

PROSIDING

Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia 2012

“The Challenge of Chemical Engineering Institutions
in Product Innovation for a Sustainable Future”



Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Depok, Jawa Barat, Indonesia
20-24 September 2012

Diterbitkan oleh:



Asosiasi Pendidikan Tinggi
Teknik Kimia Indonesia

Didukung oleh:



Disponsori oleh:





Optimization Proses Produksi Biodiesel Berbantuan Gelombang Ultrasonik Dengan Metode Central Composite Design

Widayat^{1,2,*}, Hadiyanto^{1,2}, Hantoro Satriadi²

¹Center of Bioprocess and Renewable Energy (C-BIORE)

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jln. Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50239, Telp/Fax: (024)7460058

* Email: yayat_99@yahoo.com

ABSTRAK

Biodiesel merupakan salah satu energy alternatif yang digalakkan oleh pemerintah. Biodiesel dapat diproduksi dari minyak nabati dan salah satunya minyak kelapa. Proses produksi biodiesel secara konvensional membutuhkan waktu yang lama, dimana kelemahan ini dapat diatasi dengan teknologi ultrasonik. Pada penelitian ini dilakukan proses produksi biodiesel dengan menggunakan bantuan gelombang ultrasonik. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kondisi optimum untuk variabel rasio metanol/minyak, jumlah katalis, dan waktu reaksi. Alat yang digunakan antara lain ultrasonic cleaner dengan frekuensi 40 kHz yang dioperasikan pada suhu 60 °C. Variabel proses dilakukan ketika reaksi transesterifikasi, yaitu rasio metanol/minyak 3:1 - 9:1 dengan jumlah katalis 0,3% - 0,7% serta variasi waktu reaksi 30 - 50 menit pada suhu 50 °C. Hasil penelitian yang memberikan konversi tertinggi dicapai pada rasio metanol/minyak 9,12 - 11,05, jumlah katalis 0,6 - 0,84%, dengan waktu reaksi 32,91 - 56,82 menit. Konversi FAME yang dihasilkan sebesar 94,55%.

Kata kunci: biodiesel; gelombang ultrasonik; minyak kelapa, *central composite design*

1. Pendahuluan

Konsumsi bahan bakar minyak solar mengalami peningkatan rata - rata 7% per tahun. Pada tahun 2020 konsumsi dari solar diperkirakan 34 juta kiloliter. Sekitar 40 % dari konsumsi solar tersebut merupakan impor. Sejak tahun 2004, Indonesia menjadi *net-importer* minyak[1]. Solar merupakan sumber energi dari bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui. Untuk pengembangan bahan bakar pengganti solar digunakan biodiesel yang merupakan bahan bakar dapat diperbaharui.

Biodiesel dapat diproduksi dari minyak nabati atau lemak dengan reaksi proses esterifikasi transesterifikasi[2]. Beberapa keuntungan biodiesel adalah menurunkan efek rumah kaca, *biodegradable*, tidak toksik, serta secara spesifik menurunkan kadar

yaitu CO sebesar 65%, CO₂ sebesar 78%, SO₂ sebesar 90% dan karbon tidak terbakar sebesar 50% jika dibandingkan bahan bakar fosil [2],[3],[4]. Sumber bahan minyak nabati yang sering digunakan antara lain kelapa sawit (*Elaeis*)[5], minyak kelapa, jarak pagar (*Jatropha curcas*) [6][7], dan biji karet (*Hevea Brasiliensis*)[8],[9].

Reaksi utama produksi biodiesel adalah reaksi esterifikasi dan transesterifikasi[2],[5]. Pada reaksi transesterifikasi, trigliserida bereaksi dengan alkohol seperti methanol atau ethanol untuk menghasilkan metil ester dan gliserol sebagai produk samping. Reaksi ini berlangsung relatif lambat sekitar 1 - 6 jam, membutuhkan banyak katalis dan alkohol, sedangkan reaksi yang terjadi belum sempurna. Proses



konvensional dapat mencapai yield maksimal sebesar 89,72 % selama reaksi esterifikasi [5].

Dewasa ini telah dikembangkan teknik baru untuk ekstraksi padat-cair suatu produk yaitu dengan menggunakan bantuan gelombang ultrasonik. Pengolahan bahan makanan juga tak luput memanfaatkan teknik ini [10]. Dalam bidang reaksi penggunaan gelombang ultrasonik dikenal dengan sonokimia dimana gelombang ultrasonik untuk mempengaruhi perubahan-perubahan yang terjadi pada proses kimia. Keuntungan utama dari transesterifikasi dengan bantuan gelombang ultrasonik dibandingkan dengan konvensional yaitu efisiensi lebih besar dan waktu operasinya lebih singkat. Dalam produksi biodiesel, teknologi sonokimia juga sudah digunakan dan terbukti lebih baik jika dibandingkan dengan proses konvensional. Refaat dan Shelwaty (2008) telah membuktikan bahwa teknologi ultrasonik memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan teknologi konvensional [11]. Demikian juga dengan peneliti-peneliti lain juga memberikan hasil yang sama [9], [12], [13].

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kondisi optimum untuk variabel waktu operasi, konsentrasi katalis dan perbandingan reaktan dengan metode central composite design (CCD).

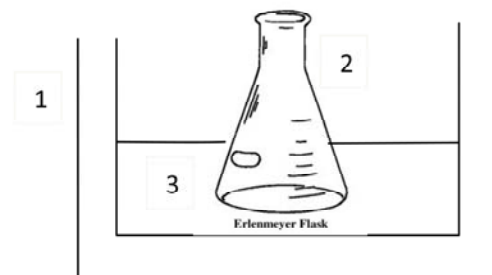
2. Metode Penelitian

2.1. Alah dan Bahan

Bahan baku yang digunakan adalah minyak kelapa yang diperoleh dari pengrajin minyak kelapa yang ada di Kabupaten Kebumen Jawa Tengah. Minyak kelapa dianalisis kadar asam lemak bebas terlebih dahulu dengan metode tritansi [14], [15]. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar asam lemak bebas >3%, sehingga minyak kelapa harus dilakukan proses esterifikasi dahulu [2], [5]. Bahan kimia sebagai katalis dan pelarut seperti; metanol, asam sulfat, dan kalium hidroksida mempunyai kualitas /spesifikasi analisis (PA) dan diperoleh di CV. Jurus Maju.

Peralatan yang digunakan adalah erlemeyer yang berfungsi sebagai reactor dan *Ultrasonic Cleaner Bronsonic* berfungsi untuk menghasilkan gelombang ultrasonik. Peralatan ini mempunyai

spesifikasi frekuensi 42 kHz. Peralatan ini dilengkapi dengan heater untuk mencapai temperatur operasi dan pengatur waktu degassing /ultrasonic. Peralatan juga dilengkapi dengan sarangan yang berfungsi untuk menahan dan meletakkan reaktor. Peralatan untuk proses produksi biodiesel seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat Pembuatan Biodiesel dengan Gelombang Ultrasonik

2.2. Rancangan Percobaan

Rancangan penelitian yang digunakan untuk optimasi proses adalah central composite design atau metode respon permukaan (RSM). Variabel yang dievaluasi adalah waktu operasi, konsentrasi katalis dan perbandingan methanol dengan minyak kelapa (CCO). Respon yang diamati adalah viskositas dan densitas dari produk utama dan produk samping [16], [17]. Untuk merancang jumlah run percobaan total digunakan persamaan sbb:

$$\Sigma R = 2^k + 2k + n_o \quad (1)$$

Dimana :

k = jumlah variabel bebas

n_o = jumlah percobaan yang diulangi pada titik pusat/tengah (di dalam kasus ini harga $n_o=2$)

Rancangan percobaan disajikan pada Tabel 1 dan realisasi rancangan percobaan seperti disajikan pada Tabel 2.



Tabel 1. Rancangan percobaan central composite design 3 variabel

Run	Block	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	1	-1	-1	-1	Y ₁
2	1	-1	-1	1	Y ₂
3	1	-1	1	-1	Y ₃
4	1	-1	1	1	Y ₄
5	1	1	-1	-1	Y ₅
6	1	1	-1	1	Y ₆
7	1	1	1	-1	Y ₇
8	1	1	1	1	Y ₈
9	1	0	0	0	Y ₉
10	2	-1.76	0	0	Y ₁₀
11	2	1.76	0	0	Y ₁₁
12	2	0	-1.76	0	Y ₁₂
13	2	0	1.76	0	Y ₁₃
14	2	0	0	-1.76	Y ₁₄
15	2	0	0	1.76	Y ₁₅
16	2	0	0	0	Y ₁₆

Keterangan :

- X₁ = pengkodean untuk variable rasio metanol-CCO
- X₂ = pengkodean untuk variable konsentrasi katalis
- X₃ = pengkodean untuk variable waktu operasi
- Y = konversi reaksi

2.3. Prosedur percobaan

2.3.1. Proses esterifikasi

Minyak kelapa dilakukan proses esterifikasi dengan cara direaksikan dengan metanol dengan katalis asam sulfat. Proses esterifikasi juga dilakukan dengan bantuan gelombang ultrasonic. Produk reaksi dipisahkan, dengan proses dekantasi. Metanol sisa akan terpisah sebagai produk atas dan minyak dan biodiesel sebagai produk bawah

2.3.2. Proses transesterifikasi

Produk bawah ditambahkan dengan kalium metoksida. Kalium metoksida dibuat dengan sejumlah methanol dan KOH (Tabel 2) diaduk dengan

menggunakan magnetic stirrer. Larutan kalium metoksida diperoleh setelah sebuah KOH larut dalam methanol. Campuran selanjutnya dimasukkan ke dalam ultrasonic cleaner dan selanjutnya diatur waktu operasi untuk reaksi transesterifikasi. Setelah waktu tercapai, campuran dipisahkan dengan proses dekantasi. Produk bawah merupakan gliserol dan methanol dan produk atas adalah biodiesel.

Tabel 2. Realisasi percobaan central composite design variabel 3

Run	Minyak : metanol	V metanol (ml)	% katalis	Massa KOH	waktu (menit)
1	1 : 3	16,87	0.3	0,273	30
2	1 : 3	16,87	0.3	0,273	50
3	1 : 3	16,87	0.7	0,637	30
4	1 : 3	16,87	0.7	0,637	50
5	1 : 9	50,62	0.3	0,273	30
6	1 : 9	50,62	0.3	0,273	50
7	1 : 9	50,62	0.7	0,637	30
8	1 : 9	50,62	0.7	0,637	50
9	1 : 0.95	5,37	0.5	0,455	40
10	1 : 11.04	62,12	0.5	0,455	40
11	1 : 6	33,74	0.16	0,15	40
12	1 : 6	33,74	0.83	0,76	40
13	1 : 6	33,74	0.5	0,455	23.18
14	1 : 6	33,74	0.5	0,455	56.82
15	1 : 6	33,74	0.5	0,455	40
16	1 : 6	33,74	0.5	0,455	40

2.4. Pengolahan data

Viskositas dan densitas dari produk bawah selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi gliserol. Persamaan yang digunakan untuk menghitung adalah seperti disajikan berikut ini;

$$\rho_m = \rho_{gl}C_{gl} + \rho_{met\bar{o}}(1 - C_{gl}) \quad (2)$$

$$\mu_m = \mu_{gl}C_{gl} + \mu_{met\bar{o}}(1 - C_{gl}) \quad (3)$$



Pada Persamaan 2,3 diatas C_{gi} merupakan fraksi gliserol (mol/mol). Dalam Komposisi gliserol selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi gliserol dalam produk. Nilai konsentrasi gliserol secara stoikhiometri merupakan 3 kali dari mol minyak. Dengan demikian jumlah mol minyak yang bereaksi dapat dihitung. Konversi biodiesel dapat didekati dengan Persamaan 4.

$$X_{biodiesel} = \frac{\text{Mol minyak bereaksi}}{\text{Mol minyak awal}} \times 100\% \quad (4)$$

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Statistica 6.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Biodiesel

Tabel 3 menunjukkan bahwa karakteristik biodiesel hasil percobaan telah memenuhi karakteristik yang ditetapkan oleh SNI. Viskositas *coco-biodiesel* sedikit tinggi tetapi masih memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI. Viskositas yang terlalu tinggi dapat memberatkan beban pompa dan menyebabkan pengkabutan yang kurang baik. Angka setana pada minyak diesel dari minyak kelapa lebih tinggi dibandingkan dengan minyak diesel yang diolah dari penyulingan minyak mentah. Bilangan setana 57,64 berarti bahan bakar biodiesel ini setara dengan campuran yang terdiri atas 57,64 % cetana dan 42,36% alpha-metyl naphthalene[15]. Angka setana tinggi akan menghasilkan keterlambatan waktu penyalan pembakaran lebih pendek.

Tabel 4. Perbandingan Karakteristik Biodiesel Hasil Percobaan dan SNI

Karakteristik	Hasil percobaan	SNI
Densitas (g/ml)	0,859	0,85 – 0,89
Viskositas kinematis (Cst)	3,23	2,3 – 6,0
Angka asam	0.46	Maks 0.8
Angka setana	57,64	Min 51
Bilangan iod	79,65	Maks 115
Angka Penyabunan	186,53	261,26

3.2. Analisis Statistika

Respon hasil percobaan adalah konversi untuk setiap eksperimen. Hasil pengolahan data disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Percobaan dengan Central Composite Design

Run	Block	X_1	X_2	X_3	Y (%)
1	1	-1	-1	-1	45,81
2	1	-1	-1	1	55,98
3	1	-1	1	-1	76,29
4	1	-1	1	1	59,10
5	1	1	-1	-1	79,26
6	1	1	-1	1	67,92
7	1	1	1	-1	84,69
8	1	1	1	1	84,37
9	1	0	0	0	46,88
10	2	-1.76	0	0	94,55
11	2	1.76	0	0	58,60
12	2	0	-1.76	0	77,28
13	2	0	1.76	0	82,25
14	2	0	0	-1.76	74,25
15	2	0	0	1.76	85,29
16	2	0	0	0	83,85

Hasil analisis statistika akan diperoleh model matematika, analisis variasi, diagram pareto dan validasi data. Persamaan polynomial untuk model CCD sebagai berikut :

$$Y_u = \beta_0 + \sum \beta_i x_{ui} + \sum \beta_{ii} x_{ui}^2 + \sum \beta_{ij} x_{ui} x_{uj} + \varepsilon \quad (5)$$

$$X_i = \frac{[X_i - (X_{it} + X_{ib})/2]}{[(X_{it} - X_{ib})/2]} \quad (6)$$

Di mana :

Y_u = respon yang diprediksi ke u, u : 1, 2, 3,, n
 β_0 suku ke 0 (rata-rata)

β_i : suku linier, β_{ii} : suku kuadrat, β_{ij} :suku interaksi,

x_i : bilangan tdk berdimensi dari sebuah variabel bebas



X_i : harga nyata dari sebuah variabel bebas

Dalam percobaan ini, jumlah variabel bebas ada 3, sehingga persamaan polynomialnya menjadi :

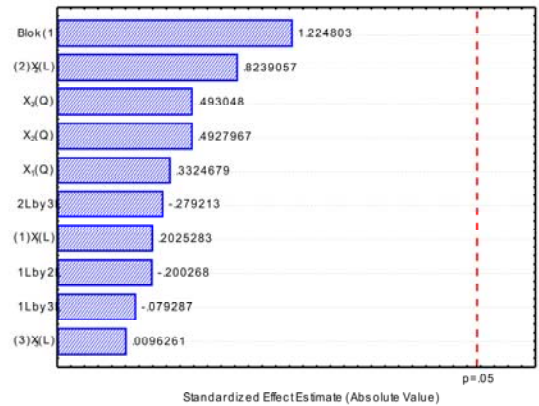
$$Y_u = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_3 X_2 \quad (7)$$

Dengan bantuan Program Statistic 6, didapatkan model persamaan matematis :

$$Y_u = 65,5587 + 2,2244X_1 + 9,0491X_2 + 0,1057X_3 + 4,2711X_1^2 + 6,3307X_2^2 + 6,3339X_3^2 - 2,9300 X_1 X_2 - 1,16X_1 X_3 - 4,085 \beta_{23} X_3 X_2 \quad (8)$$

Persamaan tersebut bisa dilihat bahwa X_2 (persen katalis) mempunyai nilai koefisien terbesar yaitu 9,041, selanjutnya parameter X_1 (rasio metanol – minyak kelapa) memiliki nilai koefisien kedua yaitu sebesar 2,2244. Hal ini berarti bahwa konsentrasi katalis merupakan variabel yang paling berpengaruh dibandingkan dengan variabel rasio /perbandingan metanol dengan minyak dengan tingkat keberpengaruhannya sebesar 4,068. Hal ini berarti bahwa pengaruh konsentrasi katalis sebesar 4,068 kali dibandingkan dengan variabel perbandingan minyak dengan methanol.

Koefisien dalam semua variabel tunggal bertanda positif hal ini berarti semakin besar perbandingan metanol-minyak, konsentrasi katalis dan waktu dapat meningkatkan konversi biodiesel. Hal ini dikarenakan penambahan metanol berlebih akan menggeser kesetimbangan reaksi ke kanan sehingga produk biodiesel yang dihasilkan akan semakin banyak[5]. Koefisien X_2 bertanda positif, hal ini berarti semakin besar persen katalis yang digunakan dalam reaksi akan meningkatkan konversi, penambahan jumlah katalis dapat meningkatkan aktifitas katalis mengarahkan reaksi transesterifikasi sehingga dapat meningkatkan jumlah metil ester yang terbentuk. Koefisien X_3 (waktu reaksi) bertanda positif hal ini berarti lamanya waktu reaksi bertambah juga mengakibatkan peningkatan konversi biodiesel[5],[2].



Gambar 2. Diagram Pareto

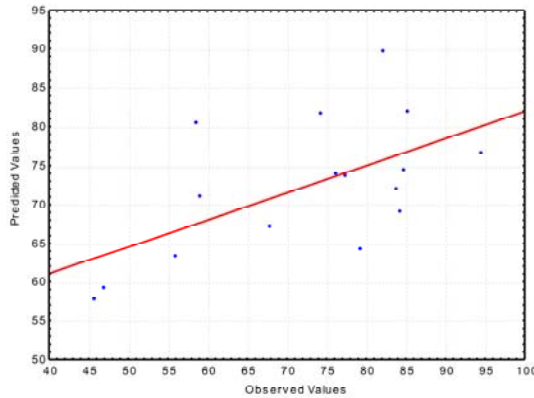
Untuk mendukung analisis tersebut dilakukan analisis pareto. Diagram pareto adalah sebuah distribusi frekuensi sederhana (histogram) dari data yang diurutkan berdasarkan kategori dari yang paling besar sampai yang paling kecil. Diagram ini didasarkan atas prinsip yang menyatakan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi sesuatu tetapi hanya beberapa faktor penting saja yang diperhitungkan yakni faktor-faktor yang menimbulkan dampak yang paling berarti. Dengan menempatkan faktor-faktor yang sedang dikaji menurut urutannya, segera dapat dikenal faktor yang paling penting. Dengan demikian, diagram pareto dapat membantu dalam memusatkan upaya pada sesuatu yang paling penting saja[16],[17]. Diagram pareto hasil pengolahan data pada penelitian ini disajikan dalam Gambar 3. Hasil analisis Pareto menunjukkan bahwa variabel waktu tunggal dan interaksi waktu dengan perbandingan methanol dengan minyak (X_1, X_3) mempunyai pengaruh yang sangat kecil.

Dari grafik Pareto, dapat dilihat bahwa harga efek variabel yg melewati garis $p=0.05$ merupakan variabel yang berpengaruh terhadap konversi yaitu konsentrasi katalis (L) dan persen katalis, perbandingan metanol dengan minyak dan waktu dalam bentuk kwadrat (Q). Gambar 2 menunjukkan bahwa harga efek dari variabel tidak ada yang melewati garis $p=0.05$, sehingga tidak ada yang diabaikan.

Model matematika dilakukan validasi, dimana hasil perhitungan dicocokkan dengan



eksperimen. Hasil validasi disajikan dalam Gambar 3. Hasil validasi menunjukkan ada beberapa data yang cocok, namun sebagian besar berbeda cukup signifikan.

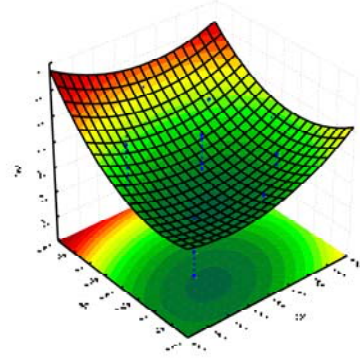


Gambar 3. Validasi model

3.3. Optimasi Proses

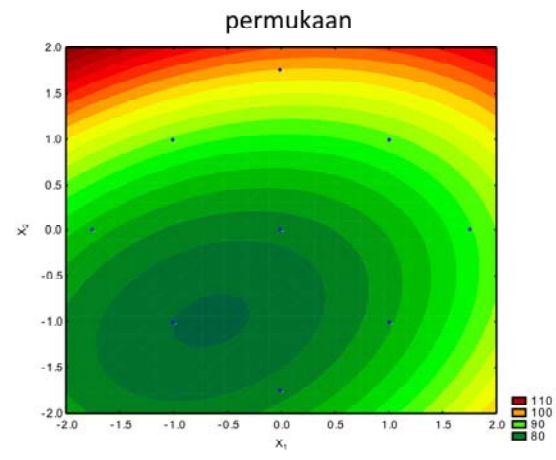
Kondisi operasi optimum dicari dengan melihat grafik optimasi 3 dimensi dan grafik kontur permukaan. Grafik optimasi 3 dimensi terdiri dari sumbu x, y, dan z, di mana sumbu x dan y merupakan variabel yang diujikan sedangkan sumbu z menunjukkan nilai konversi. Grafik kontur permukaan terdiri dari sumbu x dan y, di mana sumbu x dan y tersebut merupakan variabel yang diujikan. Pada

grafik kontur permukaan tergambar daerah – daerah warna, sehingga dari grafik ini dapat dilihat titik – titik hasil interaksi dua variabel secara jelas, dimana interaksi yang paling optimal adalah yang berada di daerah yang berwarna merah paling tua. Hasil plotting grafik untuk variable X_1 dan X_2 disajikan dalam Gambar 4 berikut ini.



100
90
80
70

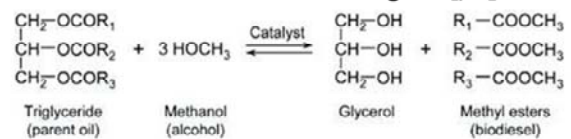
a.



110
100
90
80

b. kontur

Gambar 4. Grafik hubungan X_1 , X_2 terhadap



konversi biodiesel

Pada penelitian yang telah dilakukan yaitu dengan pengaruh rasio minyak:metanol divariasikan antara 1:3 , 1:6 dan 1:9. Hasil percobaan pengaruh rasio reaktan terhadap konversi minyak kelapa ditunjukkan dari grafik optimasi 3 dimensi dan kontur permukaan yaitu optimum pada rentang 9,12 – 11,05. Reaksi transesterifikasi ini merupakan reaksi *reversible*, dengan reaksi :

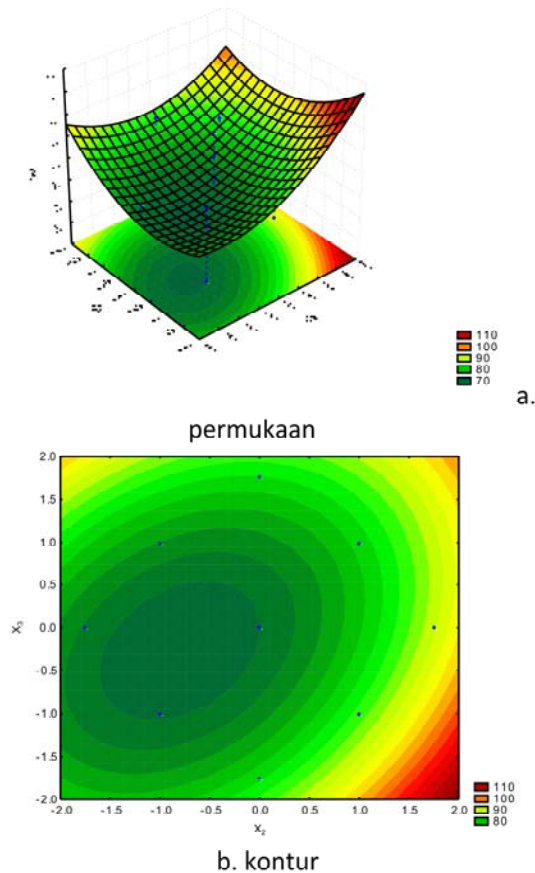
Semakin banyak metanol yang ditambahkan maka konversi reaksi akan semakin besar, hal ini





dikarenakan penambahan metanol berlebih akan menggeser kesetimbangan reaksi kekanan sehingga produk biodiesel yang dihasilkan akan semakin banyak[2],[5]. Konversi maksimum dicapai pada rasio minyak : metanol = 1 : 11.05 menghasilkan konversi sebesar 94,55 %.

Pengaruh perbandingan metanol/ minyak terhadap konversi reaksi transesterifikasi ini dapat dilihat dari gambar 4.a dan 4.b. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kurva yang dihasilkan tidak berbentuk linier, sehingga agak sulit untuk menentukan kondisi operasi optimumnya. Bahkan lebih cenderung untuk minimasi, bukan untuk memperoleh hasil yang maksimum.



Gambar 5. Grafik hubungan X_2 , X_3 terhadap konversi biodiesel

Peningkatan jumlah katalis maka keaktifan katalis akan bertambah, sehingga dapat

meningkatkan konversi. Konversi biodiesel akan meningkat karena pada kondisi ini keaktifan katalis untuk membentuk metil ester, sehingga pada kondisi operasi ini diperoleh kadar metil ester yang semakin meningkat dan akhirnya berpengaruh pada peningkatan konversi.

Semakin lama waktu reaksi maka kontak antara bahan baku dalam proses esterifikasi biodiesel dari asam lemak bebas dan metanol akan semakin lama dan memberikan peluang bahan baku terkonversi menjadi produk sehingga diperoleh harga konversi yang semakin banyak. Hal ini sesuai dengan persamaan[19] :

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A^a C_B^b$$

Berdasarkan grafik Pareto bahwa waktu reaksi tidak begitu berpengaruh terhadap konversi. Dari gambar 5.a diketahui pula bahwa waktu reaksi tidak terlalu berpengaruh terhadap konversi reaksi transesterifikasi.

3.4. Analisa Varian

Tabel 4. Analisa Varian

Parameter	SS	DF	MS	F	p
Blok	642.205	1	642.2054	1.500142	0.275200
X_1	17.560	1	17.5595	0.041018	0.847487
X_1^2	47.320	1	47.3196	0.110535	0.753022
X_2	290.601	1	290.6006	0.678821	0.447497
X_2^2	103.963	1	103.9626	0.242849	0.643033
X_3	0.040	1	0.0397	0.000093	0.992692
X_3^2	104.069	1	104.0686	0.243096	0.642867
X_1X_2	17.170	1	17.1698	0.040107	0.849162
X_1X_3	2.691	1	2.6912	0.006286	0.939880
X_2X_3	33.374	1	33.3744	0.077960	0.791262
error	2140.482	5	428.0963		
Total ss	3283.711	15			

Tabel anova diatas menunjukkan bahwa variable konsentrasi katalis saja yang mempunyai harga F lebih besar dari harga p, sehingga optimasi diatas masih harus diulang untuk memperoleh kondisi optimum yang sebenarnya. Hal ini



ditunjukkan bahwa hasil analisis titik kritis menghasilkan kondisi yang minimum, dengan nilai minimum konversi sebesar 55,558%. Hasil maksimal masih diperoleh pada kondisi yang teratas.

Tabel 5. Hasil analisis nilai kritis

variabel	Nilai min	Nilai kritis	Nilai maks
X ₁	-1.76000	-0.652927	1.760000
X ₂	-1.76000	-0.990871	1.760000
X ₃	-1.76000	-0.387661	1.760000

4. Kesimpulan

1. Biodiesel yang diperoleh sudah sesuai SNI dengan angka cetane sebesar 55,72.
2. Rasio metanol/minyak yang optimum dicapai pada perbandingan 11,04 :1 dengan konversi yang diperoleh sebesar 94,55 %.
3. Jumlah katalis optimum yaitu 0,5 % dengan konversi yang diperoleh sebesar 94,55 %.
4. Waktu reaksi optimum dicapai pada waktu 40 menit dengan konversi yang diperoleh sebesar 94,55 %.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan nasional yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Strategis Nasional Th 2012

Daftar Pustaka

- [1]. Pravitasari, Anitta, 2009, Potensi Pengembangan Biodiesel di Indonesia, <http://majarimagazine.com>.
- [2]. Ma, F., Hanna, M.A., 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresour. Technol.* 70, 1–15.
- [3]. Demirbas, Ayhan. 2007. Alternative and Renewable Energy Industries; Energy & Fuel, *International Journal of Green Energy*. Vol 4. 2007. pages 15-26
- [4]. Kementerian Riset dan Teknologi 2005, Buku Putih Program Pembangunan Iptek Bidang Ketersediaan dan Pemanfaatan Sumber Energi Baru dan Terbarukan 2005 – 2009.
- [5]. Kalam, M.A., dan Masjuki, H.H., 2002, Biodiesel from palmoil-an analysis of its properties and potential, *Biomass and Bioenergy* 23 p.471-479.
- [6]. Hawash, S., N. Kamal, F. Zaher, O. Kenawi, G.E. Diwani, 2009. Biodiesel fuel from Jatropha oil via non-catalytic supercritical methanol transesterification, *Fuel* 88 579–582
- [7]. Gubitz, G.M., Mittelbatch, M. and Trabi, M. 1999. Exploitation of The Tropical Oil seed Plant Jatropha curcas L. *Bioresource Technology*, 67.pp.73-82
- [8]. Ramadhas, A. S., Mulareedharan, C., Jayaraj, S. 2005. Performance and Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled With Methyl Esters of Rubber Seed Oil *Renewable Energy*, 30, 1789-1800.
- [9]. Widayat, dan B F T Kiono, 2012, Ultrasound assisted Esterification of rubber seed oil for biodiesel production, *Int. Journal of Renewable energy and development (IJRED)*, Vo 1 pp 1-5
- [10]. Mason T.J., L. Paniwnyk, dan J.P. Lorimer, 1996. The Uses of Ultrasound in Food Technology. *Ultrasonics Sonochemistry* 3, pp. 253-260.
- [11]. Refaat, A.A., dan El Sheltawy, S.T., 2008. Comparing three options for biodiesel production from waste vegetable oil. *WIT transactions on Ecology and the Environment, Waste Management and the Environment IV*, Vol.109, WIT Press, 133 – 140
- [12]. Stavarache, C., Vinatoru, M., Maeda, Y., Bandow, H., 2007. Ultrasonically driven continuous process for vegetable oil transesterification *Ultrasonics Sonochem.* 14 pp. 413 – 417
- [13]. Vyas, Amish P., Verma, J.W., Subrahmanyam, N., 2011. Effects of molar ratio, alkali catalyst concentration and temperature on transesterification of jatropha oil with methanol under ultrasonic irradiation. *Advances in Chem Eng Sci* 1 pp 45 – 50
- [14]. Hamilton, R.J. and Rossel, J.B., 1986, *Analysis of Oils and Fat*, 1st edition, Elsevier Applied Science Publisher Ltd.
- [15]. Soerawidjaja, T. H., 2003. Standar Tentatif Biodiesel Indonesia dan Metode-metode Pengujiannya, Disampaikan dalam Diskusi Forum Biodiesel Indonesia, Bandung.



- [16]. Box G.EP., J.S Hunter dan W.G. Hunter, 2005
Statistics For Experiments edisi kedua John
Wiley and Sons, New York
- [17]. Lazic, Z, 2004, Statistics Experiments for
Chemical engineering, WILEY-VCH Verlag
GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- [18]. Cheng, N.S., 2008, Formula for the Viscosity
of a Glycerol-Water Mixture, Ind. Eng. Chem.
Res. 47, pp. 3285-3288
- [19]. Levenspiel, Octave. 1972. *Chemical Reaction
Engineering*. 2nd edition. John Willey and
Sons, New York.

SERTIFIKAT

di berikan kepada

Widayat

sebagai

PEMAKALAH



**SEMINAR NASIONAL TEKNIK KIMIA INDONESIA
& MUSYAWARAH NASIONAL APTEKINDO 2012**

The Challenge of Chemical Engineering Institutions in Product Innovation for a Sustainable Future

Fakultas Teknik, Universitas Indonesia | 20 - 22 September 2012

Ketua APTEKINDO



Ketua Pelaksana



Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA

Dr. Ir. Sukirno, M.Eng

