

OPTIMASI TRANSESTERIFIKASI BIODIESEL MENGGUNAKAN CAMPURAN MINYAK KELAPA SAWIT DAN MINYAK JARAK DENGAN TEKNIK ULTRASONIK PADA FREKUENSI 28 KHZ

***Berkah Fajar TK^{1,a}, Ben Wahyudi H^{1,b}, Widayat^{2,c}**

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²⁾Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

JL. Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang 50239

^aberkahfajar@undip.ac.id, ^bbenwahyudi24@gmail.com, ^cyayat_99@yahoo.com

Abastrak

Harga CPO dunia tidak stabil, oleh karena itu mempengaruhi pasokan bahan baku untuk memproduksi biodiesel. Untuk mengatasi kekurangan bahan baku, perlu untuk menggunakan beberapa bahan baku, dalam hal ini adalah CPO dan *Jatropha*. Tujuan penelitian ini adalah optimasi produksi biodiesel menggunakan multi-feedstock (CPO dan *Jatropha*) berbantuan ultrasonik. Optimasi adalah untuk menemukan hasil paling tinggi dan waktu produksi paling cepat. Eksperimental dilakukan dengan menggunakan bath-ultrasonic pada 40 kHz. Rasio CPO dan *Jatropha* adalah 1: 1, 3: 1, 4: 1, rasio metanol dan minyak adalah 5: 1, 6: 1, 7: 1 dan waktu reaksi adalah 50, 60, 70 menit. KOH digunakan sebagai katalis. Optimasi menggunakan Response Surface Methodology [3,4]. Titik optimum adalah pada frekuensi 28 kHz diperoleh pada campuran CPO – *Jatropha* 3: 1, rasio molar metanol-minyak 6: 1 dan waktu reaksinya 60 menit.

Kata Kunci: Optimasi, biodiesel, *response surface methodology (RSM)*

1. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan dan pasokan dari bahan bakar fosil yang semakin berkurang adalah faktor utama untuk mencari sumber energi alternatif. Pada saat ini, 86% dari konsumsi energi dunia dan hampir 100% dari energi yang dibutuhkan di sektor transportasi dipenuhi oleh bahan bakar fosil [1]. Ketersediaan bahan bakar minyak yang semakin menipis menyebabkan makin banyaknya penelitian dan pengembangan sumber energi sebagai substitusi bahan bakar minyak khususnya dari sumber energi yang terbarukan, seperti biodiesel.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari minyak nabati sehingga ramah lingkungan dan tidak beracun [2]. Namun, ketersediaan dari bahan baku seperti minyak kelapa sawit merupakan kendala utama dalam memproduksi biodiesel secara massal. Minyak kelapa sawit merupakan bahan baku berbasis pangan yang dapat mengancam produksi biodiesel, maka dari itu peralihan bahan baku dari berbasis pangan ke non-pangan merupakan cara efektif dalam pembuatan biodiesel secara massal [3].

Pada prinsipnya, proses pembuatan biodiesel sangat sederhana. Biodiesel dihasilkan melalui proses yang disebut reaksi esterifikasi asam lemak bebas atau reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol dengan bantuan katalis dan dari reaksi ini akan menghasilkan metil ester / etil ester asam lemak (biodiesel sebagai produk utama) dan gliserol (sebagai produk samping) [4].

Pembuatan biodiesel pada penelitian ini dengan menggunakan teknik ultrasonik karena pada penelitian-penelitian sebelumnya, teknik ultrasonik mampu menghasilkan *yield* yang tinggi. Teknik ultrasonik juga dapat mengurangi waktu reaksi, jumlah pelarut dan menghasilkan efisiensi ekstraksi yang lebih tinggi dengan dampak lingkungan lebih rendah dari cara konvensional. Penggunaan gelombang ultrasonik meningkatkan kecepatan reaksi dan meningkatkan kuantitas produk akhir [5]. Parameter-parameter dalam pembuatan biodiesel yang divariasikan adalah perbandingan minyak kelapa sawit dan minyak jarak, suhu, dan perbandingan mol

antara campuran minyak kelapa sawit dan minyak jarak dengan methanol untuk mendapatkan *yield* yang optimum. Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium . Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan volume minyak, perbandingan molar antara metanol dengan volume minyak, dan waktu pada kondisi optimum untuk mendapatkan *yield* biodiesel tertinggi pada frekuensi 28 kHz. Penelitian ini juga menentukan nilai kalor, viskositas dan density biodiesel yang dihasilkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan dan Peralatan

Minyak yang digunakan dalam penelitian ini adalah CPO dan minyak Jarak. Sedangkan metanol yang digunakan adalah metanol dengan grade 99%. KOH digunakan sebagai katalisator. Transesterifikasi itu dilakukan di sebuah Generator ultrasonik. Generator ultrasonik dapat ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Ultrasonic Generator

Generator ultrasonik digunakan untuk melakukan reaksi transesterifikasi, dapat dilihat pada gambar 1. Frekuensi diatur pada 28 kHz. Minyak jarak dicampur dengan CPO dalam rasio volume 1: 1, 3: 1 dan 4: 1. Kemudian, campuran minyak dicampur dengan metanol pada rasio mol 5: 1, 6: 1 dan 7: 1. Campuran minyak dan metanol kemudian dituangkan ke dalam Erlenmeyer 200ml. Kemudian, campuran ditempatkan pada generator ultrasonik seperti dapat dilihat pada gambar 2.

waktu transesterifikasi adalah 50,60 dan 70 menit.



Gambar 2. Transesterifikasi proses pada ultrasonic generator

2.2 Rancangan Percobaan

Variabel-variabel yang dimasukkan ke dalam penelitian ini terbagi dua yaitu variabel kendali (tetap) dan variabel berubah. Variabel tetap dalam penelitian ini yaitu frekuensi gelombang ultrasonik pada 28 kHz, kadar (gram) katalis 1% berat minyak, suhu 45°C, volume total minyak 200mL. Sedangkan variabel berubah yaitu rasio volume minyak sawit : jarak (1:1, 3:1, 4:1), perbandingan mol metanol : minyak (5:1, 6:1, 7:1), dan waktu reaksi (50, 60, 70) menit.

Rancangan penelitian akan diolah dengan *Central Composite Design* (CCD) dimana konversi akan menjadi *output* (y) dan variabel yang ditetapkan di awal sebagai variabel terikat (x). Optimasi berdasarkan RSM akan digunakan untuk menentukan kondisi proses optimal dari transesterifikasi dengan gelombang ultrasonik. Rancangan percobaan dengan menggunakan *software* STATISTICA 6.0 dengan 3 variabel dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Penelitian *Central Composite Design* 3 Variabel

Run	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	-1	-1	-1	Y ₁
2	-1	-1	1	Y ₂
3	-1	1	-1	Y ₃
4	-1	1	1	Y ₄

5	1	-1	-1	Y ₅	5	0,884	3,56	10453,0
6	1	-1	1	Y ₆	6	0,885	3,45	10831,2
7	1	1	-1	Y ₇	7	0,879	2,90	10913,9
8	1	1	1	Y ₈	8	0,869	2,91	10435,9
9	0	0	0	Y ₉	9	0,879	3,42	10990,5
10	-1,76	0	0	Y ₁₀	10	0,913	6,81	10971,4
11	1,76	0	0	Y ₁₁	11	0,880	2,74	10542,2
12	0	-1,76	0	Y ₁₂	12	0,886	3,56	10336,9
13	0	1,76	0	Y ₁₃	13	0,881	3,34	9259,9
14	0	0	-1,76	Y ₁₄	14	0,884	3,52	10423,4
15	0	0	1,76	Y ₁₅	15	0,883	3,42	10100,7
16	0	0	0	Y ₁₆	16	0,886	3,49	9442,3

Keterangan :

X₁ = pengkodean untuk variabel rasio minyak

X₂ = pengkodean untuk variabel rasio minyak dan metanol

X₃ = pengkodean untuk variabel perbandingan waktu

Y = konversi reaksi (Yield)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Produk Biodiesel

Setelah melakukan pengujian dengan reaksi transesterifikasi dengan teknik ultrasonik pada frekuensi 28 kHz, dilakukan pengujian sifat fisik dari produk biodiesel. Pengujian sifat fisik yang dilakukan adalah pengujian densitas, viskositas, dan nilai kalor, sesuai dengan alat yang tersedia di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Sifat-sifat fisik dari produk biodiesel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik produk biodiesel yang dihasilkan

RUN	Densitas (gr/cm ³)	Viskositas (mm ² /s)	Nilai Kalor (cal/gr)
1	0,890	3,85	11080,6
2	0,880	5,45	10093,3
3	0,896	4,38	10620,0
4	0,889	4,06	10337,9

3.2 Optimasi Proses

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

Tabel 3. Hasil percobaan dengan Central Composite Design

RUN	X ₁	X ₂	X ₃	Y (%)
1	-1	-1	-1	88,95
2	-1	-1	1	99,42
3	-1	1	-1	99,29
4	-1	1	1	100,44
5	1	-1	-1	97,92
6	1	-1	1	99,01
7	1	1	-1	102,23
8	1	1	1	101,07
9	0	0	0	105,30
10	-1,76	0	0	97,68
11	1,76	0	0	98,77
12	0	-1,76	0	91,95
13	0	1,76	0	103,59
14	0	0	-1,76	100,53
15	0	0	1,76	95,05
16	0	0	0	105,16

Selanjutnya untuk mengetahui variabel yang paling berpengaruh, dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan persamaan model matematis. Dalam Percobaan ini jumlah variabel bebas ada 3, sehingga persamaan polynomialnya menjadi :

$$Y_u = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2$$
 (1)

Sehingga persamaannya menjadi:

$$Y_u = 105,2482 + 1,9753 X_1 - 4,3839 X_1^2 + 5,3796 X_2 - 4,6778 X_2^2 + 0,2670 X_3 - 4,6658 X_3^2 - 1,2439 X_1 X_2 - 2,9251 X_1 X_3 - 2,8927 X_2 X_3$$
 (2)

Dari persamaan tersebut bisa dilihat bahwa koefisien X_3 bertanda positif dan memiliki nilai yang paling besar dan berpengaruh, hal ini berarti semakin besar campuran minyak, perbandingan metanol-minyak, dan waktu reaksi, dapat meningkatkan konversi akan menggeser kesetimbangan reaksi ke kanan sehingga produk biodiesel yang dihasilkan akan semakin banyak.

ANOVA dapat menentukan variabel yang berpengaruh dan tidak berpengaruh untuk mendapatkan *yield* dengan membandingkan harga F (*ratio of mean square*) dan harga P (*probability*). Harga F yang lebih besar daripada harga P berarti variabel berpengaruh. Dan untuk harga P yang kurang dari 0,05, maka variabel sangat berpengaruh dalam mendapatkan *yield*. Analisa varian yang didapat dari software STATISTICA 6.0 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisa Varian (ANOVA)

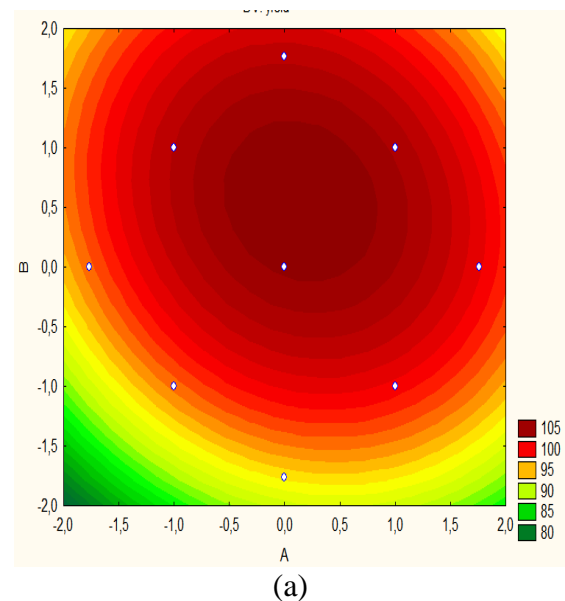
Efek	SS	df	MS	F	P
X_1	13,8730	1	13,873	1,7588	0,2330
X_1^2	50,1514	1	50,151	6,3581	0,0451
X_2	102,8993	1	102,899	13,0455	0,0112
X_2^2	57,1018	1	57,101	7,2393	0,0360
X_3	0,2534	1	0,253	0,0321	0,8636
X_3^2	56,8076	1	56,807	7,2020	0,0363

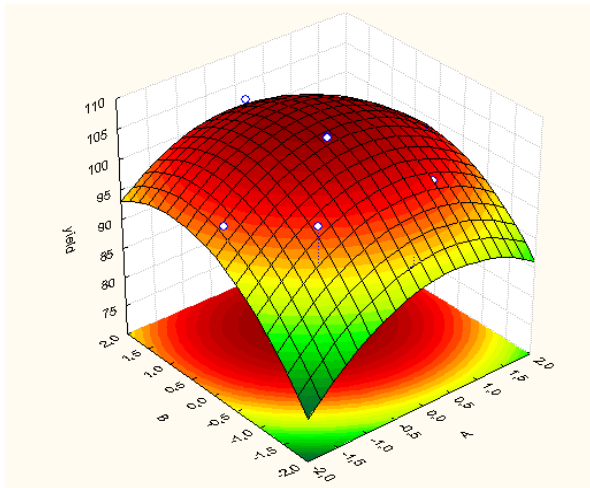
$X_1 X_2$	3,0947	1	3,094	0,3923	0,5541
$X_1 X_3$	17,1126	1	17,112	2,1695	0,1911
$X_2 X_3$	16,7354	1	16,735	2,1217	0,1954
Error	47,3263	6	7,887		
Total SS	286,8659	15			
R^2	0,83502				

Dari Tabel 4 ANOVA (*analysis of variance*) dapat dilihat bahwa variabel rasio massa minyak sawit dan minyak jarak, perbandingan mol metanol terhadap campuran minyak, interaksi campuran minyak sawit dan jarak dengan waktu, dan interaksi metanol dengan waktu, mempunyai harga F lebih besar dari harga P, sehingga merupakan variabel yang berpengaruh. Sedangkan lamanya waktu reaksi, interaksi campuran minyak sawit dan jarak dengan waktu, memiliki harga F lebih kecil dari harga P.

3.3 Analisa Profile Contour dan Surface Plot

Gambar 2 a) dan b) menunjukkan *surface plot* 3D dan *contour plot* 2D interaksi antara campuran minyak (X_1) dan perbandingan metanol minyak (X_2) terhadap *yield* biodiesel. Pada interaksi ini, waktu reaksi (X_3) ditetapkan pada waktu 60 menit



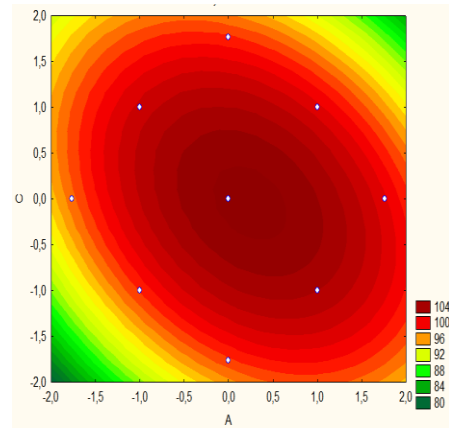


(b)

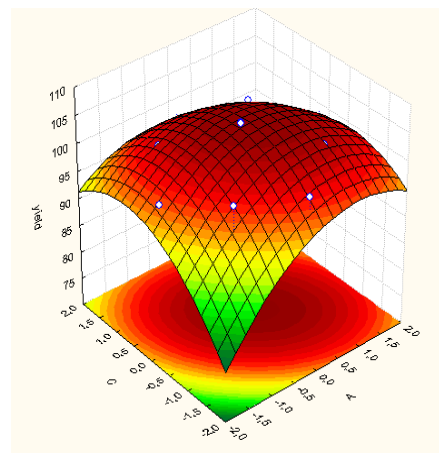
Gambar 3. Interaksi campuran minyak (X_1) dan perbandingan metanol minyak (X_2) dengan waktu reaksi (X_3) = 60 menit, (a) *Contour plot* 2D ; (b) *Surface plot* 3D

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa kenaikan signifikan terjadi pada perubahan perbandingan metanol-minyak. Jika membuat campuran minyak pada nilai tengah 0 yaitu 3:1 (volume minyak kelapa sawit lebih banyak dibanding minyak jarak pagar) dan perbandingan mol metanol-minyak dibuat semakin meningkat, maka perubahan kenaikan *yield* yang didapat akan sangat signifikan. Sedangkan jika dibuat perbandingan mol metanol-minyak pada nilai tengah 1:1 dan campuran minyak dibuat semakin meningkat, maka perubahan kenaikan *yield* yang didapat tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat dilihat dari perubahan warna yang terjadi pada plot 2D dan 3D. Warna hijau tua menunjukkan *yield* paling rendah sedangkan warna merah tua menunjukkan *yield* paling tinggi.

Gambar 4 a) dan b) menunjukkan *surface plot* 3D dan *contour plot* 2D interaksi antara campuran minyak (X_1) dan waktu reaksi (X_3) terhadap *yield* biodiesel. Pada interaksi ini, perbandingan metanol-minyak (X_2) diterapkan pada nilai tengah 0.



(a)



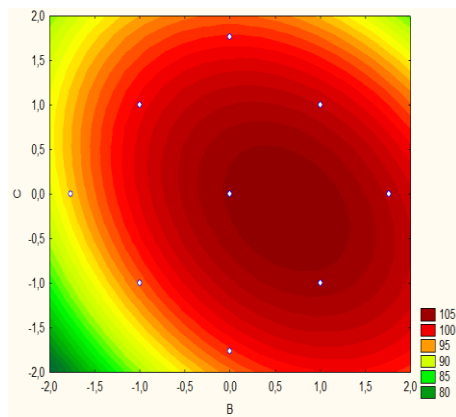
(b)

Gambar 4. Interaksi campuran minyak (X_1) dan waktu reaksi (X_3) dengan perbandingan metanol-minyak (X_2) = 6:1, (a) *Contour plot* 2D ; (b) *Surface plot* 3D

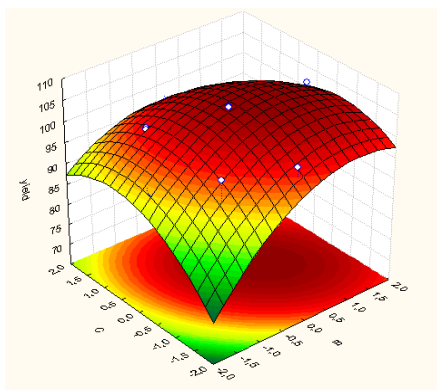
Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa kenaikan signifikan terjadi pada perubahan campuran minyak. Jika membuat campuran minyak pada nilai tengah 0 yaitu 3:1 (volume minyak kelapa sawit lebih banyak dibanding minyak jarak pagar) dan waktu reaksi dibuat semakin meningkat, maka perubahan kenaikan *yield* yang didapat tidak terlalu signifikan. Sedangkan jika dibuat waktu reaksi pada nilai tengah 0 yaitu 60 menit dan campuran minyak dibuat semakin meningkat, maka perubahan kenaikan *yield* yang didapat akan signifikan. Hal ini dapat dilihat dari perubahan warna yang terjadi pada plot 2D dan 3D. Warna hijau tua menunjukkan *yield* paling rendah

sedangkan warna merah tua menunjukkan *yield* paling tinggi

Gambar 5 a) dan b) menunjukkan *surface plot* 3D dan *contour plot* 2D interaksi antara campuran minyak (X_1) dan waktu reaksi (X_3) terhadap *yield* biodiesel. Pada interaksi ini, campuran minyak (X_1) diterapkan pada 2,75:1.



(a)



(b)

Gambar 4. Interaksi perbandingan metanol-minyak (X_2) dan waktu reaksi (X_3) dengan campuran minyak (X_1) = 2,75:1, (a) *Contour plot* 2D ; (b) *Surface plot* 3D

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa kenaikan signifikan terjadi pada perubahan perbandingan mol metanol-minyak. Jika membuat perbandingan mol metanol-minyak pada nilai tengah yaitu 6:1 dan waktu reaksi dibuat semakin meningkat, maka perubahan kenaikan *yield* yang didapat tidak terlalu signifikan. Sedangkan jika dibuat waktu reaksi pada nilai tengah yaitu 60 menit dan

campuran minyak dibuat semakin meningkat, maka perubahan kenaikan *yield* yang didapat akan signifikan. Hal ini dapat dilihat dari perubahan warna yang terjadi pada plot 2D dan 3D. Warna hijau tua menunjukkan *yield* paling rendah sedangkan warna merah tua menunjukkan *yield* paling tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- 1) *Yield* maksimal yang didapatkan pada penelitian adalah 105,30% dengan perbandingan minyak kelapa sawit : minyak jarak adalah 150mL : 50 mL, molar metanol : campuran minyak adalah 6 : 1 atau volume metanol 52,5 mL, dan waktu reaksi adalah 60 menit.
- 2) Nilai densitas, viskositas, dan kalor pada *yield* maksimal masing-masing adalah 0,879 gr/mL, 3,42 mm²/detik, dan 10971,4 cal/gr.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Leng Chew, Thiam, Bhatia, Subhash. 2008. *Catalytic processes toward the production of biofuels in a palm oil and oil palm biomass-based biorefinery*, Bioresource Technology, Malaysia.
- [2] Atabani, A.E., Silitonga, A.S., Ong, H.C., et al. 2012. *Non-edible vegetable oils: A Critical Evaluation Of Oil Extraction, Fatty Acid Compositions, Biodiesel Production, Characteristics, Engine Performance and Emissions Production*. Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews
- [3] Gupta, Ram B., Demirbas, Ayhan. 2010. *Gasoline, Diesel and Ethanol Biofuels from Grasses and Plants*. Cambridge University Press : USA.
- [4] Bode, H., 2002. Bahan Bakar Alternatif Biodiesel (Bagian I. Pengenalan). Universitas Sumatra Utara.
- [5] Bulent, A., Abdullah, M., Fereidouni, M. 2011. *Soybeans Processing for Biodiesel Production*. University of Missouri : USA.