bersifat lebih ramah lingkungan dibanding diesel yang bersumber dari minyak bumi, dapat terurai

(*biodegradable*), memiliki sifat pelumasan terhadap mesin piston, mampu mengeliminasi efek rumah kaca dan kontinuitas ketersediaan bahan baku terjamin.

Biodiesel yang dikembangkan saat ini berbahan baku minyak sawit mentah (CPO). Namun harga CPO masih tergolong mahal dan akan bersaing dengan kebutuhan bahan pangan. Sawit *off grade* merupakan salah satu sumber minyak nabati yang belum termanfaatkan dan berasal dari sisa sortasi pabrik CPO. Sawit *off grade* terdiri dari buah muda, abnormal, lewat matang dan busuk. Ketersediaan sawit *off grade* sebagai bahan baku cukup banyak, yaitu sekitar 2 hingga 3 ton perjam dari sebuah pabrik CPO dengan kapasitas olah 30 ton perjam

sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif pembuatan biodiesel walaupun memiliki kadar asam lemak bebas yang tinggi (Budiawan dkk., 2013).

Secara umum biodiesel diproduksi menggunakan katalis homogen (asam atau basa). Kekurangan dari katalis homogen adalah pada proses pemisahan katalis dengan produk dan *recovery* katalis cukup sulit (Chopade dkk., 2012). Katalis homogen tersebut dapat digantikan dengan katalis heterogen dengan beberapa kelebihan yang diberikan, diantaranya memiliki stabilitas pada suhu tinggi, memiliki banyak situs asam kuat, pori yang besar, permukaan yang bersifat hidrofobik (Chouhan dan Sarma, 2011).

Zeolit alam merupakan material mikropori yang memberikan luas permukaan yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai katalis pengemban logam. Pengembanan logam pada zeolit akan mendistribusikan logam tersebut secara merata pada permukaan pengemban, sehingga akan memperluas permukaan spesifik sistem katalis (Kusuma dkk., 2011). Pada penelitian ini digunakan zeolit alam yang berasal dari daerah Bandung (Jawa Barat) sebagai katalis pengemban logam kalium pada tahap transesterifikasi pembuatan biodiesel dari sawit *off grade*.

Biodiesel dengan bahan baku berkadar ALB tinggi dapat dibuat melalui reaksi dua tahap yakni reaksi esterifikasi yang dilanjutkan dengan reaksi transesterifikasi. Hayyan dkk., (2011) membuat biodiesel dari *sludge palm oil* (SPO) dengan perolehan sebesar 87,23%. Kondisi optimum pada reaksi esterifikasi adalah rasio molar metanol : minyak 8 : 1, konsentrasi katalis H_2SO_4 0,75%-b dan suhu reaksi 60°C selama 1 jam, sedangkan pada reaksi transesterifikasi kondisi optimum didapatkan pada rasio molar metanol : minyak 10 : 1, konsentrasi katalis KOH 1%-b, suhu reaksi 60°C dan laju pengadukan 400 rpm selama 1 jam.

Reaksi dua tahap juga dapat diterapkan pada minyak sawit *off grade* yang memiliki nilai ekonomis lebih tinggi dibandingkan SPO. Perolehan biodiesel dari minyak sawit *off grade* maksimum didapat sebanyak 83,45%. Kondisi optimum pada reaksi esterifikasi adalah rasio molar metanol : minyak 12 : 1, konsentrasi katalis H_2SO_4 1%-b dan suhu reaksi 60°C selama 1 jam. Sedangkan pada reaksi transesterifikasi kondisi optimum didapatkan pada rasio molar metanol : minyak 10:1, konsentrasi katalis NaOH 0,75%-b, suhu reaksi 50°C selama 1 jam (Budiawan dkk., 2013).

Penggunaan katalis homogen menyebabkan sulitnya proses pemisahan katalis dengan produk dan juga tidak bisa digunakan kembali setelah reaksi (Kusuma dkk., 2011). Jalan keluar yang ditawarkan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan memanfaatkan zeolit alam sebagai katalis heterogen pada reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel.

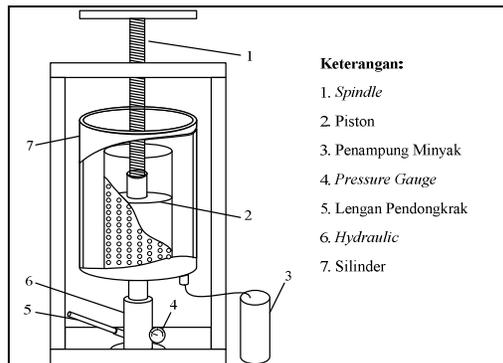
Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biodiesel dari bahan baku kualitas rendah dengan proses yang efektif, mengetahui efektifitas proses pembuatan biodiesel dengan reaksi dua tahap menggunakan katalis heterogen zeolit alam pada reaksi transesterifikasi dan mengetahui pengaruh temperatur reaksi, rasio molar metanol : minyak dan konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel.

2. Metode Penelitian

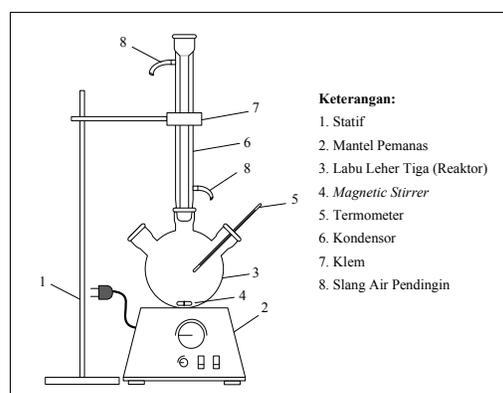
2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah sawit *off grade* yang diperoleh dari inkubator Fakultas Pertanian Universitas Riau, aquades, zeolit alam, KOH p.a, metanol p.a, H_2SO_4 , etanol teknis, indikator PP dan NaOH. Sedangkan alat yang digunakan adalah rangkaian alat *spindle hydraulic press* seperti yang ditampilkan pada Gambar 1., rangkaian alat pembuatan biodiesel seperti yang ditampilkan pada Gambar 2., erlenmeyer, buret, gelas piala,

piknometre, viskometre Oswald, cawan penguap, kertas saring dan corong pisah.



Gambar 1. Rangkaian Alat *Spindle Hydraulic Press*



Gambar 2. Rangkaian Alat Proses Pembuatan Biodiesel

2.2. Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari variabel tetap dan variabel berubah. Variabel tetap pada penelitian ini adalah Berat bahan baku sebanyak 100 gram, ukuran partikel katalis +100 *mesh* – 200 *mesh*, kondisi operasi pada reaksi esterifikasi yang meliputi konsentrasi katalis H₂SO₄ 1%-b minyak sawit, rasio molar metanol : minyak 12:1 dan suhu reaksi 60°C serta waktu reaksi selama 2 jam pada reaksi transesterifikasi. Sedangkan variabel terdapat pada kondisi operasi reaksi transesterifikasi yang meliputi konsentrasi katalis = 2%-b; 4%-b dan 6%-b, rasio molar metanol : minyak = 6:1; 8:1 dan 10:1 dan suhu reaksi = 50°C, 60°C dan 70°C.

2.3. Metode Penelitian

2.3.1. Persiapan Bahan Baku dan Katalis

Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan biodiesel pada penelitian ini adalah sawit *off grade* yang lewat matang dan busuk. Sawit tersebut diekstraksi menggunakan metode artisanal. Sawit *off grade* dicuci kemudian disterilkan dalam dandang selama 150 menit. Brondolan sawit yang telah steril diekstrak menggunakan alat press hingga diperoleh minyak. Minyak disaring menggunakan saringan yang berukuran 60 *mesh* dan ditampung dalam wadah. Minyak yang ditampung diukur kadar air dan kadar asam lemak bebasnya.

Katalis yang digunakan merupakan katalis homogen untuk reaksi esterifikasi, sedangkan untuk reaksi transesterifikasi digunakan katalis heterogen. Katalis homogen yang digunakan adalah H₂SO₄ sedangkan katalis heterogen yang digunakan adalah K/Zeolit. Zeolit alam diimpregnasi menggunakan larutan KOH 50 g/100 ml dan dilakukan kalsinasi selama 4 jam dengan suhu 450°C.

2.3.2. Reaksi Dua Tahap

Reaksi pembuatan biodiesel berlangsung secara dua tahap, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Minyak sawit *off grade* ditimbang sebanyak 100 gram sebagai bahan baku tahap esterifikasi. Reaksi dilakukan menggunakan katalis H₂SO₄. Hasil reaksi esterifikasi merupakan bahan baku untuk tahap transesterifikasi yang memiliki kadar ALB < 2%. Pada tahap ini digunakan zeolit alam teraktivasi sebagai katalis.

2.3.3. Analisa Biodiesel

Karakteristik biodiesel yang diuji meliputi angka asam, berat jenis, titik nyala (*flash point*) dan kekentalan (viskositas kinematik).

2.4. Rancangan Penelitian dan Analisa Data

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*, *start point* dan *central point*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Ekstraksi Sawit *Off Grade*

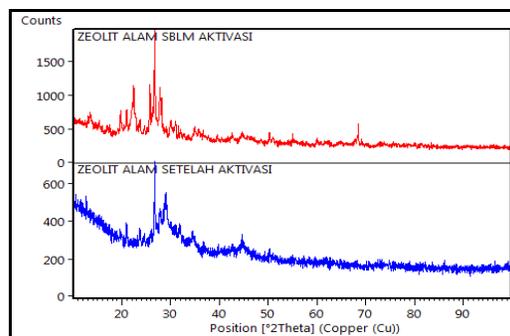
Ekstraksi sawit *off grade* dilakukan untuk memperoleh minyak sawit sehingga dapat dikonversi menjadi biodiesel. Karakteristik minyak sawit *off grade* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Minyak Sawit *Off Grade*

No	Kriteria Uji	Nilai
1	Warna	Jingga kemerah-merahan
2	Densitas	848 kg/m ³
3	Viskositas	31,73 mm ² /s
4	Kadar asam lemak bebas	11,49%
5	Kadar air	3,6%

3.2. Karakteristik Katalis K/Zeolit

Zeolit alam sebelum dan sesudah modifikasi dilakukan pengujian terhadap jumlah mineral yang dimiliki menggunakan instrumen XRD. Pola yang terbentuk kemudian dibandingkan dengan pola standar untuk mengetahui fasa kristalnya. Pola XRD untuk zeolit mentah dan zeolit setelah impregnasi ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola XRD Zeolit Alam Sebelum dan Sesudah Aktivasi

Difraktogram pada Gambar 3 menunjukkan bahwa zeolit alam sebelum aktivasi yang berasal dari Bandung, Jawa Barat 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°.

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°; 23,6°; 26,7°; 27,7°; 28,9°; 34,5° dan 44,6°. Terbentuknya K₂O merupakan indikasi bahwa KOH yang terimpregnasi pada permukaan matriks zeolit telah termodifikasi melalui proses kalsinasi. K₂O memiliki aktivitas katalitik yang tinggi sehingga dapat menambah luas permukaan spesifik sistem katalis tersebut (Kusuma, dkk., 2011).

3.3. Penurunan Kadar Asam Lemak Bebas

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 turun menjadi 0,989%.

3.4. Yield dan Karakteristik Biodiesel

Yield tertinggi biodiesel diperoleh sebesar 95,84% pada kondisi operasi dengan suhu reaksi 60 °C, rasio molar

metanol : minyak 8:1 serta konsentrasi katalis 7,36%.

Karakteristik yang dianalisis diantaranya adalah densitas, viskositas

kinematik, titik nyala dan angka asam yang kemudian dibandingkan dengan karakteristik biodiesel berdasarkan SNI, ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Biodiesel

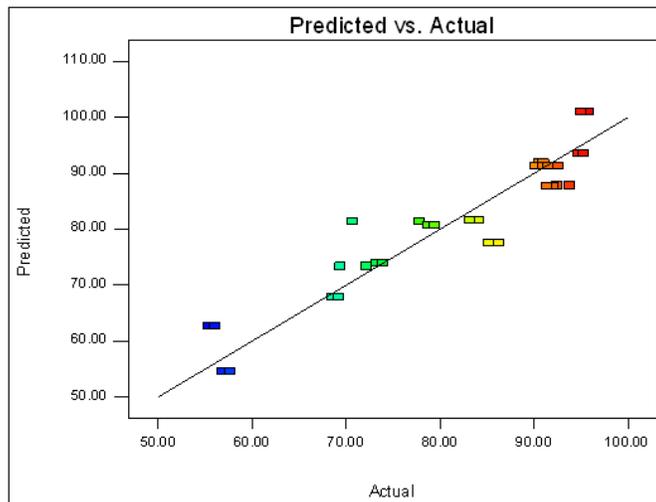
No	Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	Standar SNI 04-7182-2006
1	Densitas	kg/m ³	856,5	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	mm ² /s	4,81	2,3 – 6,0
3	Titik nyala	°C	134	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,60	Maks. 0,8

3.5. Rancangan dan Analisa Model Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh dilakukan pengolahan data lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Setelah diperoleh data hasil percobaan dari variasi kondisi proses diperoleh model seperti pada persamaan 1.

$$y = 91,24 + 7,46X_1 + 1,62X_2 + 3,95X_3 - 2,21X_1X_2 - 3,70X_1X_3 - 5,84X_2X_3 - 5,68X_1^2 - 7,30X_2^2 + 1,08X_3^2 \dots\dots\dots (1)$$

Nilai R² yang didapat dari model regresi pada penelitian ini adalah 0,9023. Nilai tersebut relatif tinggi (lebih besar dari 0,9), ini membuktikan bahwa terdapat kecocokan antara nilai aktual yang diperoleh dengan nilai prediksi dari respon (Hameed dkk., 2009). Grafik perbandingan antara nilai aktual dan prediksi dari *yield* biodiesel ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Nilai Aktual dan Nilai Prediksi dari *Yield* Biodiesel

Dari pengolahan data dengan menggunakan program *Design Expert 8.0*,

analisis varian dapat diringkas dalam Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Varian Terhadap Respon

Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata	F Value	p-value Prob > F	F _{Tabel} (^a F _{0,05,9,30})
Model	5259,63	9	584,40	30,79	< 0,0001	2,21
X ₁ -Suhu reaksi	1521,96	1	1521,96	80,19	< 0,0001	
X ₂ -Rasio Molar	71,44	1	71,44	3,76	0,0618	
X ₃ -Konsentrasi Katalis	425,48	1	425,48	22,42	< 0,0001	
X ₁ X ₂	78,28	1	78,28	4,12	0,0512	
X ₁ X ₃	219,41	1	219,41	11,56	0,0019	
X ₂ X ₃	545,11	1	545,11	28,72	< 0,0001	
X ₁ ²	929,39	1	929,39	48,97	< 0,0001	
X ₂ ²	1534,27	1	1534,27	80,84	< 0,0001	
X ₃ ²	33,82	1	33,82	1,78	0,1920	
Residual	569,37	30	18,98			
Lack of Fit	530,04	5	106,01	67,38	< 0,0001	
Pure Error	39,33	25	1,57			
Cor Total	5828,99	39				

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 metanol : minyak (X_2) dan konsentrasi katalis (X_3).

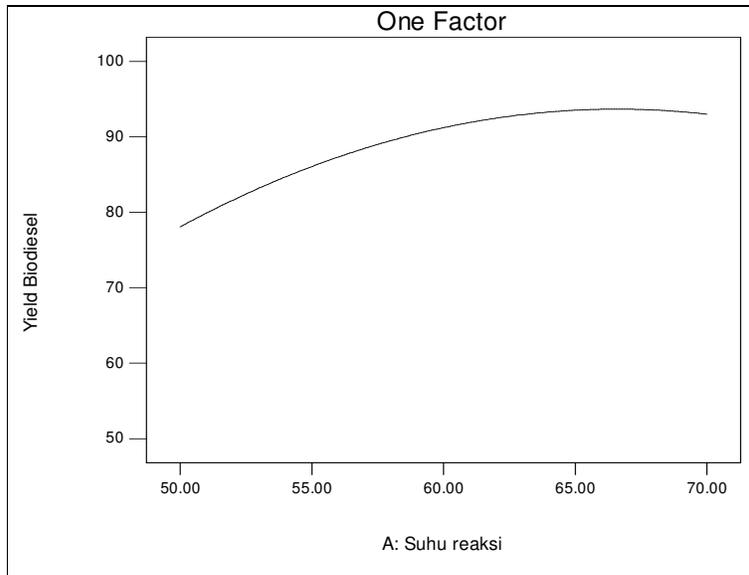
Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa variabel yang memberikan pengaruh nyata terhadap respon (*yield* biodiesel) diantaranya X_1 mewakili suhu reaksi, X_3 mewakili konsentrasi katalis, X_1X_3 mewakili interaksi antara suhu reaksi dan konsentrasi katalis, X_2X_3 mewakili interaksi antara rasio molar metanol : minyak dan konsentrasi katalis, X_1^2 (suhu reaksi kuadratik) serta X_2^2 (rasio molar

kuadratik) karena memiliki *P-value* besar dari nilai α (0,05). Sedangkan rasio molar metanol : minyak tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

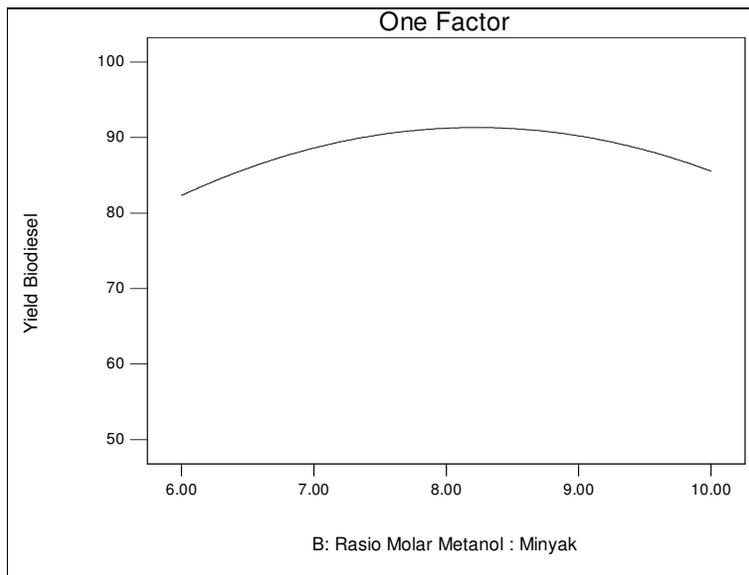
3.6. Pengaruh Kondisi Proses dan Interaksinya Terhadap Yield Biodiesel

3.6.1. Pengaruh Kondisi Proses Terhadap Yield Biodiesel

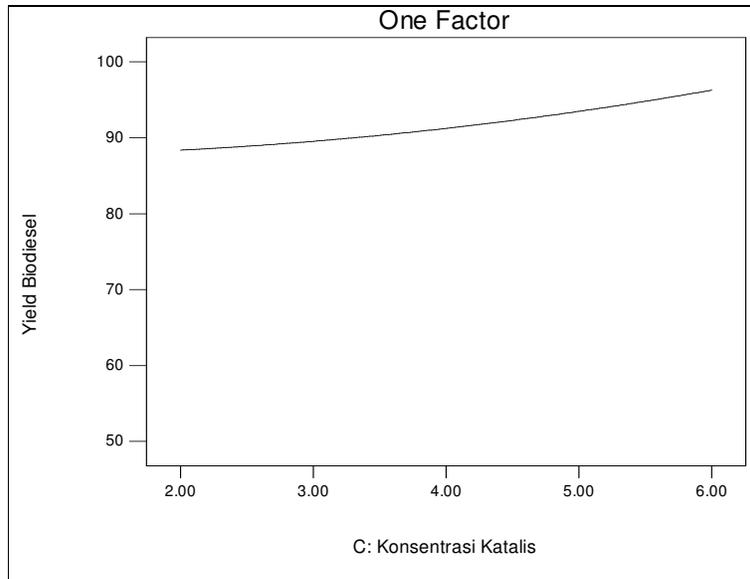
Dari hasil pengujian *P-value*, kondisi proses yang memberikan pengaruh paling signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah suhu reaksi dan konsentrasi katalis. Sedangkan rasio molar metanol : minyak tidak memberikan pengaruh yang terlalu signifikan. Grafik pengaruh dari ketiga kondisi proses tersebut terhadap *yield* biodiesel ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. (a). Suhu Reaksi



Gambar 5. (b). Rasio Molar



Gambar 5. (c). Konsentrasi Katalis

Gambar 5. Pengaruh Kondisi Proses Terhadap *Yield* Biodiesel : (a). Suhu Reaksi; (b). Rasio Molar dan (c). Konsentrasi Katalis

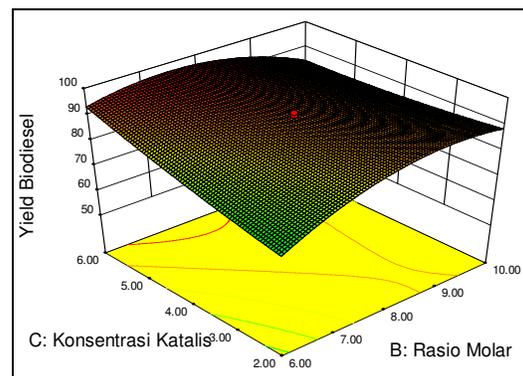
Gambar 5. (a) menampilkan pengaruh suhu reaksi terhadap *yield* biodiesel pada kondisi rasio molar metanol : minyak 8:1 dan konsentrasi katalis 4%, dapat dilihat bahwa suhu reaksi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan *yield* biodiesel. *Yield* biodiesel terus meningkat seiring dengan meningkatnya suhu reaksi namun turun pada suhu 70 °C.

Gambar 5. (b) menampilkan pengaruh rasio molar metanol : minyak terhadap *yield* biodiesel pada kondisi suhu reaksi 60 °C dan konsentrasi katalis 4%. Rasio molar metanol : minyak tidak memberikan pengaruh yang terlalu signifikan. Sehingga, rasio molar metanol : minyak 8 : 1 sudah cukup untuk memperoleh *yield* biodiesel yang maksimal.

Gambar 5. (c) menampilkan pengaruh konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel pada kondisi suhu reaksi 60 °C dan rasio molar metanol : minyak 8:1. *Yield* biodiesel terus meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis hingga pada konsentrasi 6%.

3.6.2. Pengaruh Interaksi Kondisi Proses Terhadap *Yield* Biodiesel

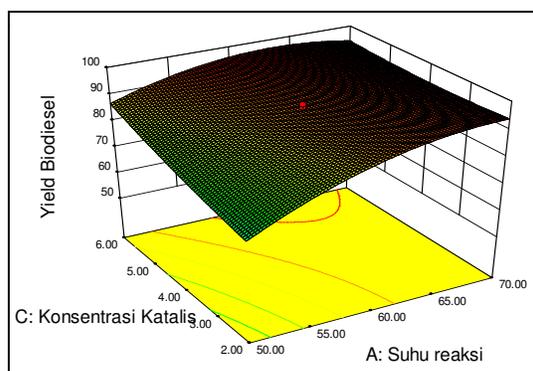
Interaksi antar kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan *yield* biodiesel berdasarkan pada pengujian *P value* adalah interaksi antara suhu reaksi dan konsentrasi katalis serta interaksi antara rasio molar metanol : minyak dan konsentrasi katalis. Pengaruh interaksi rasio molar metanol : minyak dan konsentrasi katalis dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Interaksi Rasio Molar Metanol : Minyak dan Konsentrasi Katalis pada Suhu Reaksi 60°C

Dari Gambar 6 tersebut terlihat bahwa pada rasio molar 10 : 1, *yield* biodiesel yang dihasilkan lebih besar pada konsentrasi katalis 2% dibandingkan konsentrasi yang lebih tinggi. Pada rasio molar 6 : 1, *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin tinggi seiring dengan peningkatan konsentrasi katalis.

Pengaruh interaksi suhu reaksi dan konsentrasi katalis dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh Interaksi Suhu Reaksi dan Konsentrasi Katalis pada Rasio Molar Metanol : Minyak 8 : 1

Dari kurva respon permukaan pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa dengan adanya peningkatan suhu dan konsentrasi katalis, *yield* biodiesel juga akan meningkat. Akan tetapi, pada suhu 70°C *yield* biodiesel tidak mengalami peningkatan seiring dengan penambahan konsentrasi katalis. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada suhu 70°C reaksi sudah menghasilkan *yield* yang maksimal pada konsentrasi katalis 2%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Biodiesel dapat dihasilkan dari minyak sawit *off grade* yang memiliki kualitas rendah melalui reaksi dua tahap dengan katalis zeolit alam termodifikasi pada tahap reaksi transesterifikasi.
2. *Yield* biodiesel tertinggi yang diperoleh adalah sebanyak 95,84%

dengan kondisi operasi suhu reaksi 60 °C, rasio molar metanol : minyak 8:1 serta konsentrasi katalis 7,36%.

3. Kondisi operasi yang memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan *yield* biodiesel adalah suhu reaksi dan konsentrasi katalis.

Daftar Pustaka

- Budiawan, R., Zulfansyah, Fatra, W., & Helwani, Z. (2013). Off-grade Palm Oil as a Renewable Raw Material for Biodiesel Production By Two-Step Processes. *ChESA Conference*, Banda Aceh.
- Chopade, S.G., Kulkarni, K.S., Kulkarni, A.D., & Topare, N.S. (2012). Solid Heterogeneous Catalysts for Production of Biodiesel from Trans-Esterification of Triglycerides with Methanol : A Review. *Acta Chimica & Pharmaceutica Indica*, 2, 8-14.
- Chouhan, A.P.S. & Sarma, A.K. (2011). Modern heterogeneous catalysts for biodiesel production: A comprehensive review. *Elsevier Journal-Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4378-4399.
- Hameed, B.H., Tan, I.A.W. & Ahmad, A.L. (2009). Preparation of Oil Palm Empty Fruit Bunch-Based Activated Carbon for Removal of 2,4,6-trichlorophenol: Optimization Using Response Surface Methodology. *Elsevier Journal-Journal of Hazardous Materials*, 164, 1316-1324.
- Hayyan, A., Alam, M.Z., Kabbashi, N.A., Mirghani, M.E.S., 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. *Elsevier Journal-Fuel Processing Technology*, 52, 920 – 924.
- Kusuma, R.I., Hadinoto, J.P., Ayucitra, A. & Ismadji, S. (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.

Yunizurwan. (2007). Analisis Potensi dan Peluang Ekonomi Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L*) sebagai Bahan Bakar Alternatif. Tesis Pascasarjana, Teknik Industri, Universitas Sumatera Utara, Medan.