



## OPTIMASI PROSES PEMBUATAN BIODIESEL BERBANTUKAN GELOMBANG ULTRASONIK DARI *BLENDING* MINYAK KELAPA SAWIT (*CRUDE PALM OIL*) DAN MINYAK JARAK (*JATROPHA CURCAS OIL*)

Aji Baharsyah, Supriyandi, Ir. Hantoro Satriadi, M.T., Dr. Widayat, S.T., M.T.\*)

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jalan Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang 50239, Tep/Fax (024) 7460058

### Abstrak

*Keterbatasan solar yang merupakan sumber energi tidak dapat diperbaharui, menuntut adanya bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan, salah satunya biodiesel. Reaksi utama produksi biodiesel adalah esterifikasi dan transesterifikasi, namun secara konvensional reaksi ini berlangsung lambat, membutuhkan banyak katalis dan alkohol, reaksi yang terjadi belum sempurna, dan produk belum memenuhi standar SNI dan ASTM. Pada penelitian ini dilakukan pencampuran minyak jarak dan sawit sebagai bahan baku biodiesel, selain itu bertujuan memperoleh kondisi optimum variabel rasio campuran massa minyak jarak dan sawit, jumlah katalis terhadap minyak, dan rasio mol metanol-minyak berbantuan gelombang ultrasonik. Produk biodiesel yang dihasilkan diharapkan memenuhi standar SNI maupun ASTM. Alat utama yang digunakan adalah ultrasonic cleaner. Variabel proses yaitu rasio massa minyak jarak dan sawit 1:1, 2:1, dan 3:1, jumlah katalis KOH 1%, 1,5%, dan 2% massa minyak, dan rasio mol metanol-minyak 3:1, 6:1, dan 9:1. Hasil penelitian didapat konversi tertinggi dicapai pada rasio massa minyak jarak dan sawit 2:1, katalis 1,5% massa minyak, dan rasio mol metanol- campuran 6:1 dengan konversi 95,341% di mana produk biodieselnnya telah memenuhi standar SNI dan ASTM.*

**Kata kunci :** *biodiesel; gelombang ultrasonik; blending minyak sawit dan jarak*

### Abstrak

*Limitations of diesel which is a non-renewable energy sources, requires alternative fuels to renewable and environmentally friendly, for example is biodiesel. The main reaction is the production of biodiesel esterification and transesterification, but these conventional reactions are slow, requires a lot of alcohol and a catalyst, the reaction has not been perfect, and the products do not meet SNI and ASTM standards. In this research, mixing castor oil and palm oil as biodiesel feedstock, but it aims to obtain the optimum conditions for the blending ratio variable mass castor and palm oil, the amount of catalyst to oil, and the mole ratio of methanol-oil with helped by ultrasonic waves. The resulting biodiesel product is expected to meet SNI and ASTM standards. The main tool used is the ultrasonic cleaner. Variable that is the ratio of the mass of castor oil and palm 1:1, 2:1, and 3:1, the amount of catalyst KOH 1%, 1.5%, and 2% by mass of oil, and methanol-oil mole ratio 3:1, 6 : 1, and 9:1. The results obtained highest conversion achieved in the mass ratio 2:1 castor oil and palm oil, catalyst 1.5% by mass of oil, and the mole ratio of 6:1 with a mixture of methanol-conversion 95.341% where diesel fuel product meets SNI and ASTM standards.*

**Key word :** *biodiesel; ultrasonic wave; blending castor (jathropha) and palm oil*

### 1. Pendahuluan

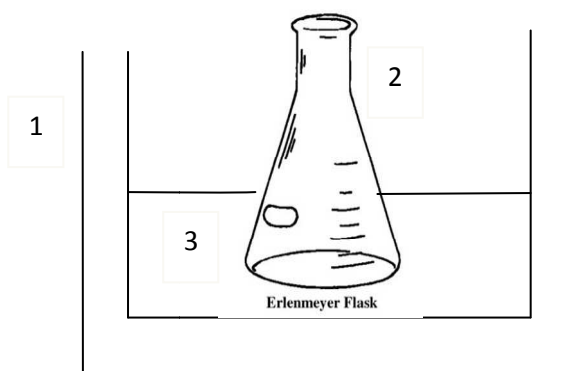
Produksi minyak bumi terus mengalami penurunan pada setiap tahunnya, sedangkan konsumsinya meningkat. Berdasarkan data kementerian ESDM diketahui bahwa produksi minyak bumi dari tahun 2004 hingga tahun 2011 mengalami penurunan hingga 18%. Minyak bumi (solar) merupakan sumber energi dari bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui sehingga diperlukan upaya untuk mengembangkan bahan bakar pengganti solar yang dapat diperbaharui. Melihat kondisi yang demikian, dirasa perlu untuk mengembangkan energi alternatif sebagai pengganti solar, salah satunya adalah biodiesel yang berasal dari tanaman.

Biodiesel dapat diproduksi dengan reaksi proses esterifikasi dan transesterifikasi. Umumnya pembuatan biodiesel yang optimum, masih menyisakan banyak reaktan sisa dan waktu yang relatif biodiesel dari minyak nabati secara konvensional dilakukan pada suhu antara 50 hingga 60°C dengan waktu reaksi antara 1 – 6 jam. Konversi yang dihasilkan hanya mencapai 89,72 % (Hakim dan Irawan, 2007). Produksi secara konvensional tersebut belum mampu menghasilkan konversi maksimal. Penggunaan gelombang ultrasonik dalam reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel dimungkinkan dapat mempercepat waktu reaksi untuk

menghasilkan konversi yang maksimal dan hasilnya belum memenuhi standar SNI maupun ASTM. Namun, konversi untuk pembentukan biodiesel dari *blending* minyak kelapa sawit dan minyak jarak berbantuan gelombang ultrasonik belum diketahui. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai hal ini, diantaranya mengetahui rasio antara minyak sawit dan minyak jarak, banyaknya katalis yang digunakan serta perbandingan mol alkohol-minyak yang optimum untuk menghasilkan produk yang memenuhi standar SNI maupun ASTM.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan minyak jarak, sawit, dan metanol sebagai bahan baku utama pembuatan biodiesel, sedangkan katalis yang digunakan adalah KOH. Dalam penelitian ini digunakan *ultrasonic cleaner* sebagai reaktor di mana reaksi yang terjadi reaksi transesterifikasi. Setelah dilakukan reaksi transesterifikasi, dilakukan pemisahan produk dan hasil samping menggunakan dekanter dan distilasi.



Gambar 1 Rangkaian Alat *Ultrasonic Cleaner*. [(1). *Ultrasonic cleaner* (2). Erlenmeyer (3) Air].

## 3. Hasil dan Pembahasan

Dengan bantuan software statistic 6.0, diperoleh konversi seperti pada tabel di bawah.

Tabel 1 Hasil Percobaan dengan Central Composite Design

Run	Block	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y (%)
1	1	-1	-1	-1	47.442
2	1	-1	-1	1	72.695
3	1	-1	1	-1	45.171
4	1	-1	1	1	80.081
5	1	1	-1	-1	42.987
6	1	1	-1	1	89.372
7	1	1	1	-1	71.834
8	1	1	1	1	89.689
9	1	0	0	0	95.341
10	2	-1.76	0	0	40.537
11	2	1.76	0	0	85.651
12	2	0	-1.76	0	51.296
13	2	0	1.76	0	78.980
14	2	0	0	-1.76	15.303
15	2	0	0	1.76	90.553
16	2	0	0	0	95.341

### Keterangan

X<sub>1</sub> = Perbandingan massa minyak jarak dan sawit

X<sub>2</sub> = Persen katalis pada minyak

X<sub>3</sub> = Perbandingan mol metanol dengan minyak



Untuk persamaan konversi optimumnya, didapat persamaan

$$Y_u = 95,7084 + 9,00468 X_1 - 9,4203 X_1^2 + 5,84360 X_2 - 8,7633 X_2^2 + 18,0796 X_3 - 12,688 X_3^2 + 3,00613 X_1 X_2 + 0,509625 X_1 X_3 - 2,3591 X_2 X_3 \quad \dots(1)$$

Dari persamaan tersebut bisa dilihat bahwa koefisien  $X_3$  bertanda positif dan memiliki nilai yang terbesar dan paling berpengaruh.

### Karakteristik Biodiesel

**Tabel 2** Karakteristik Biodiesel

Karakteristik	ASTM	SNI	Variabel 9
Densitas (g/ml)	0,86 - 0,90	0,85 - 0,89	0,882
Viskositas kinematis (Cst)	1,9 - 6,0	2,3 - 6,0	4,684
Angka asam	Maks 0,5	Maks. 0,8	0,589
Angka setana	Min. 47	Min. 51	72,737
Bilangan iod	Maks. 115	Maks. 115	48,807
Angka Penyabunan	≤261,26	≤261,26	145,860

### Analisa Varian

**Tabel 3** Analisa Varian

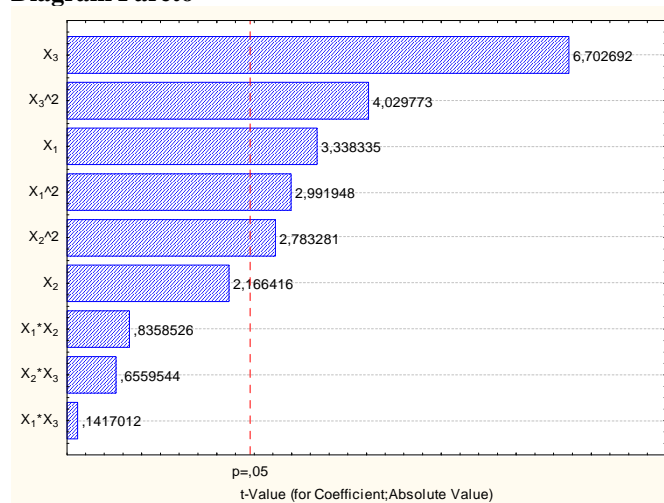
Efek	SS	Degree of freedom	MS	F	P
Intersep	18361,94	1	18361,94	177,4491	0.000011
$X_1$	1153,20	1	1153,20	11,1445	0.015644
$X_1^2$	926,30	1	926,30	8.9518	0.024259
$X_2$	485,66	1	485,66	4,6934	0.073424
$X_2^2$	801,60	1	801,60	7.7467	0.031859
$X_3$	4648,82	1	4648,82	44,9261	0.000535
$X_3^2$	1680,37	1	1680,37	16.2391	0.006882
$X_1 X_2$	72.29	1	72.29	0.6986	0.435254
$X_1 X_3$	2.08	1	2.08	0.0201	0.891954
$X_2 X_3$	44.52	1	44.52	0.4303	0.536182
Error	620.86	6	103.48		

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa variabel rasio massa minyak sawit dan minyak jarak, perbandingan massa katalis terhadap minyak, perbandingan mol metanol dan minyak, serta interaksi campuran minyak jarak dan sawit dengan katalis, mempunyai harga F lebih besar dari harga p, sehingga merupakan variabel yang berpengaruh. Sedangkan interaksi interaksi campuran minyak jarak dan sawit dengan methanol, dan interaksi katalis dengan metanol lebih kecil dari harga p sehingga dapat direjeksi dari model matematika awal.

Didapatkan model matematika baru :

$$Y_u = 95,7084 + 9,00468 X_1 - 9,4203 X_1^2 + 5,84360 X_2 - 8,7633 X_2^2 + 18,0796 X_3 - 12,688 X_3^2 + 3,00613 X_1 X_2$$

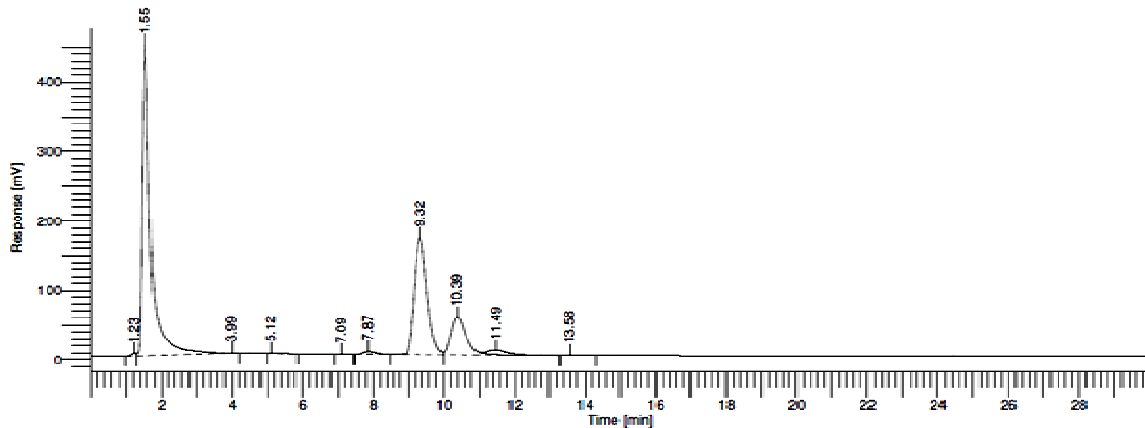
### Diagram Pareto



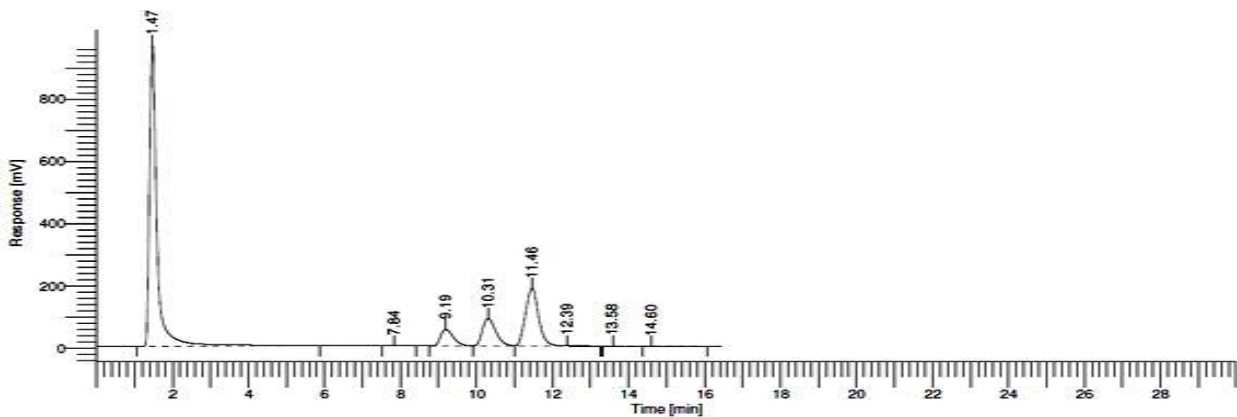
**Gambar 2** Diagram Pareto

Dari grafik Pareto, dapat dilihat bahwa harga efek variabel yg melewati garis  $p=0.05$  merupakan variabel yang berpengaruh terhadap konversi yaitu perbandingan mol minyak dengan metanol ( $X_3$  dan  $X_3^2$ ), rasio massa minyak sawit dan minyak jarak ( $X_1$  dan  $X_1^2$ ), dan kadar katalis terhadap minyak ( $X_2^2$ ). Sedangkan harga efek dari variabel yang tidak melewati garis  $p = 0,05$  merupakan variabel berpengaruh yang dapat diabaikan yaitu kadar katalis terhadap minyak ( $X_2$ ) dan interaksi antara variabel seperti rasio massa minyak sawit dan minyak jarak-kadar katalis terhadap minyak ( $X_1 * X_2$ ), kadar katalis terhadap minyak-perbandingan mol minyak dengan metanol ( $X_2 * X_3$ ), dan rasio massa minyak sawit dan minyak jarak- perbandingan mol minyak dengan metanol ( $X_1 * X_3$ ) karena pengaruhnya tidak mengakibatkan peningkatan konversi yang signifikan.

### Analisa Kualitatif FAME Biodiesel dengan Menggunakan GC



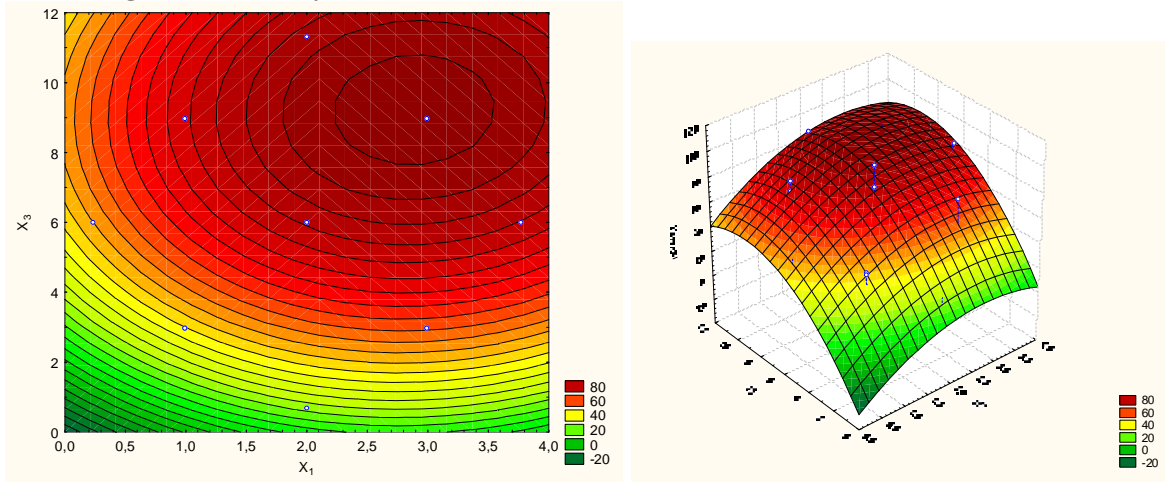
**Gambar 3** Analisa GC biodiesel dari Pertamina



**Gambar 4** Analisa GC Variabel 9

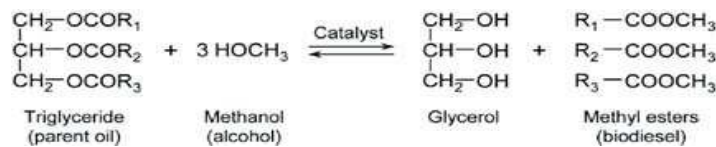
Analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui ada tidaknya kandungan FAME yang sama dari biodiesel hasil penelitian dengan minyak diesel dari Pertamina. Dari hasil analisa GC di atas dapat dilihat bahwa kandungan FAME diesel Pertamina mempunyai waktu retensi pada 1,55; 9,32 dan 10,39. Sedangkan FAME pada variabel 9 terdapat pada rentang waktu 1,47; 9,19; 10,31 dan 11,46. Terdapat perbedaan pada peak 11, di mana peak 11 ini merupakan indikator Asam Linoleat dikarenakan kandungan Asam Linoleat yang rendah pada minyak diesel Pertamina yang hanya berbahan baku sawit. Sedangkan pada variabel 9 memiliki kandungan Asam Linoleat yang tinggi dikarenakan perbedaan bahan baku berupa minyak jarak (dicampur dengan minyak sawit). Untuk peak 1, 9, dan 10 komponen antara minyak diesel Pertamina dan variabel 9 relatif sama.

### Kondisi Optimum Perbandingan Jumlah Minyak dan Metanol



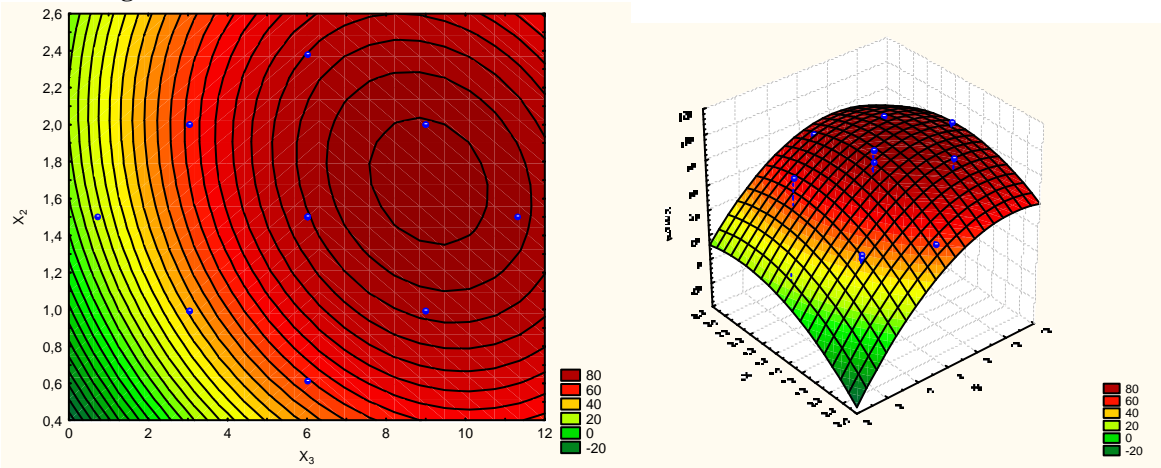
Gambar 5 Grafik Kontur Permukaan Konversi vs Perbandingan Minyak dan Perbandingan Methanol

Hasil percobaan pengaruh rasio reaktan terhadap konversi minyak ditunjukkan dari grafik optimasi 3 dimensi dan kontur permukaan yaitu mendekati optimum pada rentang 8,0-10,8. 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 (Wang *et al*, 2007).

### Perbandingan Metanol dan katalis

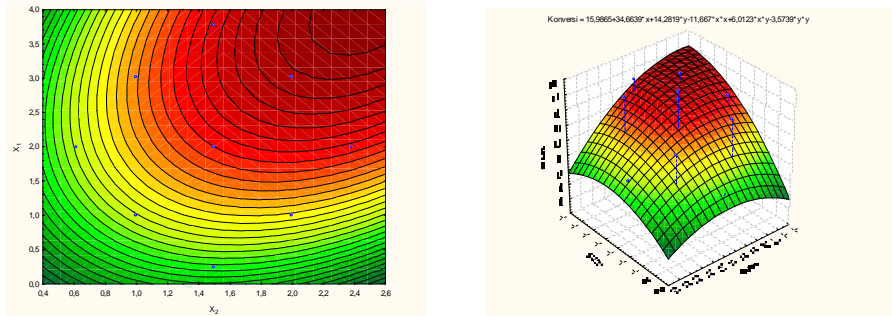


Gambar 6 Grafik Kontur Permukaan Konversi vs Perbandingan Metanol dan Perbandingan Katalis

Hasil percobaan pengaruh kadar katalis terhadap minyak ditunjukkan dari grafik optimasi 3 dimensi dan kontur permukaan yaitu mendekati optimum pada rentang 1,4-2,0. Pada proses reaksi esterifikasi dan transesterifikasi berbantuan gelombang ultrasonik, didapatkan hasil yang optimum pada penambahan jumlah katalis pada variabel 1,5%. Secara umum, dengan peningkatan jumlah katalis maka keaktifan katalis akan bertambah, sehingga dapat meningkatkan konversi. Meningkatnya konversi ini dimungkinkan terjadi karena pada kondisi ini keaktifan katalis untuk melakukan reaksi hidrolisis cenderung meningkat sehingga berpengaruh pada pembentukan FFA (Taharuddin, *et al.*, 2007). Penambahan katalis lebih dari kisaran maksimum tidak

menambah konversi yang lebih baik, atau bahkan dapat menurunkan konversi. (Ilgen O. et al, 2007), mengatakan bahwa peningkatan jumlah katalis akan memberikan penurunan jumlah konversi.

### Perbandingan katalis dan minyak



Gambar 7 Grafik Kontur Permukaan Konversi vs Perbandingan Katalis dan Perbandingan Minyak

Dari Gambar 7 diatas, tidak terlihat secara jelas perbandingan optimal untuk campuran kedua bahan baku tersebut, tetapi dapat diperkirakan berada pada di atas 2,5. Pada dasarnya semakin banyak jumlah jarak, maka akan didapat konversi yang lebih besar, karena jarak mempunyai kandungan asam lemak yang lebih tinggi daripada minyak kelapa sawit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya (Orchidea Rachmaniah, 2003), minyak dengan kandungan asam lemak tinggi (15% FA, 60% FA, dan 70% FA) mencapai konversi FAME 85-98% untuk satu jam reaksi sedangkan minyak berkandungan asam lemak rendah (3%FA, 7%FA, dan 10% FA) hanya mencapai 25-75% konversi FAME.

### Nilai Kritis

Nilai kritis dari variabel percobaan kami dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4 Nilai Kritis

Faktor	Observed Minimum	Critical Value	Observed Maximum
X <sub>1</sub>	0,236166	2,550050	3,76383
X <sub>2</sub>	0,618083	1,667278	2,38192
X <sub>3</sub>	0,708497	8,077243	11,29150

Pada tabel 4 dapat disimpulkan bahwa Nilai kritis untuk perbandingan massa minyak jarak dan sawit (X<sub>1</sub>) adalah 2,55; berat katalis (X<sub>2</sub>) 1,667; dan perbandingan mol metanol dengan minyak (X<sub>3</sub>) adalah 8,077 untuk mendapatkan konversi optimum.

### 4. Kesimpulan

1. Pada penelitian ini didapatkan konversi tertinggi sebesar 95,341% dengan perbandingan massa minyak jarak dan sawit 2:1, jumlah katalis 1,5% massa minyak, dan perbandingan mol metanol-minyak 6:1.
2. Model persamaan matematika untuk mencari konversi biodiesel untuk rentang variable penelitian ini adalah  $Y = 95,7084 + 9,00468 X_1 - 9,4203 X_1^2 + 5,84360 X_2 - 8,7633 X_2^2 + 18,0796 X_3 - 12,688 X_3^2 + 3,00613 X_1X_2$
3. Berdasarkan analisa viskositas, densitas, angka asam, angka penyabunan, bilangan iodin, angka cetane, dan analisa FAME menggunakan GC menunjukkan bahwa sebagian besar produk biodiesel telah memenuhi standar SNI dan ASTM.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Pelayanan Terpadu (C-Biore) dan Teknik Kimia UNDIP atas kontribusinya sebagai tempat dilakukannya penelitian ini.

### Daftar Pustaka

Abdullah et al. 2007. *Soybeans Processing for Biodiesel Production*. University of Missouri. United States



- Aman Santosa. 2006. *Pemanfaatan Gelombang Mikro Untuk Meningkatkan Efisiensi Sintesis Biodiesel Sebagai Energi Terbarukan*. FMIPA.Universitas Malang.Malang
- Ariza Budi Tunjunsari. 2007. *Proses Pembuatan Biodiesel Minyak Jarak Pagar (Jatropha curcas L.) dengan Transesterifikasi Satu dan Dua Tahap*. Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor
- ASTM D6751 - 12 Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels
- Benge M. 2006. *Assessment of the potential of jatropha curcas, (biodiesel tree) for energy production and other uses in developing countries*.
- Candra S.S. 2000. *Pembuatan Biodiesel-Oil dari Minyak Jarak sebagai Substitusi Minyak Diesel Asal Petroleum dengan Katalis Zeolit Aktif*
- Departemen Pertanian. Database Pertanian. Diakses 13 Mei 2013. [http://database.deptan.go.id/bdsp/hasil\\_kom.asp](http://database.deptan.go.id/bdsp/hasil_kom.asp).
- Foidl, N., G. Foidl, M. Sanchez, M. Mittelbach, dan S. Hackle. 1996. *Jatropha Curcas for Biodiesel Production in Nicaragua*. Bioresouce Tech. 58(1): 77-82.
- Hakim A.R. dan Sutira Irawan. 2007. *Kajian Awal Sintesis Biodiesel dari Minyak Dedak Padi Proses Esterifikasi*. Teknik Kimia UNDIP. Semarang
- Hambali E. dkk. 2006. *Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel*. Cetakan ke-3. Depok : Penebar Swadaya.
- Hambali E. dkk. 2008. *Teknologi Bioenergi*. Cetakan ke-2. Jakarta: PT. Agromedia Pustaka.
- Hanh H.D., Dong N.T., Okitsu K., Nishimura R., dan Maeda Y, 2008. *Biodiesel production by esterification of oleic acid with short-chain alcohols under ultrasonic irradiation condition*. 2008. Renewable energy 34 (2009) 780-783.
- Ika Amalia Kartika dkk. Pemisahan Gum dari Minyak Jarak dengan Membran Mikrofiltrasi. Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor
- Ilgen O., Akin A.N., dan Boz N. 2007. *Investigation on the Esterification of Fatty Acid Catalyzed by the H3PW12O40 Heteropolyacid*. Universidade Federal de Vicosa. Brazil.
- Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain
- Ketaren S. 1986. *Minyak dan Lemak Pangan*. UI Press. Jakarta.
- Ketaren S. 2006. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI Press.
- Knothe, Gerhard, Robert O. Dunn, dan Marvin O. Bagby. 2005. *Biodiesel: The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels*. National Center for Agricultural Utilization Research, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Peoria.
- Knothe G, Matheaus AC, dan Ryan TW. 2003. *Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester*. J Fuel 82:971-975.
- Labua S., Sriadulphan C., Sangkong S., dan Puangmalai N. 2008. *Biodiesel with decreased viscosity produced from crude palm oil*. Departement of Industrial-Biotechnology, Faculty of Biotechnology, Rangsit University, Phatum Thani 12000. Thailand
- LIPI. LPPM ITB. Diakses 1 Mei 2013. [http://www.lppm.itb.ac.id/?p=772/iptekda\\_lipi](http://www.lppm.itb.ac.id/?p=772/iptekda_lipi)
- Ma, Fangrui, dan Hanna, Milford A. 1999. *Biodiesel Production : A Review*. Bioresouce Tech. 70: 77-82.
- Manurung, Robert. 2003. *Jatropha, A Promising Plant: Community Development*. Bio-Technology Research Center. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Mittelbach M. 1996. *Diesel fuel derived from vegetable oils, VI: specification and quality control of biodiesel*. J Bioresource Technology 56:7-11.
- Mittelbach M. dan Remschmidt C. 2006. *Biodiesel : The Comprehensive Handbook*. Ed ke-3. Austria: Boersedruck Ges.
- Muhammad D.S dkk. 2012. *Biodiesel Production from Waste Cooking Oil using Hydrodynamic Cavitation*. MAKARA Journal of Technology Series, Vol 16, No 2 (2012)
- Orchidea R. dkk. *Potensi Minyak Mentah Dedak Padi sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, ITS. Surabaya.
- Peraturan Presiden No.5 tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional.
- Ramesh D, Samapathrajan A, dan Venkatachalam P. 2009. *Production of biodiesel from jatropha curcas oil by using pilot biodiesel plant*.
- Salamatinia B., Mootabadi H., Bhatia S., dan Abdullah Z. 2009. *Optimization of ultrasonic-assisted heterogeneous biodiesel production from palm oil : A response surface methodology approach*. Fuel Processing Technology 91 (2010) 441-448
- Singh R.N., Vyas D.K., Srivastava N.S.L., dan Madhuri N. 2008. *SPRERI experience on holistic approach to utilize all parts of Jatropha curcas fruit for energy*. Renewable Energy 33(8):1868-1873.



SNI 04-7182-2006 Biodiesel.

Soenardi dan Selamat Riyadi. 2005. *Jarak dan Kegunaannya. Badan Penelitian Tanaman Tembakau dan Serat*. Malang

Soerawidjaja T. H., 2003. *Standar Tentatif Biodiesel Indonesia dan Metode-metode Pengujiannya*. Disampaikan dalam Diskusi Forum Biodiesel Indonesia. Bandung.

Stirpe F., et al. 1976. *Studies on the proteins from the seeds of Croton tiglium and of Jatropha curcas : toxic properties and inhibition of protein synthesis in vitro*. J Biochem 156:1-6.

Taharuddin et al, 2007, *Cordierite sebagai Katalis Heterogen pada Metanolisis Minyak Kelapa (Coconut Oil)*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Wang dan Chang C.C. 1947. China's motor fuels from tung oil. Ind. Eng. Chem. 39, 1543-1548

Worldwatch. Diakses 1 Mei 2013. [Http://www.worldwatch.com/global\\_palm\\_oil\\_demand\\_fueling](http://www.worldwatch.com/global_palm_oil_demand_fueling)

Yastika dan Yusi. 2010. *Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Berbantuan Gelombang Ultrasonik*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Undip. Semarang

Zhang Y, Dube MA, McLean DD, dan Kates M. 2003. *Biodiesel production from waste cooking oil: Process design and technological assessment*. Bioresource Technology 89:1-16.

Zuhelmi Tazora. 2011. *Peningkatan Mutu Biodiesel dari Minyak Biji Karet Melalui Pencampuran dengan Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar*. Sekolah Pasca Sarjana IPB. Bogor