

Proses Transesterifikasi Biji Minyak Jarak Dengan Bantuan Enzim Lipase Sebagai Penghasil Biodiesel

Yusafir Hala*, Astri, Muh. Zulkifli Jufri, Astina Tambung
Jurusan Kimia FMIPA UNHAS, Tamalanrea Makassar

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi kelangkaan Bahan Bakar Minyak berbahan baku fosil. Pada penelitian ini digunakan biji tanaman jarak pagar (*Jathropha curcas* L.) sebagai bahan baku untuk pembuatan minyak jarak pagar yang dikonversi menjadi biodiesel yang sifatnya ramah terhadap lingkungan. Minyak jarak pagar diperoleh melalui proses ekstraksi dengan metode soxhletasi dengan pelarut n-heksana. Hasil ekstraksi diubah menjadi biodiesel jarak pagar melalui proses transesterifikasi pada suhu optimum 40°C dengan menggunakan metanol dan katalis enzim lipase. Kemudian dilakukan analisis asam lemak total dan analisis asam lemak bebas, sehingga diperoleh konversi biodiesel sebesar 88,67%. Beberapa analisis karakteristik biodiesel jarak pagar dilakukan, seperti densitas, viskositas, titik tuang, titik nyala, dan nilai kalor berdasarkan ASTM D6751. Hasil analisis menunjukkan bahwa biodiesel jarak pagar yang diproduksi layak digunakan sebagai bahan bakar diesel.

Kata kunci : *Bahan bakar, jarak pagar, biodiesel, transesterifikasi, dan suhu optimum.*

Abstract. The investigation was carried out to prevent the scarce of fossil based fuel. In this investigation used seed of castor oil plant (*Jathropha curcas* L.) as natural raw material to make castor oils and converted to biodiesel so that it's friendly to the biological environment. Castor oils produced by extraction process with soxhletation methods used n-hexane solvent. The result of extraction then converted to biodiesel by transesterification process at optimum temperature 40°C with methanol and catalyzed with lipase enzyme. Free fatty acid analysis and total fat analysis was done to the result product, and then biodiesel converted value as 88.67% gotten. Some characteristics analysis of biodiesel castor oils like density, viscosity, pouring point, flaming point, and caloric value according ASTM D6751. The result of investigation showed castor oils biodiesel can be used as diesel fuel.

Keywords : *fuel, castor oils, biodiesel, transesterification, and optimum temperature.*

*Alamat korespondensi: yusafirhala@yahoo.co.in

Pendahuluan

Kenaikan harga BBM senantiasa menuai masalah terutama beragam kecaman masyarakat, karena dengan kenaikan BBM selalu diikuti dengan naiknya harga sembako dan berbagai kebutuhan hidup lainnya, yang akan berdampak bagi kehidupan masyarakat. Melihat kondisi ekonomi kita yang belum juga pulih, tentu saja masyarakat terbebani karena taraf hidup mereka kebanyakan masih di bawah garis kemiskinan. Namun di sisi lain, jika subsidi BBM ini tidak dikurangi maka hal ini kan menjadi beban yang amat berat bagi negara. Konsekuensinya, suka tak suka, subsidi BBM akan terus dikurangi dan secara langsung harga BBM makin mahal di masa yang akan datang. Untuk itu kita memerlukan solusi baru guna mengurangi ketergantungan pada BBM yang bersumber dari bahan baku fosil (Suess, 2004).

Seiring dengan berlalunya waktu, cadangan minyak dalam perut bumi akan semakin terbatas dan menyusut karena konsumsi yang terus meningkat. Dapat dibayangkan beberapa puluh tahun ke depan, krisis energi tak terelakkan lagi. Jika kita hanya mengandalkan satu jenis sumber energi kerap menimbulkan banyak persoalan yang saling berkaitan. Cepat atau lambat suatu saat minyak bumi akan habis akibat penggunaannya yang terus meningkat untuk menggerakkan berbagai kendaraan bermotor dan industri (Anonim, 2005a). Bahan bakar fosil yang digunakan adalah bahan bakar yang tidak terbarukan (*unrenewable*), dibutuhkan waktu tak kurang dari ribuan bahkan jutaan tahun agar fosil yang terpendam dalam perut bumi dapat terurai secara kimia maupun fisik untuk membentuk minyak dan gas bumi. Oleh karena itu, dengan keterbatasan ini seharusnya mendorong pemerintah untuk mencari sumber energi alternatif dan

terbarukan (*renewable*), yang bersumber dari tanaman.

Indonesia adalah salah satu negara pengekspor minyak bumi yang dapat mengalami masalah energi di masa datang. Kita harus mencari energi alternatif untuk mensubstitusi bensin dan solar. Berbagai negara telah melakukan pemanfaatan berbagai sumber energi seperti energi matahari, batu bara, dan gas bio (kotoran ternak). Berbagai sumber energi alternatif ini sudah dicobakan untuk kendaraan bermotor dan hasilnya ternyata memuaskan sekalipun penggunaannya belum optimal.

Penggunaan alkohol sebagai substitusi bensin untuk kendaraan bermotor juga telah dilakukan. Brasil misalnya, negara penghasil gula ini, mensintesis alkohol dari tebu untuk pengganti bensin. Tak kalah menariknya adalah tentara Jerman pada perang dunia kedua memakai minyak goreng sebagai bahan bakar tank ketika mereka kehabisan bahan bakar di Gurun Sahara. Rudolph Diesel, penemu mesin diesel pertama kali, menggunakan minyak kacang untuk menghidupkan mesin injeksinya. Biodiesel telah lama dikembangkan di negara-negara maju namun mereka kekurangan bahan baku yang dapat menunjang kebutuhan industrinya. Biodiesel mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan solar, karena dapat diperbaharui, memperkuat perekonomian negara dan menciptakan lapangan kerja. Biodiesel merupakan bahan bakar ideal untuk industri transportasi karena dapat digunakan pada berbagai mesin diesel (Alamsyah, 2005).

Minyak jarak diperoleh dari biji tanaman jarak, yang mengandung asam risinoleik yang menyebabkan minyak jarak bernilai lebih tinggi dari asam lemak. Produksi biodiesel dari minyak jarak dilaksanakan melalui proses transesterifikasi untuk mempertukarkan grup alkoksi pada senyawa ester dengan

alkohol. Untuk mempercepat reaksi ini diperlukan bantuan katalisator.

Berdasarkan uraian di atas, telah dilakukan sintesis minyak dari biji jarak dengan bantuan enzim lipase untuk memproduksi biodiesel. Penelitian ini dapat mengoptimalkan proses produksi biodiesel dari minyak biji jarak secara enzimatik dan memberikan informasi tentang biodiesel yang dapat disintesis dari minyak biji jarak sehingga dapat menjadi salah satu jenis energi alternatif yang komersial dan digunakan secara luas oleh sektor industri maupun transportasi sehingga mampu mengurangi ketergantungan kita terhadap BBM dan bagian dari upaya kita untuk lebih menyehatkan lingkungan. Memberikan informasi dalam proses sintesis biodiesel dari minyak biji jarak dengan menggunakan enzim lipase. Memberikan sumbangsih dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam rangka meningkatkan kesejahteraan manusia.

Metode Penelitian

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak dari biji tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.), enzim lipase (*Lipozyme Immobilized*, 42 U/g, dari *Mucor miehei* Biochemika Fluka 62350), n-heksana teknis, metanol teknis, aquades, kalium hidroksida (E-Merck), etanol p.a (E-Merck), etanol 96 %, asam oksalat (E-Merck), HCl p.a (E-Merck), vaselin, kertas saring, aluminium foil, tissue roll, dan kertas label.

Alat

Alat gelas yang umum dipakai di laboratorium, termometer 100 °C, neraca listrik Ainsworth, timbangan *Triple Beam Balance* Ohaus, sentrifus China Model

8000, viscometer Oldswad, piknometer, kalorimeter Bomb, alat penentu titik nyala (*flash point testers*), penangas air Memmerth 100 °C, alat Soxhlet Pyrex, *shaker incubator* Enviro Genie, oven Genlab Ltd., rotapapor Butchi, pompa vacum Butchi, adaptor P1600 Aquila, *freezer* Derbuining Model Fis Basic.

Metode

Sampel berupa biji tanaman jarak pagar dikumpulkan dari Kecamatan Binamu, Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan pada tanggal 13 Januari 2008. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan sejak Januari s/d April 2008 di Laboratorium Kimia Anorganik dan Biokimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium Bioproses Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang, serta uji karakteristik pada PT. Sucofindo, Tbk., Makasar.

Rancangan

Penelitian dilakukan melalui tahapan sebagai berikut: (1) Isolasi minyak dari biji jarak dengan metode soxhletasi, (2) Sintesis biodiesel dari minyak biji jarak dengan menggunakan katalis enzim lipase, dan (3) Uji karakteristik biodiesel yang dihasilkan berdasarkan metode uji ASTM D 6751.

Hal yang diamati meliputi: (a) Soxhletasi untuk isolasi minyak dari biji jarak pagar dengan menggunakan pelarut n-heksana, (b) Sintesis biodiesel dari minyak biji jarak pagar secara enzimatik, (c) Kadar asam lemak total dan asam lemak bebas sebagai faktor nilai konversi biodiesel dari minyak tanaman jarak pagar, dan (d) Pengujian karakterisasi biodiesel yang dihasilkan berdasarkan ASTM D6751.

Prosedur:

1. Isolasi Minyak Biji Jarak Pagar dengan Soxhletasi

Buah jarak pagar yang diambil dari pohonnya harus tua, berwarna kuning atau coklat muda. Buah tersebut kemudian dikupas untuk diambil bijinya. Biji jarak pagar kemudian dibersihkan, dikeringkan lalu dihaluskan, lalu dimasukkan ke dalam *tampun* soxhlet yang dilapisi kertas saring. Selanjutnya, diekstraksi dengan menggunakan pelarut n-heksana (perbandingan 1:3 b/v). Hasil yang diperoleh kemudian dipisahkan dengan menggunakan rotavapor pada suhu 69 °C. Minyak yang diperoleh kemudian dititrasi untuk menentukan angka penyabunan dan angka asamnya.

2. Sintesis Biodiesel Secara Enzimatik

Sintesis biodiesel secara enzimatik dilakukan dengan metode transesterifikasi minyak tanaman jarak pagar, menggunakan biokatalis enzim lipase amobil (Wei Du, dkk., 2003). Ke dalam Erlenmeyer 500 mL dimasukkan 3 g minyak biji jarak pagar, konsentrasi enzim lipase 0 % dan 5 % (v/v) serta metanol (ratio molar metanol-minyak adalah 4:1 b/v). Campuran reaksi diinkubasi pada suhu 40 °C dalam keadaan dikocok. Kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 1500 rpm selama 30 menit. Setelah terbentuk dua lapisan dilakukan pemisahan dengan larutan supernatan dan endapan enzim. Larutan supernatan dimasukkan dalam Erlenmeyer 500 mL dan ditambahkan n-heksana (1:3 v/v). Selanjutnya diekstraksi, lalu didiamkan hingga terbentuk dua lapisan. Campuran antara metil ester dan n-heksan kemudian dievaporasi pada suhu 69 °C sehingga diperoleh metil ester, yang dikenal sebagai biodiesel. Pada produk biodiesel dilakukan penentuan angka penyabunan dan angka asam sebagai faktor penentu nilai konversi.

3. Analisis Asam Lemak Total

Sebanyak 2 g biodiesel dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL, ditambahkan 50 mL KOH 0,5 N alkoholik. Selanjutnya dididihkan sampai minyak tersabunkan secara sempurna ditandai dengan tidak terlihatnya butir-butir lemak atau minyak dalam larutan. Setelah didinginkan kemudian dititrasi dengan HCl 0,5 N menggunakan indikator PP (Sudarmadji, 1989). Jika V_o adalah mL HCl untuk penitaran blanko, V_i mL HCl untuk sampel, W adalah g sampel, maka kadar asam lemak bebas dapat dihitung berdasarkan Persamaan (1).

$$\text{Asam lemak total} = \frac{(V_o - V_i)}{W} \times N \text{ HCl}$$

4. Analisis Asam Lemak Bebas

Sebanyak 1 g biodiesel dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL, ditambahkan 50 mL alkohol 95 % netral, dipanaskan dalam penangas air sampai terbentuk larutan homogen. Setelah didinginkan, kemudian dititrasi dengan KOH 0,1 N menggunakan indikator PP (Sudarmadji, 1989). Jika volume KOH, V dan konsentrasi KOH, N , serta berat sampel, W , maka kadar asam lemak bebas dapat ditentukan dengan Persamaan (2).

$$\text{Asam lemak bebas} = \frac{(V \times N) \times 56,1}{W}$$

Penentuan nilai % konversi minyak jarak menjadi minyak diesel digunakan Persamaan (3),

$$X = \frac{C_D - C_{DO}}{C_{AO} - C_{DO}}$$

di mana C_{AO} adalah kadar asam lemak total minyak mula-mula (mek/mL), C_A kadar asam lemak total biodiesel, C_{DO} kadar asam lemak bebas minyak mula-mula, dan C_D kadar asam lemak bebas biodiesel (mek/mL).

Karakterisasi Sifat Fisik Biodiesel :

Analisis Viskositas

Viskositas biodiesel ditentukan dengan menggunakan viscometer Oldswad (Maleev, 1994), yaitu dengan menentukan waktu alir biodiesel pada alat lalu dikalikan dengan rapat massa sampel dan viskositas aquades. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan waktu alir untuk aquades dengan mengalikannya dengan rapat massa dari aquades.

Analisis Densitas

Penentuan densitas dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong yang bersih ditimbang, kemudian diisi dengan 25 mL aquades lalu ditimbang kembali. Aquades digunakan sebagai korektor. Selanjutnya piknometer dikeringkan, kemudian dipipet 25 mL metil ester (biodiesel) ke dalam piknometer lalu ditimbang dengan menggunakan neraca analitik. Hasil penimbangan dicatat dalam satuan gram.

Analisis Titik Tuang

Analisis titik tuang dilakukan dengan mengalirkan biodiesel pada sebuah pipa kapiler dengan diameter tertentu, pada berbagai suhu. Suhu terendah ($^{\circ}\text{C}$) di mana minyak masih mengalir, merupakan angka penunjuk titik tuangnya.

Analisis Titik Nyala

Analisis titik nyala dilakukan dengan menggunakan *flash point testers*. Cara Sebelum percobaan dimulai, tester dibersihkan untuk menghilangkan sisa-sisa minyak ataupun pelarut. Setelah itu, bejana logam diisi dengan biodiesel sampai tanda batas, lalu ditutup, sambil memasang *stirrer* dan termometer. Saat pengerjaan, dinding logam bagian atas, harus dijaga tetap kering. Selanjutnya kabel penyambung arus dipasang dan diatur nyalanya sehingga diperoleh nyala yang sesuai. Di saat bersamaan, pemanas listrik dinyalakan sambil diatur sedemikian rupa sehingga kenaikan suhu pemanasan kira-kira $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Bila termometer menunjukkan suhu 15°C sebelum titik nyala yang diperkirakan, maka dilakukan tes nyala dengan cara memutar tombol pembakar sehingga api gas masuk ke dalam bagian atas bejana logam yang terisi zat yang sudah diuji. Pengujian ini dilakukan setiap selang kenaikan suhu 1°C selama kira-kira satu detik, sampai uap yang sedang diuji, terbakar. Di saat pertama kali uap terbakar, suhu termometer menunjukkan titik nyala dari zat tersebut.

Analisis Nilai Kalor

Analisis untuk menentukan nilai kalor biodiesel dilakukan dengan menggunakan alat kalorimeter Bomb (Agnes dkk, 2003).

Hasil dan Pembahasan

Dari 2 kg biji jarak pagar kering yang diisolasi dengan metode soxhletasi, dihasilkan sebanyak 980 mL minyak jarak. Tanaman jarak termasuk tanaman liar dan masih jarang dimanfaatkan oleh manusia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biji jarak mengandung asam lemak tak jenuh yang cukup tinggi, sekitar 16-24 %, terutama jenis risinoleat yang berpotensi

untuk dikonversi menjadi metil risinoleat melalui reaksi transesterifikasi. Pada isolasi minyak biji jarak ini digunakan n-heksana

Berdasarkan hasil analisis kadar asam lemak total dan asam lemak bebas menghasilkan nilai konversi sebesar 88,67 %. Dengan demikian, dari 980 mL minyak jarak yang ditransesterifikasi dengan bantuan enzim lipase, dapat dihasilkan biodiesel sebanyak 868,966 mL. Reaksi transesterifikasi dalam sintesis biodiesel pada dasarnya merupakan reaksi yang mempertukarkan gugus alkoksi dengan senyawa ester, dengan melepaskan gliserol. Agar reaksi dapat berlangsung lebih cepat digunakan enzim lipase, yaitu enzim yang aktif mengkatalisis pemutusan ikatan ester trigliserida. Alasan pemilihan enzim sebagai katalis pada penelitian ini karena enzim dapat mempercepat reaksi sebesar $10^6 - 10^8$ kali lebih cepat daripada reaksi biasa.

Pada proses ini reaksi transesterifikasi menghasilkan dua fasa, dimana fasa bawah berupa gliserol dan fasa atas merupakan metil ester atau biodiesel. Untuk memisahkan kedua fasa dilakukan dengan ekstraksi menggunakan pelarut n-heksana, karena n-heksana merupakan pelarut yang sangat selektif untuk lipida non polar seperti minyak biji jarak. Hasil penentuan nilai konversi pada suhu 40 °C dengan konsentrasi 5 % (b/b), adalah 88,67 %. Hal tersebut disebabkan karena pada kondisi tersebut enzim lipase sebagai katalis bekerja optimal dalam proses transesterifikasi menghasilkan biodiesel.

Hasil uji sifat-sifat fisik dari biodiesel yang dihasilkan menggunakan

yang polaritasnya mendekati polaritas bahan yang akan diekstrak.

metode standar dari *Associated Society for Testing and Materials* (ASTM D6751 Tahun 2002) tentang biodiesel, disajikan dalam Tabel 2. Hasil uji karakterisasi ini dibandingkan dengan sifat-sifat fisis dari minyak diesel dan minyak solar sehingga dapat diketahui bahwa bahan bakar yang dihasilkan telah memenuhi standar atau tidak. Dari tabel 2 tersebut dapat dilihat bahwa biodiesel yang dihasilkan pada suhu 40 °C dengan konsentrasi enzim 5 % memenuhi standar uji sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak yang diperoleh dari bahan fosil.

Standar biodiesel dalam bentuk metil ester telah dikembangkan disejumlah negara untuk menjamin kualitasnya. Tahun 2002, di Amerika Serikat telah dikembangkan standar biodiesel ASTM D6751, seperti pada Tabel 3. Dari tabel 3, terlihat bahwa kandungan sulfur dan karbon relatif rendah sehingga penggunaan biodiesel dapat mengurangi gas karbon monoksida (CO) dan gas sulfur pada emisinya. Penggunaan biodiesel tidak seperti petrodiesel yang menghasilkan emisi gas karbon dan gas sulfur yang banyak serta mengeluarkan asap dengan bau seperti pop corn atau kentang goreng yang tidak menyebabkan iritasi mata. Biodiesel yang berasal dari bahan dasar yang diperbaharui ini akan mereduksi efek rumah kaca dan pemanasan global sehingga lebih ramah terhadap lingkungan (Gerhard, 2002).

Tabel 2. Perbandingan hasil uji karakterisasi (ASTM D6751) biodiesel hasil transesterifikasi dengan baku Pertamina (Pertamina, 2002)

NO	Parameter	Biodiesel hasil	Biodiesel baku, (ASTM D6751)
1	Massa jenis 60 °F/60 °F	0,8760	0,84 - 0,92
2	Viskositas 100 °F (cSt)	5,82	4,5 – 7,0
3	Titik tuang, °F	19,3	Max.65
4	Titik nyala, °F	252	Min.150
5	Nilai kalor, Btu/lb	16.873,32	18.000 – 20.000

Tabel 3. Standar Biodiesel Menurut ASTM D6751

Karakteristik	Batasan	Satuan
Flash point	130,0 (minimum)	°C
Kadar Air	0,05 (minimum)	% volume
Kinematic viscosity, 40 °C	1,9 – 6,0	mm/s
Sulfated Ash	0,02 (maksimum)	% berat
Sulfur	0,05 (maksimum)	% berat
Copper strip comosion	No. 3 (maksimum)	-
Cetane number	47 (minimum)	-
Cloud point	Report	°C
Residu carbon	0,05 (maksimum)	% berat
Bilangan asam	0,80 (maksimum)	mg KOH/g
Gliserol bebas	0,02	%berat
Gliserol total	0,24	%berat
Kandungan Fosfor	0,001 (maksimum)	%berat
Suhu Oksidasi	360 (maksimum)	°C

Sumber : Gerhard, 2002

Teknologi biodiesel memiliki beberapa kelebihan antara lain: 1) Mengurangi impor *automotive diesel oil* (ADO), 2) Memperkuat *security of supply* bahan diesel yang independen dalam negeri, 3) Mempunyai peluang besar untuk diekspor, 4) Meningkatkan kesempatan kerja, 5) Mengurangi ketimpangan pendapatan antar individu–antar daerah, 6) Mengkembangkan kemampuan teknologi pertanian dan industri proses dalam negeri, 7) Mengurangi dampak pemanasan global dan pencemaran udara dengan penerapan bahan bakar ramah lingkungan, 8) Memupuk komoditi ekspor baru, dan 9) Memperbesar basis sumber daya bahan bakar cair (Fukuda et.al., 2001; Ma et. Al., 1999).

Biodiesel dapat dihasilkan dari berbagai sumber bahan yang terbaharukan baik tumbuhan maupun hewan. Solar dari minyak tumbuhan/hewan ini diperoleh melalui proses transestrifikasi, yaitu dengan cara memanaskan pada suhu tertentu campuran alkohol dan minyak nabati dengan bantuan katalis basa atau asam misalnya NaOH atau H₂SO₄. Katalis basa

proses reaksinya lebih cepat, namun katalis basa dapat menyebabkan terbentuknya sabun sehingga rendemen biodiesel menjadi berkurang.

Keuntungan biodiesel dibandingkan dengan solar konvensional antara lain adalah lebih ramah lingkungan, seperti bersifat *biodegradable*, dan nilai emisinya rendah. Biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi dan didalamnya terkandung oksigen sehingga dapat memberikan efek pelumasan yang lebih baik dibanding bahan bakar diesel konvensional. Dilain pihak harus disadari juga bahwa biodiesel mempunyai kelemahan yang harus dicari solusinya misalnya, viskositas yang lebih tinggi dari solar konvensional dan titik pembakaran yang rendah. Hal ini akan menyebabkan atomisasi pada nosel lebih sulit dan dapat menyebabkan endapan di nosel serta proses pembakaran menjadi kurang sempurna.

Hasil riset para peneliti di Universitas Tsinghua-China diperoleh bahwa biodiesel yang diproses dari mikroalga *Chlorella protothecoides* memiliki karakteristik yang mendekati

dengan minyak solar konvensional, terutama untuk parameter viskositas, kalori neto dan *flash point*.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa biodiesel yang diperoleh dari minyak biji jarak (*Jathropa curcas* L.) dengan nilai konversi sebesar 88,67 % (b/v) mendekati spesifikasi standar minyak solar dan minyak diesel di Indonesia. Minyak biji jarak (*Jathropa curcas* L.) merupakan bahan baku yang baik dalam pembuatan biodiesel.

Saran

Disarankan untuk menggunakan enzim lipase yang diproduksi sendiri untuk mempermudah penelitian.

Daftar Acuan

1. Agnes, R.A., Johan U., Grace C., Koharuddin, 2003, *Produksi Biodiesel dan Minyak Nabati*, Seminar Jaringan Lembaga Penelitian Asosiasi Perguruan Tinggi Katolik, Yogyakarta.
2. Alamsyah, A. N., 2005, *Biodisel Jarak Pagar*, Agromedia, Jakarta.
3. Anonim, 2001, *Ekstraksi Minyak dan Lemak Nabati sebagai Bahan Bakar*, (Online), (<http://www.the-nigros.com/notes/lessons/oils/extract.htm> 1 diakses 18 Pebruari 2005).
4. Anonim, 2005, *Diperkenalkan Energi Alternatif di Wilayah Perbatasan*, <http://www.lipi.go.id/www/www.cgi?ba>

ca&1108881941 diakses 24 Pebruari 2006.

5. Fukuda, H., Kondo, A. dan Noda, H., 2001. *Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils*, *J.Biosci.Bioeng.*, 92, 405-416.
6. Gerhard K., 2002. *Biodiesel Sawit*, <http://www.biodiesel.com/sawit.htm> diakses 2 Pebruari 2006.
7. Ma, F., dan Hanna, M.A., 1999, *Biodisel Production: a review*, *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
8. Maleev, L., 1994, *Diesel engine : Operation and maintenance*, pp. 144-146, Mc Graw-Hill Book Compny, New York.
9. Suess, A. A. A., 2004, *Biodiesel dari Minyak Jelantah* (Online), (<http://www.kompas.com/kompas-cetak/0207/20/iptek39.htm> , diakses 15 Pebruari 2005).
10. Sudarmadji, S., 1989, *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*, Liberty Yogyakarta, Yogyakarta.