

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI METIL ESTER DARI MINYAK GORENG KELAPA SAWIT KOMERSIAL

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF COMMERCIAL PALM OIL METHYLESTER

Rosy Hutami^{1a}, Dewi Fortuna Ayu¹

^{1a}Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Ilmu Pangan Halal Universitas Djuanda Bogor, Jl. Tol Ciawi No. 1, Kotak Pos 35 Ciawi, Bogor 16720.

¹Departemen Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Riau, Kampus Bina Widya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau.

^aKorespondensi : Rosy Hutami, E-mail: rosy.hutami@unida.ac.id

(Diterima Dewan Redaksi: 16-08-2015)

(Dipublikasikan Dewan Redaksi: 02-10-2015)

ABSTRACT

The oil conversion process into esters (methyl ester) of fatty acids through transesterification process was a solution to reduce the viscosity of vegetable oil. Reducing vegetable oil viscosity is to make reinjection and atomization process of fuel in machine run properly. Commercial palm oil can be used as a raw material of methyl ester (ME) resulting in transesterification process. The aim of this study was to determine the physico-chemical characteristics of methyl ester from the commercial palm cooking oil transesterification by using alkaline. Transesterification process was using methanol with molar ratio of 6:1 and KOH 1% w/w as alkaline catalyst. The transesterification process provided a yield of 90.34% ME with characteristics : 5.62 ± 0.01 mm²/s kinematic viscosity, 872 kg/m³ density, 0.28 ± 0.00 mg KOH/g acid number, 202.35 ± 2.02 saponification value, 202.07 ± 2.02 ester value, 54.34 ± 2.62 iodine value, 0.02 ± 0.00 ash content, 8891.68 ± 18.85 cal/g heat of combustion, yellow (rather dark) colour, and smelled a rather rancid.

Keywords: biodiesel, methyl ester, transesterification, palm cooking oil

ABSTRAK

Proses konversi minyak ke dalam bentuk ester (metil ester) dari asam lemaknya melalui proses transesterifikasi dapat menjadi solusi dalam menurunkan viskositas minyak nabati. Penurunan viskositas minyak bertujuan agar proses penginjeksian kemabli dan atomisasi bahan bakar di dalam mesin dapat berlangsung dengan baik. Minyak sawit komersial dapat digunakan sebagai bahan baku metil ester (ME) yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik fisiko-kimia metil ester hasil transesterifikasi minyak goreng kelapa sawit komersial menggunakan basa. Transesterifikasi dilakukan menggunakan methanol dengan rasio 6:1 dan KOH 1% /w/w sebagai katalis basa. Proses transesterifikasi menghasilkan rendemen 90.34% ME dengan karakteristik : viskositas kenimatis 5.62 ± 0.01 mm²/s, densitas 872 kg/m³, bilangan asam 0.28 ± 0.00 mg KOH/g, bilangan saponifikasi 202.35 ± 2.02 , bilangan ester 202.07 ± 2.02 , bilangan iod 54.34 ± 2.62 , kadar abu 0.02 ± 0.00 , kalor pembakaran 8891.68 ± 18.85 cal/g, berwarna kuning (agak gelap), dan berbau agak asam.

Kata Kunci: biodiesel, metil ester, transesterifikasi, minyak goreng kelapa sawit

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia selain Malaysia. Hingga tahun 2013, total produksi minyak sawit mentah (crude palm oil, CPO) Indonesia telah mencapai 26.9 juta ton dengan luas lahan perkebunan besar 6,171,700 Ha dan perkebunan rakyat 4,415,800 Ha (BPS 2014). Melihat tingginya produksi minyak kelapa sawit Indonesia, pengembangan produk kelapa sawit dalam rangka peningkatan nilai tambah yang dimilikinya sudah sepantasnya menjadi prioritas utama, salah satu berupa produk biodiesel. Penggunaan biodiesel sebagai alternatif bahan bakar transportasi saat ini semakin meningkat, karena selain berasal dari sumberdaya biologi terbarukan, juga bersifat *biodegradable*, tidak beracun, dan emisi rendah (Martin *et al.* 2010).

Pemanfaatan minyak nabati secara langsung sebagai bahan bakar mesin diesel (biodiesel) masih memiliki kendala. Kendala yang dihadapi terutama disebabkan viskositas minyak nabati yang terlalu tinggi jika dibandingkan dengan petroleum diesel (Von Wedel R. 1999). Viskositas minyak nabati yang terlalu tinggi ini mengakibatkan proses penginjeksian dan atomisasi bahan bakar tidak dapat berlangsung dengan baik, menghasilkan pembakaran kurang sempurna dan mengakibatkan terbentuknya deposit dalam ruang bakar.

Untuk mengatasi kendala tersebut, perlu dilakukan proses konversi minyak nabati ke dalam bentuk ester (metil ester) melalui proses transesterifikasi (Pelly M. 2000). Proses transesterifikasi dilakukan dengan metanol atau etanol menggunakan katalis asam atau basa. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi proses pembuatan dan karakterisasi sifat fisiko-kimia metil ester (ME) yang dihasilkan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai karakteristik sifat fisik dan kimia metil ester hasil transesterifikasi minyak kelapa sawit

komersial dengan menggunakan metanol dan katalis basa.

MATERI DAN METODE

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah minyak sawit komersial yang sudah mengalami proses pemurnian dengan kandungan asam lemak bebas (FFA) < 2%, metanol, dan KOH. Sedangkan alat-alat yang digunakan *hot plate*, *magnetic stirrer*, labu leher empat, termometer, labu pemisah, erlenmeyer, gelas piala, timbangan, gelas ukur, pipet volumetrik, penangas air, piknometer, viskometer Oswald, *stop watch*, desikator, dan tanur.

Metode

Sampel minyak ditimbang sebanyak 495 gram, dicampur dengan metanol 349.40 gram dan KOH 4.95 gram, lalu diaduk. Selanjutnya dilakukan pemanasan suhu 55-60°C selama satu jam. Pemanasan diiringi pengadukan dengan kecepatan 300-500 rpm. Kemudian dilakukan pencucian sampel menggunakan air untuk memisahkan gliserol dan metil ester.

Tahapan setelah biodiesel didapatkan adalah melakukan sejumlah pengujian dan analisis untuk mengkarakterisasi sifat fisiko-kimia dari biodiesel yang dihasilkan. Pengujian dan analisis tersebut sebagai berikut :

a. Uji Bilangan Asam

Sampel ditimbang sebanyak 2 gram ke dalam erlenmeyer, ditambahkan 25 ml etanol netral 95%, dan dipanaskan selama 10 menit dalam penangas air sambil diaduk. Larutan kemudian dititrisi KOH 0.1 N dengan indikator larutan phenolptalin 1% dalam etanol, sampai tepat terlihat berwarna merah jambu. Bilangan asam dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$AV = (V_{\text{KOH}} \times N_{\text{KOH}} \times 56.1) / W_{\text{sampel}}$$

b. Uji Bilangan Penyabunan

Sampel ditimbang sebanyak 2 gram ke dalam erlenmeyer bertutup. Perlahan ditambahkan 25 ml KOH 0.5 N beralkohol dengan pipet. Labu erlenmeyer dihubungkan dengan pendingin tegak dan didinginkan secara hati-hati sampai tersabunkan dengan sempurna. Bagian dalam dari pendingin tegak dibilas dengan sedikit air. Selanjutnya larutan tersebut ditambahkan 1 ml larutan indikator phenolptalin, kemudian dititrasi dengan HCl 0.5 N sampai warna merah jambu menghilang. Titrasi juga dilakukan untuk blanko, yaitu pelarut KOH 0.5 N. Bilangan penyabunan sampel dihitung sebagai berikut :

$$SV = [(V_{\text{HCl blanko}} - V_{\text{HCl sampel}}) \times 28.5] / W_{\text{sampel}}$$

c. Uji Bilangan Ester

Bilangan ester dihitung sebagai selisih antara bilangan penyabunan dan bilangan asam :

$$EV = SV - AV$$

d. Pengukuran Kadar Abu (AOAC 1995, 923.03)

Sampel ditimbang sebanyak 2-3 gram, kemudian dimasukkan ke dalam sebuah cawan porselen yang telah diketahui bobot tetapnya. Contoh diaranngkan di atas nyala pembakar lalu diabukan dalam tanur listrik pada suhu 550 °C selama 5-6 jam. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator, lalu ditimbang sampai bobot tetap. Kadar abu = $(W_1 - W_2) / W \times 100\%$ di mana W adalah bobot contoh sebelum diabukan (g), W_1 adalah bobot contoh + cawan sesudah diabukan (g), dan W_2 adalah bobot cawan kosong.

e. Uji Bilangan Iod

Sampel ditimbang sebanyak 0.2 gram ke dalam Erlenmeyer, ditambahkan 20 ml kloroform dan 25 ml larutan Wijs, kemudian diaduk hingga homogen. Sampel dan pelarut tersebut direaksikan di dalam ruangan gelap selama 1 jam. Campuran selanjutnya ditambahkan 20 ml larutan KI 15% dan 100 ml aquades hingga berwarna gelap. Setelah itu

campuran dititrasi menggunakan Na_2SO_3 0.1 N dengan indikator pati hingga didapatkan warna titrat bening.

f. Pengukuran Viskositas

Pengukuran viskositas dilakukan pada suhu 40 °C dengan metode Oswald, yaitu dengan mengukur laju aliran minyak dan biodisel yang kemudian dibandingkan dengan laju aliran senyawa pembanding (air) yang telah diketahui densitasnya. Pengukuran viskositas biodisel dilakukan lima kali ulangan.

g. Pengukuran Densitas

Pengukuran densitas dilakukan dengan menghitung selisih berat volume tertentu dari minyak sawit dan biodisel dengan air di dalam gelas piknometer pada suhu 40 °C. Pengujian dilakukan secara triplo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Transesterifikasi

Biodiesel (metil ester) pada penelitian ini dihasilkan melalui reaksi transesterifikasi trigliserida (TAG) minyak goreng kelapa sawit komersial dengan metanol dan katalis basa (KOH). Menurut Lele (2005), transesterifikasi hanya bekerja secara baik pada minyak yang mempunyai kualitas baik, apabila minyak mengandung ALB melebihi 1% maka akan membentuk formasi emulsi sabun yang menyulitkan pemisahan biodiesel yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan nisbah molar metanol dengan minyak 6:1 dan katalis basa. Hasil penelitian Cheng *et al.* (2004) menunjukkan bahwa penggunaan nisbah molar metanol dengan minyak 6:1 menghasilkan viskositas metil ester (ME) yang lebih rendah dan tidak berbeda nyata dengan 10:1, sehingga nisbah molar 6:1 paling efisien digunakan untuk proses transesterifikasi. Katalis basa sendiri lebih banyak digunakan karena reaksinya sangat cepat, sempurna, dan dapat dilakukan pada suhu rendah.

Tabel 3. Karakteristik sifat fisiko-kimia MKS dan ME

Karakteristik Fisiko-Kimia	Minyak Kelapa Sawit (MKS)	Metil Ester (MS)
Viskositas kinematik pada 40°C (mm ² /s)	59.21±0.76	5.62±0.01
Densitas (kg/m ³)	918	872
Bilangan asam (mg KOH/g)	0.28±0.00	0.28±0.00
Bilangan penyabunan	201.42±2.72	202.35±2.02
Bilangan ester	201.14±2.72	202.07±2.02
Bilangan iod	56.82±0.41	53.34±2.62
Panas pembakaran (kal/g)	8902.63±27.52	8891.68±18.85
Kadar abu (%)	0.02±0.01	0.02±0.00
Warna	Kuning jernih	Kuning kejinggaan (agak gelap)
Bau	Normal, tidak berbau	Agak tengik

MKS memiliki viskositas kinematik dan densitas masing-masing sebesar 59.21±0.76 mm²/s dan 918 kg/m³ turun menjadi 5.62±0.01 mm²/s dan 872 kg/m³ pada ME yang dihasilkan. Penurunan viskositas dan densitas pada ME yang dihasilkan berkorelasi positif dengan tingginya rendemen metil ester yang dihasilkan, yaitu sebesar 90.34%.

Menurut Sahirman (2009), keberhasilan proses transesterifikasi dapat ditentukan oleh beberapa parameter antara lain penurunan viskositas, penurunan densitas, dan peningkatan kandungan metil ester. Al Widyana dan Al Shyokh (2002) mengukur keberhasilan proses transesterifikasi berdasarkan penurunan *specific gravity* (massa jenis), sedangkan Cheng *et al.* (2004) menggunakan parameter penurunan kadar gliserida dan peningkatan ME.

Viskositas dan tegangan permukaan merupakan faktor penting dalam pemecahan serta atomisasi bahan bakar sesaat setelah keluar dari mulut pipa semprot (*nozzle*) menuju ruang bakar (Soewaridjaja *et al.* 2005). Beberapa standar mutu biodiesel mensyaratkan nilai rentang viskositas tertentu (Tabel 3). Viskositas yang tidak terlalu kecil dapat meningkatkan kemampuan daya lumas bahan bakar terhadap mesin kendaraan dan mencegah terjadinya kebocoran, sedangkan viskositas yang tinggi (diatas 5.5 cSt) tidak diharapkan karena dapat menghambat jalannya mesin dan

menyulitkan injeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar. Viskositas berkaitan dengan komposisi asam lemak (ikatan rangkap dan panjang rantai karbon) dan tingkat kemurnian terutama residu trigliserida (Mittelbach & Remschmidt 2004). Densitas juga menentukan mutu biodiesel, berhubungan dengan kadar air, kadar sedimen, dan kadar abu yang erat kaitannya dengan proses pemurnian biodiesel (Mittelbach & Remschmidt 2006).

Bilangan asam merupakan salah satu parameter standar biodiesel yang menunjukkan jumlah miligram KOH yang digunakan untuk menetralkan ALB dalam minyak/lemak (Ketaren 2008). Hasil analisis menunjukkan tidak terjadi perubahan jumlah kandungan ALB antara MKS dan ME, yaitu 0.28±0.00 mg KOH/g minyak. Hal ini mengindikasikan bahwa selama proses transesterifikasi tidak terjadi degradasi ester atau ALB yang terdapat dalam MKS tidak sepenuhnya terkonversi menjadi ME. Bilangan asam yang tinggi tidak diinginkan dalam produk biodiesel, dimana bilangan asam lebih dari 0.8 diasosiasikan akan menjadi deposit dalam sistem bahan bakar dan mengurangi umur pompa dan filter (Tyson 2004).

Bilangan penyabunan menunjukkan jumlah miligram KOH yang dibutuhkan untuk menyabunkan 1 gram minyak/lemak (Ketaren 2008), dipengaruhi oleh senyawa-senyawa seperti TAG, DAG, dan MAG yang terbentuk selama proses transesterifikasi.

Bilangan penyabunan juga menunjukkan berat molekul biodiesel. Proses transesterifikasi yang dilakukan meningkatkan bilangan penyabunan dan bilangan ester masing-masing dari 201.42 ± 2.72 dan 201.14 ± 2.72 pada MKS menjadi 202.35 ± 2.02 dan 202.07 ± 2.02 pada ME yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses transesterifikasi terjadi pembentukan DAG dan MAG yang kemudian terkonversi membentuk ME. Semakin banyak DAG dan MAG yang terbentuk, semakin banyak ME yang terkonversi sehingga menurunkan berat molekul dan meningkatkan bilangan penyabunan ME. Sementara itu, bilangan ester sendiri merupakan selisih antara bilangan penyabunan dan bilangan asam sehingga semakin tinggi bilangan ester ME yang terukur menunjukkan tingkat kemurnian biodiesel yang dihasilkan.

Bilangan iod berkaitan dengan derajat ketidakjenuhan minyak/lemak. Proses transesterifikasi telah menyebabkan peningkatan bilangan iod MKS dari 54.34 ± 2.62 menjadi 56.82 ± 0.41 pada ME yang dihasilkan. Semakin tinggi bilangan iod maka terjadi penurunan stabilitas oksidasi yang berakibat pada semakin rendahnya kualitas produk (biodiesel). Bilangan iod memiliki korelasi dengan viskositas kinematik dan bilangan setana. Penurunan nilai dari kedua parameter ini menyebabkan meningkatnya ketidakjenuhan minyak (Mittelbach & Remschmidt 2004). Nilai bilangan iod yang didapatkan dari hasil pengukuran sudah memenuhi standar biodiesel, di mana beberapa standar biodiesel mensyaratkan nilai bilangan iod yang tidak melebihi 115 atau 120. Pembatasan nilai bilangan iod dimaksudkan untuk menghindari kandungan asam lemak tak jenuh ganda yang tinggi dalam biodiesel. Menurut *Martin et al.* (2010), kandungan asam lemak tidak jenuh ganda yang tinggi sangat mudah mengalami oksidasi dan polimerisasi sehingga membentuk gum ketika digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin.

Panas pembakaran merupakan kemampuan biodiesel untuk menghasilkan kalor ketika dilakukan pembakaran, berkaitan dengan konsumsi bahan bakar mesin kendaraan setiap satuan waktu. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses transesterifikasi menghasilkan sedikit penurunan panas pembakaran yaitu 8902.63 ± 27.52 kal/g pada MKS menjadi 8891.68 ± 18.85 kal/g pada ME yang dihasilkan. Terjadinya penurunan nilai panas pembakaran ini disebabkan karena selama proses transesterifikasi terjadi pemutusan rantai karbon menjadi lebih pendek menghasilkan DAG, MAG, dan ME. Semakin pendek rantai karbon dalam ME, panas pembakaran menjadi semakin menurun. Penurunan kalor pembakaran pada ME sejalan dengan peningkatan bilangan penyabunan yang menunjukkan semakin banyak senyawa DAG, MAG, dan ME yang terkonversi.

Kadar abu menunjukkan banyaknya residu hasil pembakaran ME pada suhu tinggi (550°C) selama 6 jam. Hasil analisis kadar abu baik pada MKS maupun ME tidak mengalami perubahan, yaitu $\pm 0.02\%$. Kadar abu ME ini masih memenuhi syarat mutu biodiesel metil ester, yaitu maksimal 0.05% . Menurut Tyson (2004), karbon residu mempunyai tendensi terbentuknya deposit karbon dalam *engine*. Pengotoran ruang bakar dan mesin diesel disebabkan oleh deposit karbon yang dapat terjadi secara cepat jika kadar fraksi-fraksi yang memiliki titik didih tinggi dalam bahan bakar cukup tinggi atau jika bahan bakar mengandung komponen yang tidak dapat terbakar sempurna pada kondisi mesin berjalan normal. Menurut Schindlbauer (1998), sisa katalis lebih berpengaruh terhadap nilai residu karbon dibandingkan dengan ALB dan gliserida.

Secara visual, proses transesterifikasi MKS juga menyebabkan perubahan warna dan bau yang signifikan pada ME yang dihasilkan. ME yang dihasilkan memberikan warna minyak menjadi lebih gelap (kuning agak kejingga-jinggaan) dan bau yang lebih menyengat (sedikit tengik). Warna yang lebih gelap pada ME disebabkan terjadinya

reaksi oksidasi akibat suhu tinggi pada tokoferol sehingga menghasilkan warna yang lebih gelap. Timbulnya bau yang agak menyengat disebabkan karena proses transesterifikasi akibat penambahan metanol pada suhu tinggi yang menghasilkan beberapa komponen berantai pendek bersifat volatil yang ikut terbawa sekaligus dengan menguapnya metanol.

Jika dibandingkan dengan standar biodiesel, ME hasil transesterifikasi MKS menggunakan katalis basa (KOH) sudah memenuhi syarat mutu viskositas kinematik, densitas, dan kadar abu berdasarkan standar

biodiesel European Union Standar (EN 14214) dan SNI 04-7182-2006, bilangan asam berdasarkan standar biodiesel ASTM D6751-06, EN 14214, dan SNI 04-7182-2006, serta bilangan iod berdasarkan standar biodiesel ASTM D6751-06 dan SNI 04-7182-2006. Ketiga jenis standar biodiesel yang digunakan sebagai pembanding memiliki kriteria mutu biodiesel yang berbeda tergantung kepentingan negara yang menggunakannya. Perbandingan kriteria mutu ME dengan masing-masing standar biodiesel dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Perbandingan ME dengan standar mutu biodiesel

Kriteria Mutu Biodiesel	Metil Ester Kelapa Sawit	ASTM D6751-06 (Ong <i>et al.</i> 2011)	EN 14214 (Ong <i>et al.</i> 2011)	SNI 04-7182-2006
Viskositas kinematik pada 40°C (mm ² /s)	5.62±0.01	3.5-5.0	1.9-6.0	2.3-6.0
Densitas (kg/m ³)	872		869-900	850-890
Bilangan asam (mg KOH/g)	0.28±0.00	Maks 0.5	Maks 0.8	Maks 0.8
Bilangan iod	56.81±0.40	Maks 120		Maks 115
Kadar abu (%)	0.02±0.00		Maks 0.05	Maks 0.05

KESIMPULAN

Minyak kelapa sawit komersial dapat digunakan sebagai bahan baku ME melalui proses transesterifikasi menggunakan metanol dengan nisbah molar metanol 6:1, dan katalis basa (KOH 1% w/w). Proses transesterifikasi ini memberikan rendemen ME sebesar 90.34% dengan karakteristik viskositas kinematik 5.62±0.01 mm²/s, densitas 872 kg/m³, bilangan asam 0.28±0.00 mg KOH/g, bilangan penyabunan 202.35±2.02, bilangan ester 202.07±2.02, bilangan iod 54.34±2.62, kadar abu 0.02±0.00%, panas pembakaran 8891.68±18.85 kal/g, warna kuning kejinggaan (agak gelap), dan berbau agak tengik.

Karakteristik ME ini sudah memenuhi syarat mutu viskositas kinematik, densitas, dan kadar abu untuk standar biodiesel EN

14214 dan SNI 04-7182-2006, bilangan asam untuk standar biodiesel ASTM D6751-06, EN 14214, dan SNI 04-7182-2006, sedangkan bilangan iod untuk standar biodiesel ASTM D6751-06 dan SNI 04-7182-2006.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Widyan MI, Al Shyoukh AO. 2002. Experimental evaluation of the transesterification of waster palm oil inti biodiesel. *Bioresource Technology* 85. 253-256.
- Barsic NJ and Humke AL. 1981. Performance and Emissions Characetristics of a Naturally Aspirated Diesel Engine With Vegetable Oil Fiels. Northern Agricultural Energy Center, Peoria, Illionois.
- BSN. 2006. Biodiesel. SNI 04-7182-2006.

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2014. *Statistik Indonesia*. Jakarta (ID): BPS.
- Canakci M & Van Gerpen J. 2001. Biodiesel from oil and fats with high free fatty acids. *Trans. ASAE* 44, 1429-1436.
- Cheng SF, Choo VM, Ma AN, Chuah CH. 2004. Kinetics study on transesterification of palm oil. *J. Oil Palm Res* 16, 19-29.
- Lele S. 2005. Biodiesel in India. <http://www.svlele.com/biodiesel> [7 November 2012].
- Ketaren S. 2008. *Minyak dan Lemak Pangan*. UI Press.
- Martin C, Moure A, Martin G, Carillo E, Dominguez, Parajo JC. 2011. Fractional characterisation of jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. *Biomass and Bioenergy* 34. 533-538.
- Mekhilef S, Siga S, Raidur R. 2011. A review on palm oil biodiesel as source of renewable fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15:1937-1949.
- Mittelbach M, Remschmidt C. 2004. Biodiesel. Boersedruck ges.m.b.H., Viena Austria.
- Ong HC, Mahlia TMI, Masjuki HH. Norhasyima. 2011. Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15:3501-3515.
- Pelly M. 2000. Making of Biodiesel: Mike Pelly's Biodiesel Method. http://journeytoforever.org/biodiesel_mike_s.html [12 November 2012]
- Sahirman. 2009. Perancangan Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Soerawidjaja TH, Adrisman T, Siagian UW, Prakoso T, Reksowardojo IK, Permana KS. 2005. Studi Kebijakan Pembangunan Biodiesel di Indonesia. Di dalam : P Haryadi, N. Andarwulan, L. Nuraidi, Y, Sukmawati. Editor Kajian Kebijakan dan Kumpulan Artikel Penelitian Biodiesel. Kementerian Ristek dan Teknologi RI-MAKSI IPB Bogor.
- Schindlbauer H. 1998. Standardization and analysis of biodiesel: What specifications are important. *Proceeding of the 1998 PORIM International Biofuel Conference*, Kuala Lumpur, 4-5 May 1998.
- Tickell J. 1982. *Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels*. American Society of Agricultural Engineers, Michigan.
- Tyson KS. 2004. Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. Departement of Energy. <http://www.osti.gov/bridge> [7 November 2012].
- Van Gerpen J, Shanks B, Pruszko R, Clements D, Konthe G. 2004. Biodiesel production technology. <http://www.nrel.gov> [7 November 2012].
- Von Wedel R. 1999. *Technical Handbook for Marine Biodiesel*. CytoCulture International Inc., California.