

## Review

## Prediksi Kualitas Biodiesel Berdasarkan Komposisi Asam Lemak Bahan Mentah (Minyak-lemak)

### *Prediction of Biodiesel Quality Base on The Feedstock Fatty Acids Composition (Oils and Fats)*

Joelianingsih<sup>1,2</sup>, Armansyah H. Tambunan<sup>3</sup>, Tatang H Soerawidjaya<sup>4</sup>, Yasuyuki Sagara<sup>5</sup>, dan Kamaruddin Abdullah<sup>3</sup>

#### Abstract

*The characteristics of biodiesel are similar to diesel fuels, and therefore biodiesel becomes a strong candidate to replace the diesel fuels if the need arises. Biodiesel standard – so called SNI 04-7182-2006 has been approved by the Indonesian National Standardization Agency (BSN). The basic fuel properties for biodiesel are influenced by the fatty acid composition of the feedstock such as the density, viscosity, cetane number, heating value and cloud point. Therefore, the value of these properties can be predicted from the fatty acids composition of the feedstock using the blending equations. This work uses pure component data for methyl palmitate, methyl stearate, methyl oleate, and methyl oleate to develop and test blending equations for the prediction of the basic fuel properties. The results from the blending equations are compared with literature values for biodiesel for a number of triglyceride sources such as palm and jatropha oils. Typical average errors are less than 10% for the density, cetane number and heating value. The blending equation for the viscosity and cloud point are suitable only for a specified biodiesel.*

**Keywords:** *biodiesel, basic fuel properties, blending equation, SNI.*

*Diterima: 28 Mei 2007; Disetujui: 22 Agustus 2007*

#### Pendahuluan

Biodiesel didefinisikan sebagai monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel (Krawczyk, 1996). Pada saat ini berbagai jenis minyak nabati telah digunakan sebagai bahan baku (mentah) pembuatan biodiesel. Di Amerika Serikat, biodiesel dihasilkan dari minyak kedelai (*soybean*), negara-negara di Eropa menggunakan minyak kanola (*rapeseed*) dan minyak bunga matahari (*sunflower*), sedangkan di Asia Tenggara terutama Malaysia dan Indonesia menggunakan minyak kelapa sawit (*palm oil*) sebagai sumber bahan baku pembuatan biodiesel. Minyak nabati mengandung 90-98% (m/m basis) trigliserida sebagai komponen utamanya dengan sejumlah kecil mono- dan digliserida. Trigliserida adalah ester dari tiga asam lemak (*fatty acid*) rantai panjang (8 sampai 22 atom carbon) yang terikat pada satu gugus gliserol. Menurut Srivastava dan Prasad (2000), terdapat lima jenis asam lemak yang umumnya terkandung dalam minyak nabati yaitu

asam palmitat (C16:0), asam stearat (C18:0), asam oleat (C18:1), asam linoleat (C18:2) dan asam linolenat (C18:3). Asam lemak jenis lainnya ada dalam jumlah yang sangat kecil. Dari berbagai jenis minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku ternyata menghasilkan biodiesel yang berbeda karakteristik (*properties*) terutama densitas, viskositas, angka setan (*cetane number*), nilai kalor (*heating value*) dan titik kabut (*cloud point*). Perbedaan beberapa karakteristik biodiesel seperti tersebut di atas disebabkan terutama karena perbedaan komposisi asam lemak yang terkandung dalam minyak asalnya. Namun demikian ada beberapa parameter kualitas biodiesel yang nilainya tidak bergantung pada komposisi asam lemak dari minyak atau lemak asal melainkan dipengaruhi oleh keberhasilan proses produksinya baik pada saat penyiapan (*pre-treatment*) bahan baku, proses reaksi kimia (*chemical reaction process*) maupun proses pemurnian (*purification process*). Penulisan makalah ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh jenis dan komposisi asam lemak yang terkandung di dalam minyak-lemak sebagai bahan baku terhadap kualitas

<sup>1</sup> Mahasiswa S3 jalur – *Research* di Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia, Jl Raya Puspitpek Serpong, Tangerang 15320, Email : joelianingsih@yahoo.com.

<sup>3</sup> Departemen Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

<sup>4</sup> Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung

<sup>5</sup> Department of Global Agricultural Sciences, The University of Tokyo, Japan.

Tabel 1. Struktur kimia dan nama berbagai asam lemak

Jenis asam lemak	Nama sistematis	Struktur <sup>a</sup>	Rumus molekul
Kaprilat	Oktanoat	8:0	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>
Kaprat	Dekanoat	10:0	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>
Laurat	Dodekanoat	12:0	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>
Miristat	Tetradekanoat	14:0	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>
Palmitat	Hexadekanoat	16:0	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>
Stearat	Oktadekanoat	18:0	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>
Arachidat	Eikosanat	20:0	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>
Behenat	Dokosanoat	22:0	C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>
Lignoserat	Tetrakosanoat	24:0	C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>
Oleat	<i>cis</i> -9-Oktadekenoat	18:1	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>
Linoleat	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Oktadekadienat	18:2	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>
Linolenat	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-Oktadekatrienat	18:3	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>
Erusat	<i>cis</i> -13-Dokosenoat	22:1	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>

Tabel 2. Komposisi rata-rata asam lemak (% massa) dari beberapa minyak dan lemak

Minyak/lemak	Jenis asam lemak (% massa)							Referensi
	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	
Sawit	1	41	0	3	45	9	1	Zaizi, <i>et al.</i> , 1996
Kedelai	0	13	0	3	23	55	6	Bagby, <i>et al.</i> , 1987
Bunga matahari	0	6	0	3	17	74	0	Bagby, <i>et al.</i> , 1987
Jarak pagar	0,2	14,2	1	6,9	43,2	34,3	0,2	Foidl <i>et al.</i> , 1996, (1)
Kacang tanah <sup>a</sup>	0	10,4	0	8,9	47,1	32,9	0,5	Yuan <i>et al.</i> , 2005
Kanola <sup>a</sup>	0,1	3,9	0	3,1	60,2	21,1	11,1	Yuan <i>et al.</i> , 2005
Lemak (sapi)	3	24	4	21	45	3	0	Ali, <i>et al.</i> , 1995

(1) Hasil analisa di Departemen Teknik Kimia, ITB Bandung

a) Kacang tanah dan kanola mengandung masing-masing 0,2% dan 0,5 % C22:1

biodiesel yang dihasilkan. Data dan persamaan yang digunakan semuanya diperoleh dari studi pustaka dan tidak dilakukan percobaan atau penelitian di laboratorium.

#### Komposisi Asam Lemak dari Minyak dan Lemak

Asam lemak dibedakan berdasarkan panjang rantai karbon dan jumlah ikatan rangkapnya. Asam lemak yang tidak memiliki ikatan rangkap disebut dengan asam lemak jenuh (*saturated fatty acids*) misalnya asam palmitat dan stearat sedangkan asam lemak yang mempunyai ikatan rangkap disebut asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acids*) seperti asam oleat memiliki 1 buah ikatan rangkap dua, asam linoleat memiliki 1 buah ikatan rangkap tiga.

Struktur kimia dan nama dari berbagai asam lemak dapat dilihat pada Tabel 1, sedangkan komposisi rata-rata asam lemak dari beberapa minyak nabati dan lemak yang telah digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel disajikan pada Tabel 2.

#### Prediksi Kualitas Biodiesel Berdasarkan Komposisi Asam-asam Lemak

Produksi biodiesel selalu diarahkan untuk mendapatkan kualitas yang sesuai dengan standar yang berlaku. Tabel 3 menunjukkan standar biodiesel Indonesia SNI 04-7172-2006 dibandingkan dengan bahan bakar diesel dari fosil/petrodiesel. (Wirawan dan Tambunan, 2007).

Kualitas biodiesel pada umumnya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kualitas bahan

Tabel 3. Standar biodiesel Indonesia dibandingkan petrodiesel

No	Parameter	Satuan	Petrodiesel (1)	Biodiesel (2)
1	Massa Jenis	kg/m <sup>3</sup>	820 - 870 (15°C)	850 - 890 (40°C)
2	Viskositas kinematik (40 °C)	Mm <sup>2</sup> /s (cSt)	1,6 - 5,8	2,3 - 6,0
3	Angka setana		min. 45	min. 51
4	Titik nyala	°C	min. 60	min. 100
5	Titik kabut	°C		max. 18
6	Titik tuang	°C	Max. 18	
7	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		max. no 1	max. no 3
8	Residu karbon			
	- dalam contoh asli, atau	% (m/m)	-	max 0,05
	- dalam 10 % ampas distilasi	% (m/m)	max. 0,1	max. 0,30
9	Air dan sedimen	%-v/v	max. 0,05*	max. 0,05*
10	Temperatur distilasi 90% (v/v)	°C	-	max. 360
11	Temperatur distilasi 95% (v/v)	°C	max. 370	-
12	Abu tersulfatkan	% (m/m)	max.0,01	max.0,02
13	Kandungan sulfur	ppm-m (mg/kg)	max. 5000	max. 100
14	Kandungan fosfor	ppm-m (mg/kg)	-	max. 10
15	Angka asam	mg-KOH/g	max.0,6	max.0,8
16	Gliserol bebas	% (m/m)	-	max. 0,02
17	Glicerol total	% (m/m)	-	max. 0,24
18	Kadar ester alkil	% (m/m)	-	min. 96,5
19	Angka iodium	% (m/m)	-	max. 115
		(g-I <sub>2</sub> /100g)		
20	Uji Halphen		-	Negatif

\* Catatan: Dapat diuji terpisah dengan ketentuan kandungan sedimen maksimum 0,01% v/v.

1. Automotive Diesel Oil, (akses tanggal 19 Juni2006)

2. SNI Biodiesel No. 04-7182-2006, berdasarkan pada ASTM D 6751 & EN 14214

baku (misalnya kandungan asam lemak bebas, belerang/sulfur, dan fosfor), komposisi asam-asam lemak dari minyak nabati atau lemak hewan, proses produksi/pembuatannya dan bahan-bahan lain yang digunakan dalam proses seperti misalnya katalis. Diantara karakteristik biodiesel seperti yang tercantum pada Tabel 3, kualitas biodiesel yang dipengaruhi oleh komposisi asam-asam lemak dari minyak atau lemak asalnya adalah densitas, viskositas, angka setana, nilai kalor dan titik kabut yang merupakan parameter dasar untuk mengukur kualitas bahan bakar diesel. Dengan demikian dengan mengetahui komposisi asam-asam lemak dari minyak atau lemak asalnya maka kualitas biodiesel yang dihasilkan dapat diperkirakan.

Penggunaan struktur dan komposisi kimia sebagai dasar untuk memperkirakan sifat-sifat transport, termodinamika dan fisika bukanlah sesuatu hal yang baru. Reid, Prausnitz dan Poling (1987) telah menunjukkan bagaimana struktur kimia dapat digunakan untuk menghitung sifat-sifat komponen

murni dan memprediksi sifat-sifat campurannya berdasarkan komposisi dengan menggunakan rumus pencampuran (*mixing rules*). Biodiesel merupakan campuran dari beberapa monoalkil ester asam lemak dengan komposisi tertentu yang dapat didefinisikan dengan baik. Pada umumnya jenis asam-asam lemak yang terkandung dalam suatu minyak atau lemak tidak berubah sedangkan komposisinya sedikit bervariasi bergantung pada sumber/asal tanaman. Oleh karena itu kualitas biodiesel dapat diperkirakan berdasarkan komposisi dan sifat-sifat komponen murninya.

Data sifat-sifat komponen murni beberapa monoalkil ester asam lemak yang terkait dengan sifat-sifat penting suatu bahan bakar seperti angka setana, densitas, viskositas, nilai kalor dan titik leleh telah dirangkum oleh Profesor L. Davis Clements dari Universitas Nebraska-Lincoln yang diambil dari sejumlah referensi. Data tersebut meliputi metil palmitat, metil stearat, metil oleat dan metil linoleat yang umumnya terkandung dalam minyak-lemak

Table 4. Data sifat-sifat komponen murni metil ester asam lemak

Ester	Densitas g/cc @ 15.5 °C	Viscositas Cst @ 40 °C	Angka setana	Nilai kalor MJ/kg	Titik leleh °C
Palmitat	0,867	4,37	74	39,4	30,6
Stearat	0,867	5,79	75	40,1	39,1
Oleat	0,878	4,47	55	39,9	-19,8
Linoleat	0,890	3,68	33	39,7	-35,0
Referensi	Janarthanan <i>et al.</i> , 1996	Janarthanan <i>et al.</i> , 1996	Bagby & Freedman 1989	Freedman & Bagby, 1989	Teoh and Clements, 1988

Tabel 5. Data kualitas biodiesel dari berbagai minyak-lemak

Sumber minyak	Densitas g/cc@ 15.5°C	Viscositas ,cSt @ 40°C	Angka cetana	Nilai kalor, MJ/kg	Titik kabut °C	Referensi
Sawit	0,880	5,7	62	37,8	+13	Pischinger, <i>et al.</i> , 1982
Kedelai	0,884	4,08	46,2	39,8	+2	Schwab, <i>et al.</i> , 1987
B.matahari	0,880	4,6	49	38,1	+1	Pischinger, <i>et al.</i> , 1982
Jarak pagar	0,879	4,84	51	-	-	Foidl <i>et al.</i> , 1996
Kacang tnh	0,883	4,9	54	38,7	5	Srivastava & Prasad, 2000
Kanola	0,880	4,4	49,6	40,1	-1	Reaney, 1997
Lemak sapi	0,877	4,1	58	39,9	+12	Ali, <i>et al.</i> , 1995

dengan komposisi cukup besar disajikan pada Tabel 4.

Data untuk metil ester miristat (C14:0) dan palmitoleat (C16:1) diasumsikan sebagai C16:0, sedangkan ester dari C18:3 dan C22:1 diasumsikan sebagai C18:2. Untuk mendapatkan hasil perkiraan yang lebih mendekati nilai sebenarnya diperlukan data komponen murni yang lebih banyak, namun rumus pendekatan yang digunakan sama. Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa:

- a. Semakin panjang rantai karbon asam lemak jenuh dari suatu metil ester maka viskositas, angka setana, nilai kalor dan titik leleh semakin tinggi sedangkan densitasnya relatif tetap.
- b. Semakin banyak jumlah ikatan rangkap dengan panjang rantai carbon yang sama maka densitas semakin besar, sedangkan viskositas, angka setana, nilai kalor dan titik leleh semakin kecil.
- c. Dibandingkan dengan asam lemak tak jenuh, asam lemak jenuh mempunyai angka setana dan titik leleh lebih tinggi.

Data hasil pengujian sifat-sifat biodiesel dari beberapa minyak-lemak seperti sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, dan lemak sapi disajikan pada Tabel 5.

Teknik yang digunakan untuk memprediksi kualitas biodiesel berdasarkan komposisi asam-asam lemak penyusunnya adalah sebagai berikut: (Clements, 1996)

a. Densitas ( $\rho$ ): 
$$\rho_{camp} = \sum_{i=1}^n x_i \rho_i \tag{1}$$

b. Viscositas ( $\eta$ )(Allen, *et al.*, 1999): 
$$\ln \eta_{camp} = \sum_{i=1}^n x_i (\ln \eta_i) \tag{2}$$

c. Angka Setana ( $A_S$ ): 
$$A_{S,camp} = \sum_{i=1}^n x_i (A_S)_i \tag{3}$$

d. Nilai Kalor ( $N_K$ ): 
$$N_{K,camp} = \sum_{i=1}^n x_i (N_K)_i \tag{4}$$

e. Titik Kabut ( $T_K$ ): 
$$\ln(T_K + 10) = 2,2 - 1,57 \ln(x_{unsat}) \tag{5}$$

Keterangan:

Camp : campuran

$x_i$  : fraksi massa komponen asam lemak

$x_{unsat}$  : fraksi massa asam-asam lemak tak jenuh.

Hasil perkiraan kualitas biodiesel yang dihitung menggunakan persamaan (1) sampai dengan (5) ditampilkan pada Tabel 6

Berdasarkan komposisi asam-asam lemak yang dikandungnya, maka biodiesel dari minyak sawit dan lemak sapi mempunyai angka setana dan titik kabut yang lebih tinggi karena kandungan asam lemak jenuhnya lebih tinggi seperti terlihat Tabel 2 dan 4. Nilai kalor dan densitas biodiesel dari berbagai sumber bahan baku tidak mempunyai perbedaan yang berarti. Rumus pencampuran yang telah diusulkan oleh

Tabel 5. Kualitas biodiesel hasil prediksi berdasarkan komposisi asam lemak

Biodiesel	Densitas		Viskositas		Angka setana		Nilai kalor		Titik Kabut	
	Nilai	%Err	Nilai	%Err	Nilai	%Err	Nilai	%Err	Nilai	%Err
Sawit	0,874	0,7	4,4	22,8	61	1,6	39,7	- 5,0	13,07	-0,5
Kedelai	0,884	0	4,0	2	45	2,0	39,7	0,3	1,87	6,5
B.matahari	0,886	-0,7	3,9	15	41	16,3	39,7	-4,2	0,47	53
Jarak Pagar	0,880	-0,1	4,7	-14,6	51,7	-1,4	39,8	-	3,41	-
Kacang tnh	0,880	0,3	4,2	13,2	51,4	4,8	39,8	-2,8	2,64	47,2
Kanola	0,881	-0,1	4,3	12,2	49,2	0,8	39,8	0,7	0,13	113
Lemak sapi	0,873	0,5	4,2	4,55	64	-10,3	39,8	0,3	18,57	-54,75

% Err (persen kesalahan) = ((Nilai nyata- Nilai prediksi)/ Nilai nyata) x 100%

Clements, (1996) dan Allen, *et al* (1999) sebagaimana tertulis pada persamaan (1)–(5) mempunyai persen kesalahan rata-rata (%Err ) sebagai berikut:

- Untuk densitas sebesar 0,3%
- Untuk viskositas sebesar 12,05%
- Untuk angka setana sebesar 5,3%
- Untuk nilai kalor sebesar 2,2%
- Untuk titik kabut sebesar 45,8%

Persamaan (rumus) untuk memperkirakan densitas, angka setana dan nilai kalor biodiesel mempunyai % kesalahan cukup rendah di bawah 10% sedangkan untuk viskositas dan titik kabut persamaan yang diusulkan kurang sesuai dan hanya cocok untuk biodiesel tertentu saja.

Pada tabel 3 terlihat ada beberapa parameter uji kualitas biodiesel yang tidak terdapat pada petrodiesel diantaranya adalah gliserol bebas, gliserol total dan kadar ester alkil. Parameter tersebut merupakan parameter uji kualitas biodiesel yang nilainya tidak dipengaruhi oleh komposisi asam-asam lemak minyak asalnya melainkan tergantung pada keberhasilan proses pembuatannya. Griserol total merupakan jumlah dari gliserol bebas (GL) dan gliserol terikat yang terdiri dari trigliserida (TG), digliserida (DG), dan monogliserida (MG). Biodiesel/metil ester (ME) diperoleh dari proses konversi kimia (reaksi transesterifikasi TG dengan metanol dimana reaksinya terdiri dari 3 tahap dengan DG dan MG sebagai produk antara seperti berikut:



Bila konversi reaksi rendah atau tidak sempurna akan menyebabkan tingginya kadar gliserol terikat dan rendahnya kadar metil ester. Untuk memperoleh kadar metil ester yang tinggi (minimum 96,5% m/m) selain diperlukan konversi kimia yang tinggi, gliserol

sebagai produk samping harus dapat dipisahkan dengan baik. Berdasarkan sifat fisiknya ME dan GL adalah senyawa yang tidak saling larut sehingga dapat dipisahkan dengan cara dekantasi. Tingginya kadar gliserol bebas disebabkan karena proses pemisahan yang kurang sempurna. Sedangkan angka asam menunjukkan besarnya kadar asam lemak bebas (asam organik) maupun asam-asam mineral (anorganik) seperti asam sulfat dan asam fosfat. Asam lemak bebas biasanya terkandung dalam bahan baku minyak yang jika kadarnya di atas 5% harus dilakukan *preesterifikasi*, sedangkan asam sulfat atau fosfat biasanya digunakan sebagai katalis dalam reaksi estrifikasi maupun pada proses netralisasi katalis basa yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi. Angka iodium adalah ukuran empirik banyaknya ikatan rangkap (dua) di dalam (asam-asam lemak penyusun) biodiesel, sehingga parameter ini juga dipengaruhi oleh komposisi asam lemak bahan bakunya. Uji halphen merupakan prosedur untuk menyidik secara kualitatif keberadaan gugus siklopropenoid di dalam biodiesel ester alkil. Kandungan sulfur, fosfor dan gugus siklopropenoid tentu saja tidak bergantung pada komposisi asam lemak dari minyak/lemak namun terkandung dalam minyak yang perlu dihilangkan atau dikurangi kadarnya sebelum proses reaksi (*pretreatment*).

### Kesimpulan

Kualitas biodiesel yang dipengaruhi oleh komposisi asam-asam lemak dari minyak-lemak asal (bahan mentah) adalah densitas, viskositas, angka setana, nilai kalor dan titik kabut. Kualitas biodiesel yang nilainya sangat bergantung pada komposisi asam-asam lemak minyak-lemak asal tidak dapat diubah dengan mengubah kondisi proses pembuatannya. Dengan kata lain biodiesel dari minyak-lemak bersifat spesifik atau memiliki sifat yang sudah tertentu. Beberapa parameter uji kualitas biodiesel tidak

dipengaruhi oleh komposisi minyak-lemak asal tetapi tergantung pada keberhasilan proses pembuatannya baik pada proses penyiapan bahan baku, proses reaksi maupun proses pemurniannya seperti kadar sulfur, fosfor, metil ester, kadar air dan sedimen, angka asam, gliserol bebas dan gliserol total.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada pemerintah Indonesia yang telah memberikan beasiswa melalui "Kegiatan Pengembangan Pendidikan Profesional dan Keahlian" ( *Technological and Professional Skills Development Sector Project – TPSDP* ) Batch III, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional, ADB Loan No. : 1792-INO kepada Program Studi Teknik Kimia – Institut Teknologi Indonesia.

### Daftar Pustaka

- Allenn, C.A.W., K.C. Watts, R.G. Ackman and M.J.Pegg , " Predicting the viscosity of biodiesel fuel from their fatty acids ester composition," *Fuel*, **78**, 1319-1326 (1999).
- Ali, Y., M.A. Hanna and S.L. Cuppett. 1995. Fuel Properties of Tallow and Soybean Oil Ester. *JAOCS*, **72**(12), 1557-1564.
- Bagby, M.O., B. Freeman and A.W. Schwab. 1987. Seed Oils for Diesel Fuel: Sources and Properties. ASAE Paper No. 87-1583. Amer. Soc.Agric. Engrs., St. Joseph.MI. USA
- Bagby, M.O., and B. Freedman. Diesel Engine Fuels from Vegetable Oils. Paper Presented at 80 th Annual Meeting, American Oil Chemists'Society.(1989)
- Clement, L.D. 1988. Blending Rules for Formulating Biodiesel Fuel.Unpublished manuscript, Fats and Oils Laboratory, University of Nebraska, Lincoln.
- Foidl, N., G.Foidl, M. Sanchez, M. Mittelbach and S. Hackel.1996. *Jatropha Curcas L. as a Source for the Production of Biofuel in Nicaragua. Bioresource Technology*, **58**,77-82.
- Freedman, B.,and M.O.Bagby. 1989. Heat of Combustion of Fatty Esters and Tryglycerides. *JAOCS*, **66** (11),1601.
- Janarthanan,A.K., E.D. Clements, L.D. Clement. 1996. Densities and Viscosities of Methyl Esters of Methyl Esters of Fatty Acids and Their Mixtures. *JAOCS*, Submitted.
- Krawczyk, T. 1996. Biodiesel-Alternative Fuel Makes Inroads but Hurdles Remain. *INFORM* , **7**, 801-829
- Pischinger, G.H., A.M. Falcon, R.W. Siekmann and F.R. Fernandes. 1982. Methylesters of Plant Oils as Diesel Fuels, Either Straight or in Blends. pp 198-208. in *Vegetable Oils Fuels*. ASAE Publication 4-82. Amer. Soc.Agric. Engrs., St. Joseph.MI. USA.
- Reany, M., 1997. Agriculture and Agri-Food Canada, Saskatoon, Saskatchewan. Personal Communications.
- Reid, R.C., J.M. Prausnitz and B.E. Poling. 1987. *The Properties of Gases and Liquids*. 4<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Schwab, A.W., M.O. Baghy and B. Freedman. 1987. Preparation and Properties of Diesel Fuels from Vegetable Oils. *Fuel*, **66**, 1372-1378.
- Srivastava A., and R. Prasad. 2000. Triglycerides-Based Diesel Fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* ,**4**,111-133.
- Teoh,B.C., and L.D. Clement. 1988. Properties of Fatty Acids and Their Derivatives. unpublished manuscript, Fats and Oils Laboratory, University of Nebraska, Lincoln.
- Wirawan, S.S., and A.H. Tambunan. 2006. The Current Status and Prospects of Biodiesel Development in Indonesia : a review. The Third Asia Biomass Workshop, November 16, 2006, Tsukuba, Japan.
- Yuan, W., A.C. Hansen, and Q. Zhang. 2005. Vapor Pressure and Normal Boiling Point Predictions for Pure Methyl Ester and Biodiesel Fuels. *Fuel*, **84**, 943-950
- Zaizi, D., S. Hamdan, K. Dzulkefly, K. Anuar, B.H.A. Faujan and C.R. Laili. 1996. Malaysian Red Palm Oil in a Surfactant Association Structure. *JAOCS*, **73**(1), 153-155.