

Ulasan Ilmiah/Review

TEKNOLOGI PENGOLAHAN BIODISEL DARI MINYAK JARAK *JATROPHA*  
(*Jatropha curcas* L.)  
*Production Technology of Biodiesel from Jatropha Oil (Jatropha curcas L.)*

Rizal Alamsyah

Balai Besar Industri Agro (BBIA)

Jln. Ir. H. Juanda No. 11 Bogor 16122

E-mail : [rizalams@yahoo.com](mailto:rizalams@yahoo.com) atau [cabi@bbia.go.id](mailto:cabi@bbia.go.id)

**Abstract.** It is so far the world heavily depends on the petroleum oils to fulfill energy consumption such or automobiles, industry, generators, heating, agricultural machineries and other energy needs. It was predicted that the world oils reserves will be exhausted in the next 17 years because of its nonrenewable characteristics. Many alternative energy resources have been employed to overcome energy crisis by a lot of countries in the world including Indonesia. Many efforts have been made to anticipate the scarcity of petroleum oil. Recently, Indonesia and many other countries has developed bio-diesel which is chemically defined as a methyl ester derived from renewable resources such as jatropha oil, palm oil, used frying oil, and any other resources. Biodiesel some time addressed to also as FAME (Fatty Acids Methyl Ester) or VOME (Vegetable Oil Methyl Ester) to recall its chemical origin. Comparing with petroleum diesel, the use of bio-diesel has some benefits such as clean burning, renewable, nontoxic and biodegradable fuel. Bio-diesel can be used alone or in blends with petroleum-derived diesel. Basically bio-diesel is made through trans-esterification process with methanol. In lands availability and technology point of view of bio-diesel can produced for both industrial and rural area scale. Petroleum diesel consumption in Indonesia at the time being is around 150 000 MB (metric barrel), with the production capacity around 97.000 MB, which means it still have deficit around 53.000 MB. Until now the deficit is fulfilled by import. Currently more than 1 million ton of vegetable oil methyl esters are being produced and used in the world as alternative fuel for engines and for heating.

*Key words : Bio-diesel, Jatropha curcas, methyl ester, esterification, trans-esterification, and Jatropha bio-diesel.*

## PENDAHULUAN

Perkembangan biodisel di Indonesia tidak sepesat di negara Eropa dan negara lainnya, padahal persediaan atau cadangan minyak bumi Indonesia diperkirakan akan habis dalam 17 tahun mendatang (Saragih, 2001; Anggraini 2001). Dengan semakin berkurangnya cadangan minyak bumi (petroleum) serta semakin meningkatnya harga dan kebutuhan bahan bakar termasuk minyak disel, persiapan dan produksi sumber energi yang terbarukan (*renewable energy*) semakin berkembang. Dunia internasional saat ini juga sedang menggalakkan penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan dalam rangka implementasi komitmen *Kyoto Protocol* (1997) yang merekomendasikan pengurangan bahan bakar fosil (petroleum) sebagai bahan bakar industri, peralatan pertanian, maupun bahan bakar kendaraan. Di samping itu program penanganan lingkungan dunia yang tertuang dalam program CDM (*Clean Development Mechanism*) sebagai salah satu wujud resolusi *Kyoto Protocol* (1997) telah merekomendasikan untuk menggunakan bahan bakar yang mampu menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang

minimal. Langkah tersebut diupayakan dalam rangka menciptakan kelestarian energy (*energy security*), menghilangkan ketergantungan terhadap minyak bumi, mengantisipasi konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi dari produksi yang dihasilkan, dan untuk mengurangi emisi gas buang (CO<sub>2</sub> dan CO).

Naiknya harga minyak dunia dan meningkatnya kebutuhan bahan bakar minyak dalam negeri mempunyai dampak terhadap meningkatnya subsidi bahan bakar minyak, serta menurunnya daya saing industri. Pada tahun 2006 harga minyak mentah dunia telah mencapai harga 70 US \$ per *barrel* (Kompas, 2006). Untuk Indonesia kondisi ini menjadi lebih buruk lagi karena sejak tahun 2005 status Indonesia telah berubah dari negara eksportir menjadi negara *net importer*. Konsumsi bahan bakar minyak Indonesia pada tahun 2004 adalah 1,1 juta barel/hari, sedangkan produksi minyak mentah Indonesia adalah 1,06 juta *barrel*/hari pada tahun yang sama. Di lain pihak cadangan bahan bakar minyak terhadap PDB (*Product domestic bruto*) juga terus mengalami penurunan dari 14 % pada tahun 2000 menjadi 9 % pada tahun 2004 (Sudradjat 2006).

Dengan perkembangan kondisi di atas telah mendorong banyak pihak untuk mencari sumber energi (bahan bakar) baru. Salah satu solusi yang telah berkembang adalah beralih atau mengganti bahan bakar mineral ke dalam bahan bakar nabati yang di antaranya adalah pengupayaan biodiesel sebagai bahan bakar. Bahan baku biodiesel bisa berasal dari berbagai bahan nabati antara lain minyak jarak pagar, minyak sawit, minyak kedelai, minyak *rapeseed*, dan sumber nabati lainnya.

Di samping akan semakin menipisnya cadangan minyak bumi, bahan bakar yang dihasilkan dari fosil ini juga dikenal sebagai pemicu polusi udara yang utama. Bahan bakar yang dipakai kendaraan bermotor dan industri saat ini menghasilkan zat-zat beracun seperti CO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> dan debu. Disamping mengakibatkan efek rumah kaca, zat-zat tersebut juga bisa menyebabkan gangguan kesehatan seperti gangguan pernapasan, kanker, bahkan kemandulan (Anonim, 2005). Tujuan strategi bidang energi di dunia telah mencanangkan untuk menghemat energi dengan memperkenalkan teknologi yang efisien, diversifikasi sumber energi, dan meningkatkan rasio energi terbarukan (*reinvention and modernization of traditional technologies*) untuk mengurangi efek rumah kaca (*clean energy*) (Krause, 2001).

Salah satu solusi untuk mengganti kedudukan bahan bakar petroleum adalah dengan digunakannya bahan bakar bio (*biofuel*). Pada dasarnya biofuel terdiri dari dua jenis bahan bakar yaitu biodiesel dan gasohol. Gasohol digunakan untuk menggantikan posisi bensin, sedangkan biodiesel digunakan sebagai pengganti bahan bakar disel.

Sejauh ini terdapat 80 pabrik pengolahan biodiesel dari berbagai bahan baku terbarukan (*renewable energy*) di dunia yang terdapat di 20 negara telah memproduksi biodiesel dari berbagai bahan baku. Untuk negara-negara Eropa, biodiesel diolah dari bahan *rapeseed*, Amerika Serikat mengolah kedelai menjadi biodiesel, Filipina menggunakan minyak kelapa (*coconut oil*) untuk biodiesel, sedangkan Malaysia menggunakan CPO (*crude palm oil*) sebagai bahan bakunya. Untuk Indonesia biodiesel diolah dari CPO dan minyak jarak *Jatropha* (Mittelbach, 2001; Saragih, 2001). Diharapkan dengan digalakkannya produksi biodiesel maka akan memberikan *Multiplayer effect* terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat di pedesaan dan mengembangkan UKM (Usaha kecil dan menengah) serta lumbung energi yang lebih tersebar luas. Dengan demikian ini perlu digalakkan penanaman tanaman jarak dan minimal mereka dapat mengolah minyak jarak

kasar sebagai bahan baku biodiesel. Hal ini sesuai dengan kebijakan pemerintah Indonesia dalam pengembangan energi biodiesel (energi terbarukan) terkait pengembangan ekonomi di daerah pedesaan (*economic development in rural area*), standar hidup, dan peningkatan kesejahteraan masyarakat pedesaan (Sumiarso, 2001).

Indonesia terus mengurangi penggunaan sektor energi yang berbasis bahan bakar fosil dengan cara penggunaan energi yang terbarukan dan mengurangi subsidi bahan bakar minyak. Dalam penggunaannya masih terbatas bila dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar fosil. Kontribusi penggunaan energi terbarukan (biodiesel) terhadap total penggunaan energi masih tidak signifikan yaitu di bawah 1 % (Sumiarso, 2001).

Konsumsi domestik bahan bakar disel di Indonesia sekarang ini mencapai 163.516 MB (metrik barel) atau sekitar 23,4 juta ton per tahun sementara produksi dalam negeri sebesar 97.079 MB, hal ini berarti masih terdapat defisit sekitar 66.437 MB per tahun atau sekitar 9,4 ton per tahun (Pertamina, 2005). Devisa terkuras untuk impor minyak bumi dan Indonesia yang saat ini dikenal sebagai salah satu Negara pengekspor minyak bumi diperkirakan akan mengimpor bahan bakar minyak pada 10 tahun mendatang. Hal ini dikarenakan tidak dapat lagi memenuhi permintaan pasar yang meningkat dengan cepat akibat pertumbuhan penduduk dan industri (Panggabean di dalam Hendriadi et al, 2006).

Untuk menunjang penerapan teknologi pengolahan biodiesel dari minyak jarak baik skala kecil, menengah, maupun besar informasi yang terkait dengan aspek teknologi produksi amat diperlukan. Diseminasi informasi teknologi pengolahan biodiesel dari minyak jarak sangat diperlukan terutama bagi Indonesia yang akan memulai memproduksi biodiesel dalam rangka menggantikan sebagian konsumsi petrodiesel (solar) untuk keperluan bahan bakar kendaraan dan mesin lainnya. Tulisan ini bertujuan untuk memberikan deskripsi tentang teknologi pengolahan biodiesel dari minyak jarak pagar, karakteristik biodiesel yang dihasilkan, potensi pengembangannya, penggunaan biodiesel jarak pagar dilihat dari aspek lingkungan yang ditimbulkan.

#### **JARAK PAGAR (*Jatropha Curcas L.*) SEBAGAI BAHAN BAKU BIODIESEL**

Daerah Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan salah satu penghasil biji jarak dan sejauh ini belum ada data yang akurat tentang jumlah luasnya karena tanaman ini umumnya ditanam sebagai tanaman pelindung (pagar), serta tanaman ini di Indonesia selama ini

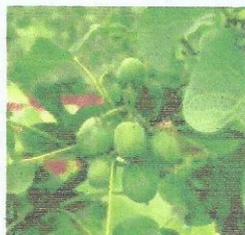
belum ada yang membudidayakan (Anonim, 2006 a). Akan tetapi setelah adanya informasi pengolahan biodisel akhir-akhir ini penanaman tumbuhan jarak pagar banyak dilakukan di beberapa daerah di pulau Jawa dan Sumatra. Produktivitas tanaman jarak pagar sangat bervariasi walaupun tanaman ini mempunyai daya tahan terhadap iklim dan jenis tanah. Produksi jarak berkisar antara 0,4 hingga 12 ton / hektar / tahun, dan untuk daerah Indonesia produksi ini berkisar antara 4 – 5 ton / hektar / tahun. Jarak pagar merupakan pohon perdu besar dengan ketinggian sekitar 2 m. Daunnya bertekstur kasar dan bertajuk majemuk, terutama pada pohon yang sudah tua. Biji jarak pagar yang masih muda berwarna hijau muda dan warna ini berubah menjadi kekuning-kuningan setelah tua. Kadar minyak mencapai kadar yang maksimum bila warna biji telah menjadi kehitaman (Heyne, 1987).

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) sebenarnya berasal dari Mexico, Karibia, dan beberapa daerah di Amerika Tengah, serta mempunyai sifat relatif tahan terhadap kekeringan mudah beradaptasi dan dapat tumbuh pada ketinggian mulai dari 7 m hingga 1600 m dpl (di atas permukaan laut) dengan yang terbaik < 500 m dpl. Tanaman ini dapat tumbuh pada suhu 11 – 38 °C dengan curah hujan 300 – 2000 mm (terbaik antara 800 – 1300 mm) per tahun. Jarak pagar bisa tumbuh pada semua jenis tanah, termasuk pada lahan-lahan marginal atau tandus yang miskin unsur hara atau lahan kritis (Heyne, 1987).

Jarak pagar diklasifikasikan ke dalam divisi *Spermatophyta*, sub-divisi *Angiospermae*, kelas *Dicotyledone*, ordo *Euphorbiales*, famili *Euphorbiaceae*, genus *Jatropha*, species *curcas*

(Heyne, 1987). Jarak pagar dikenal dengan nama jarak kosta di daerah Melayu, jarak kusta di daerah Sunda, kalele di daerah Madura, jarak pager di Bali, bintalo di Gorontalo, dan Balacai hisa di Ternate. Tanaman ini dapat dikembangkan dengan biji, atau stek batang.

Pada gambar 1 ditampilkan tanaman jarak pagar yang dibudidayakan dengan metode penanaman biji, sedangkan pada gambar 2 dapat dilihat biji jarak yang sudah matang. Secara taksonomis, jenis tumbuhan ini masih kerabat dengan jarak kastorli (*Ricinus communis*, L), akan tetapi ciri ekstrak minyaknya tidak sama. Menurut Duke (1985) di dalam Gubitz *et al* (1999) semua bagian jarak pagar telah digunakan sebagai obat tradisional. Minyaknya juga bisa digunakan sebagai obat pencahar, obat kulit, dan penghilang nyeri akibat reumatik. Heyne (1987) menyatakan getah tanaman jarak mempunyai sifat *laksatif* yang sangat kuat. Rasanya pedas karena terdapat kandungan zat penyamak. Rebusan daun tanaman jarak pagar dapat digunakan untuk obat batuk dan antiseptik pasca-kelahiran (Padua, *et al*, 1999; Heyne (1987) juga menyebutkan daun jarak pagar mempunyai daya memecahkan pembengkakan (antiinflamasi) dan mempunyai daya mencuci luka. Penelitian terbaru menyatakan bahwa Isolasi dan karakterisasi senyawa yang potensi dari daun jarak juga mempunyai kandungan zat pemnyembuh luka dan efek anti peradangan (Staubman *et al*, 1997 di dalam Gubitz *et al*. 1999). Rebusan akar dan daun tanaman jarak pagar bisa digunakan sebagai obat diare dan di Indonesia daunnya digunakan sebagai penutup luka atau antiseptik (Padua *et al*, 1999)



Gambar 1. Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)



Gambar 2. Biji Jarak yang sudah dikupas

## KARAKTERISTIK MINYAK JARAK PAGAR

Kandungan minyak jarak berkisar antara 50 – 65 %, karakteristik minyaknya berbau tidak sedap, berwarna kekuningan dan akan menjadi kemerahan bila bereaksi dengan udara. (Pusat Penelitian Material dan Energi, 2002). Minyak jarak pagar berbau tidak sedap dan mengandung racun kurkin yang membuat

minyak ini tidak dapat dikonsumsi manusia. Kandungan asam lemak yang terdapat dalam minyak jarak pagar dapat dilihat pada Tabel 1. Menurut Haas and Mittelbach (2000) ester *fobrol* merupakan senyawa yang menghasilkan racun tersebut, senyawa ini bisa berkurang sekitar 50 % setelah proses pemurnian akan tetapi minyak ini tetap tidak dapat dikonsumsi sehingga cocok untuk bahan baku biodiesel.

Tabel 1. Kandungan asam lemak dan karakteristik dari minyak jarak\*)

No.	Komponen	Satuan	Kandungan / nilai
1	Rendemen minyak	%	40 – 50
2	Asam oleat	%	35 – 64
3	Asam linoleat	%	19 – 42
4	Asam palmitat	%	12 – 17
5	Asam stearat	%	5 – 10
6	Asam lemak bebas	%	0,5 – 10
7	Bilangan penyabunan	-	183 – 191
8	Bilangan Iod	-	96 – 99
9	Densitas	gram/cm <sup>3</sup>	0,919 – 0,924
10	Indeks bias @ 40°C	-	55 - 56

\*) Sumber : Sudradjat dan Setiawan (2004) di dalam Sudradjat (2006)

## BIODISEL

Biodiesel dapat diartikan sebagai bahan bakar mesin disel yang berasal dari sumber *lipid* alami terbarukan (Soerawidjaya, 2002). Secara kimiawi, biodiesel merupakan turunan *lipid* dari golongan monoalkil ester dengan panjang rantai karbon 12 – 20 (Darnoko *et al*, 2001). Umumnya biodiesel merupakan metil ester akan tetapi biodiesel bisa berupa minyak kasar atau monoalkil ester asam lemaknya (Allen *et al*, 1999). Karakteristik biodiesel secara umum bisa dilihat pada Tabel 2.

Metil ester merupakan senyawa yang relatif stabil dan merupakan cairan pada suhu ruang, mempunyai titik leleh antara 4 – 18 °C, bersifat korosif, dan mempunyai titik didih yang rendah. Dalam aplikasinya, metil ester lebih banyak disukai dari pada penggunaan asam lemaknya. Di samping itu metil ester lebih disukai dari pada etil ester dengan pertimbangan ekonomis serta stabil secara pirolitik dalam proses fraksinasi (Herawan dan Sadi, 1977; Swern, 1982)).

Sebagai bahan bakar, kualitas biodiesel sangat ditentukan oleh beberapa parameter mutu antara lain bilangan setana, viskositas, titik tuang, panas pembakaran, titik pijar, titik awan (*pour point*), residu karbon, dan titik penyumbatan penyaring dingin (*cold filter plugging point, CFPP*). Viskositas merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan mutu biodiesel dikarenakan adanya kandungan

senyawa trigliserida yang sangat berpengaruh nyata. Dilihat dari asam lemak penyusunnya, viskositas biodiesel akan berkurang bersamaan dengan meningkatnya ketidakjenuhan asam lemaknya (Allen *et al*, 1999). Di dalam biodiesel jumlah senyawa gliserida harus kurang dari 0,24 % bobot dengan tujuan untuk mengurangi pembentukan propenal (akrolein) dari pembakaran senyawa gliserida. Menurut Maurizio and Bruna (2001) viskositas juga merupakan parameter penting yang tidak boleh terlalu tinggi karena akan menyebabkan masalah dalam sistem injeksi bahan terhadap ruang pembakaran mesin (*combustion chamber*). Kesulitan-kesulitan ini sebenarnya dapat dengan mudah diatasi bila biodiesel dicampur dengan *petroleum diesel* atau dalam proses pembuatannya untuk mencapai tingkat viskositas yang diinginkan bisa ditambah dengan bahan *additives* tertentu atau *viscosity breakers* dengan nilai 100 – 300 ppm.

Secara fisik biodiesel memiliki sifat seperti minyak pada umumnya, akan tetapi terdapat beberapa parameter yang membedakan dari minyak kasar. Menurut Maurizio and Bruna (2001) beberapa parameter penting yang harus ditentukan dalam penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar untuk permesinan dan kendaraan antara lain berhubungan dengan 1) kemurnian metil ester, 2) viskositas, 3) titik nyala (pijar), 4) bebas gliserol, 5) kandungan monogliserida, 6) kandungan digliserida, 7) kandungan trigliserida, dan 8) residu karbon *Conradson* (CCR). Dalam Tabel 3 disajikan perbandingan karakteristik antara biodiesel dan

petrodiesel. Secara garis besar spesifikasi biodiesel untuk keperluan kendaraan berdasarkan Italian Norm (2001) di dalam Maurizio and Bruna (2001) disajikan dalam Tabel 4.

Dalam banyak hal biodiesel mempunyai kemiripan dengan *petroleum diesel*, sedangkan untuk beberapa hal tertentu biodiesel mempunyai kelebihan di antaranya adalah emisi yang rendah, lubrikasi yang lebih tinggi dan toksisitas yang relatif rendah terhadap lingkungan. Sedangkan pada Tabel 4 dapat dilihat spesifikasi biodiesel (metil ester) untuk kendaraan (*outomotives*). Secara umum biodiesel lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan petroleum disel. Menurut Germani and Bruna (2001), lebih dari sebagian emisi CO selama pembakaran dalam mesin akan berkurang di samping itu tidak terjadi emisi SO<sub>2</sub> karena biodiesel memang bebas sulfur. Emisi partikulat karbon juga berkurang lebih dari 65 % serta

tidak terdapat emisi senyawa aromatik seperti yang terjadi pada petrodiesel. Dalam pembakaran biodiesel tidak dihasilkan CO<sub>2</sub> baru, hal ini dikarenakan biodiesel berada dalam siklus karbon (Haas *et al*, 2003). Di samping itu emisi CO<sub>2</sub> biodiesel akan diasimilasi langsung oleh tumbuhan dalam menghasilkan sumber *lipid* baru yang akan merupakan bahan baku biodiesel.

Biodiesel dapat berupa minyak kasar atau monoalkil ester asam lemaknya, dan umumnya merupakan metil ester (Allen *et al*, 1999). Jumlah energi yang dapat dibebaskan dari biodiesel kurang lebih sama dengan petroleum disel yaitu sebesar 128.000 BTU (*British Thermal Unit*), oleh karena itu torsi mesin dan tenaga mesin akan sama dengan torsi atau tenaga mesin yang dihasilkan solar (Pakpahan, 2001).

Karakteristik biodiesel secara umum dapat dilihat pada Tabel 2. di bawah ini.

Tabel 2. Karakteristik Biodiesel secara umum

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1.	Densitas	gr/ml	0,85 – 0,90
2.	Viskositas kinematik 40 °C	cSt	3,5 – 5,8
3.	Bilangan setana	-	46 – 70
4.	Kalor pembakaran	KJ/kg	36.486 – 41.821
5.	Titik pijar	°C	120 – 191
6.	Titik tuang	°C	-15 – 13
7.	Titik awan	°C	-1 - 16

Sumber : Legowo (2001) ; Gubitzi *at al* (1999)

Tabel 3. Perbandingan karakteristik biodiesel dan petrodiesel \*)

No	Parameter	Biodiesel	Petrodiesel
1.	Komposisi kimia	Metil ester	Hidrokarbon
2.	Emisi	CO, total hidrokarbon, NOx (sedikit), dan SOx (tidak ada)	CO, total hidrokarbon, SOx
3.	Penanganan	Tidak mudah terbakar	Mudah terbakar ( <i>flameable</i> )
4.	Toksisitas	Rendah	tinggi
5.	Biodegradabilitas	Mudah terurai	10 kali sulit terurai
6.	Lubrikasi pada mesin	lebih tinggi	Lebih rendah
7.	Torsi mesin	Hampir sama	Hampir sama
8.	Konsumsi bahan bakar	Hampir sama	Hampir sama
9.	Ketersediaan	Terbarukan ( <i>renewable</i> )	Tak terbarukan ( <i>unrenewable</i> )

\*) Sumber : Pakpahan (2001)

Tabel 4. Spesifikasi Metil Ester untuk Keperluan automotif (kendaraan bermotor) \*)

No	Parameter	Satuan	Nilai	
			Minimum	Maksimum
1	Metil ester	% m/m	96,5	-
2	Densitas	Kg/m <sup>3</sup>	860	900
3	Viskositas	Nm <sup>2</sup> /s	3,5	5,0
4	Residu karbon <i>Carradson</i> (CCR)	%m/m	-	0,3
5	Titik pijar	°C	120	-
6	Bilangan setana		51	-
7	Keasaman	mg KOH/gram	-	0,5
8	Bilangan iod	gram iodine / 100 gram	-	120
9	Metil ester asam linoleat	%m/m	-	12
10	Metil ester dari asam-asam <i>polyunsaturated</i> dengan 4 atau lebih ikatan rangkap ( <i>double bonds</i> )	%m/m	-	1
11	Methanol	%m/m	-	0,02
12	Monogliserida	%m/m	-	0,80
13	Digliserida	%m/m	-	0,20
14	Trigliserida	%m/m	-	0,20

\*) Sumber : Maurizio and Bruna (2001)

## TEKNOLOGI PRODUKSI BIODISEL

Minyak jarak pagar yang memiliki kandungan asam lemak bebas tinggi dapat dikonversi menjadi metil ester melalui proses estrans (esterifikasi-transesterifikasi). Proses estrans merupakan reaksi dua tahap yang melibatkan proses esterifikasi asam lemak bebas oleh katalis asam (HCl atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan dilanjutkan dengan transesterifikasi berkatalis basa (NaOH atau KOH) yang mengkonversi triasil gliserol menjadi esternya (Jaya, 2005). Pengolahan biodisel dari minyak jarak bisa juga dilakukan dengan proses satu tahap, yaitu transesterifikasi menggunakan katalis basa (Agustian, 2005).

Sebelum dilakukan proses estrans dari minyak jarak pagar kasar hasil pengempaan biji jarak sebenarnya bisa dihasilkan beberapa jenis bahan bakar antara lain (1) Minyak SJO (*Straight Jatropha Oil*) yaitu hasil pengempaan dari biji jarak tanpa diolah lebih lanjut, minyak ini dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar pencampur minyak tanah untuk kompor, (2) *Curcas oil* adalah SJO yang diolah melalui proses esterifikasi, dan minyak yang dihasilkan akan terbebas dari asam yang bisa menyebabkan kerusakan pada mesin. Jenis minyak ini masih mempunyai densitas serta viskositas yang relatif tinggi, dengan demikian hanya cocok untuk penggunaan bahan bakar pengganti solar untuk *genset* atau alat pertanian (*agricultural machinery*), (3) Biodisel merupakan *Curcas oil* yang diolah lebih lanjut melalui proses transesterifikasi, sehingga minyak yang

dihasilkan memiliki densitas dan viskositas yang relatif rendah sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar untuk kendaraan (*automotives*), (4) Produk oleokimia, yaitu minyak jarak pagar yang diolah lebih lanjut menjadi oleokimia yang sudah diproduksi oleh negara-negara yang sudah maju seperti *epoxy*, *polyol*, *polyuretane* yang mempunyai mutu dan harga yang tinggi (Sudradjat, 2006).

Minyak jarak mengandung asam lemak bebas yang tinggi, sehingga minyak jarak tidak bisa diproses dengan proses yang sederhana. Salah satu metoda yang bisa diterapkan adalah proses transesterifikasi. Berikut akan dijelaskan proses produksi biodisel menggunakan proses estrans atau proses esterifikasi-transesterifikasi. Secara garis besar proses pengolahan biodisel dari biji jarak terdiri dari beberapa tahapan yaitu : persiapan biji (*handling*), perlakuan pemanasan (penyangraian, pengeringan oven, atau pengukusan), *pengupasan* (*peeling*), penggilingan atau *pengecilan ukuran* (*size reduction*), *ekstraksi* dengan cara pengempaan (*pressing*), esterifikasi, transesterifikasi, pencucian (*washing*). Secara skematis proses pengolahan biodisel dari minyak jarak beserta produk lainnya dapat dilihat pada Gambar 3.

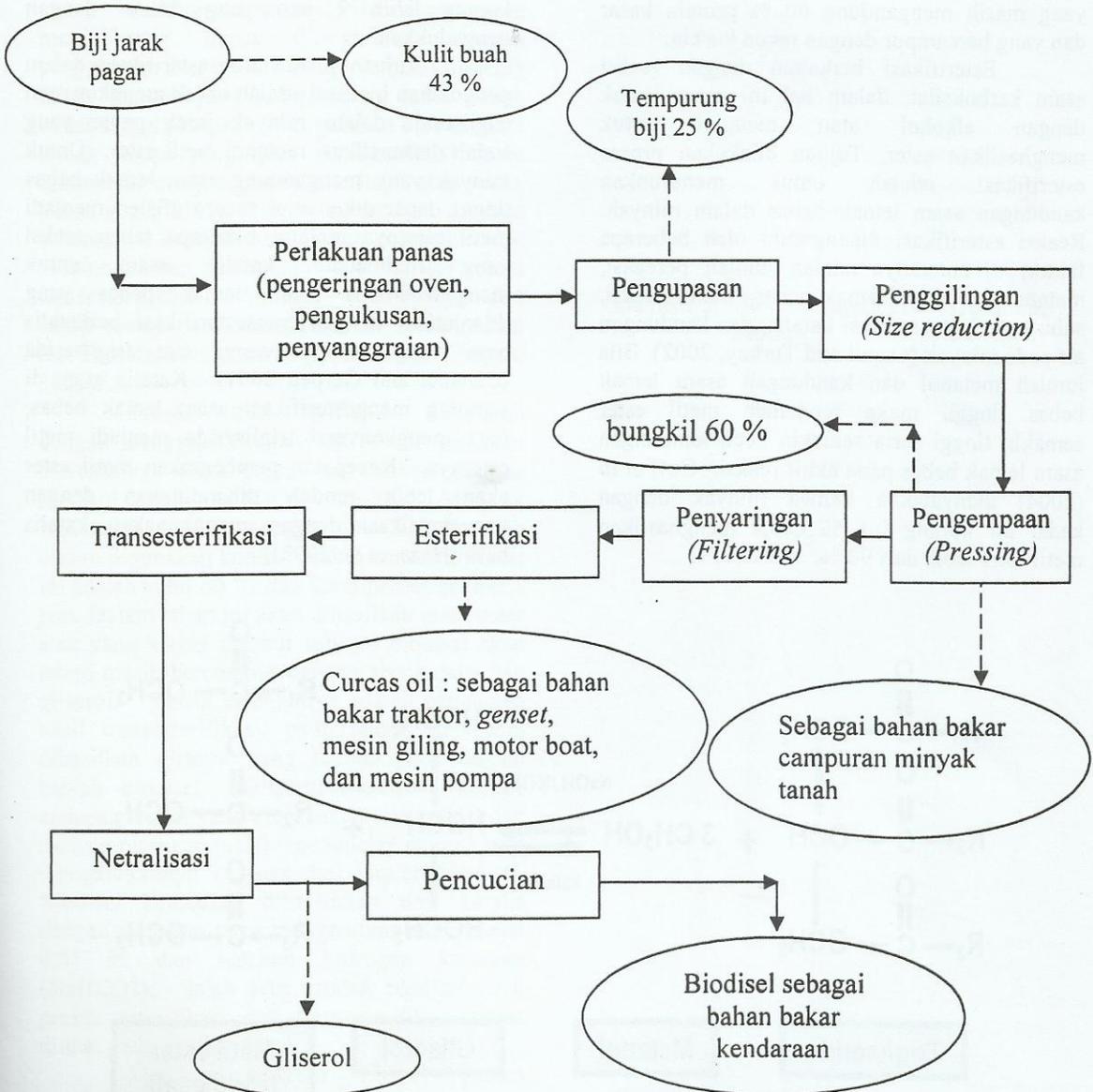
Penanganan biji jarak pagar setelah pemanenan harus segera dilakukan karena biji jarak cenderung akan menjadi asam karena proses oksidasi yang terjadi selama transportasi dan penyimpanan yang kurang baik. Untuk mencegah kondisi tersebut dianjurkan biji jarak pagar dikemas dalam karung plastik yang pada bagian dalamnya dilapisi dengan kemasan plastik. Sebaiknya kemasan biji tersebut

disimpan dalam ruangan tidak bersentuhan dengan permukaan tanah dan diusahakan tidak menyimpan biji jarak dalam waktu yang lama.

Pemanasan bisa dilakukan dengan cara pengukusan, pengeringan oven, atau penyangraian yang dimaksudkan untuk menggumpalkan protein dan untuk menghentikan aktifitas enzim yang bisa meningkatkan keasaman minyak sehingga minyak mudah untuk dikeluarkan pada saat dikempa. Untuk pengeringan oven bisa dilakukan pada suhu 80 °C selama kurang lebih 2 jam, sedangkan untuk pengukusan bisa dilakukan pada suhu 100 °C selama kurang lebih 1 jam. Untuk penyangraian bisa dilakukan pada alat penyangrai (*roaster*) yang

dioperasikan pada suhu 80-100 °C hingga panas merata pada seluruh biji jarak (Alamsyah *et al*, 2004).

Pengupasan harus secepatnya dilakukan agar memudahkan proses ekstraksi minyak dan untuk mencegah proses oksidasi pada biji jarak. Penggilingan segera dilakukan setelah pengupasan dengan tujuan untuk memudahkan proses pengeluaran minyak saat pengempaan dan memaksimalkan jumlah minyak yang terekstrak. Pengupasan tidak perlu dilakukan bila tempurung atau kulit akan digunakan sebagai arang aktif sehingga biji langsung digiling dan dilanjutkan dengan pengempaan.



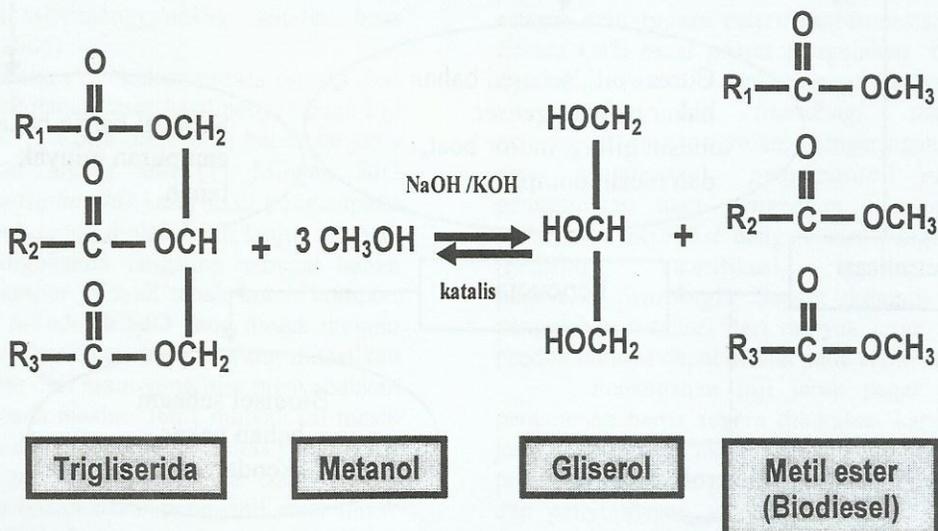
Gambar 3. Diagram alir proses pengolahan biodisel dari biji jarak *jatropha curcas* (Nakazano, 2001; Sudrajat, 2006)

Ekstraksi minyak dilakukan dengan cara pengempaan (*pressing*). Pengempaan ini bisa dilakukan dengan alat kempa *jack press* atau dengan pengempaan ulir (*screw press*). Dengan pengempaan sistem *jack press*, minyak yang dihasilkan akan lebih baik dibandingkan dengan sistem pengempaan ulir, karena dengan sistem ulir kernel biji akan mengalami efek penghancuran, penggilingan, pengepresan dan pemanasan yang mengakibatkan minyak berwarna lebih gelap. Minyak hasil pengempaan kemudian disaring dengan menggunakan kain saring untuk menghilangkan kotoran dan benda asing yang terikut. Penggunaan *jackpress*, pengempaan bisa dilakukan berulang kali agar dihasilkan jumlah minyak yang maksimal. Dari hasil pengempaan ini juga dihasilkan bungkil yang masih mengandung 60 % protein kasar dan yang bercampur dengan racun kurkin.

Esterifikasi berkaitan dengan reaksi asam karboksilat, dalam hal ini asam lemak dengan alkohol atau metanol untuk menghasilkan ester. Tujuan dilakukan proses esterifikasi adalah untuk menurunkan kandungan asam lemak bebas dalam minyak. Reaksi esterifikasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah jumlah pereaksi, metanol dan asam lemak bebas, waktu reaksi, suhu reaksi, konsentrasi katalis, dan kandungan air pada minyak (Ozgul and Turkay, 2002). Bila jumlah metanol dan kandungan asam lemak bebas tinggi, maka rendemen metil ester semakin tinggi serta semakin kecil kandungan asam lemak bebas pada akhir reaksi. Goff *et al* (2004) menyatakan bahwa minyak dengan kadar air kurang 0,1 % dapat menghasilkan metil ester lebih dari 90 %.

Menurut Ozgul dan Turkay (2002) semakin lama waktu reaksi esterifikasi maka semakin besar rendemen metil ester yang didapat. Suhu 65 °C dapat memberikan rendemen metil ester yang optimal. Selain itu, jumlah katalis yang berlebihan ternyata tidak meningkatkan secara nyata rendemen metil ester. Haas *et al* (2003) menambahkan bahwa air yang dihasilkan selama proses esterifikasi menghambat reaksi ini lebih lanjut, dengan demikian laju reaksi berkurang seiring berlangsungnya waktu. Esterifikasi minyak kasar dilakukan dengan menggunakan unit estran yang sebelumnya dimasukkan minyak hasil pengempaan. Ke dalam unit estrans ini ditambahkan metanol dan HCl dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 60 °C selama kurang lebih 2 jam yang diikuti dengan pengadukkan.

Tujuan proses transesterifikasi dalam pengolahan biodisel adalah untuk mengkonversi trigliserida dalam minyak jarak pagar yang sudah diesterifikasi menjadi metil ester. Untuk minyak yang mengandung asam lemak bebas tinggi dapat dikonversi secara efisien menjadi metil esternya melalui beberapa tahap reaksi yang melibatkan katalis asam untuk mengesterifikasi asam lemak bebas yang dilanjutkan dengan transesterifikasi berkatalis basa yang mengkonverssi sisa trigliserida (Canakci and Gerpen 2001). Katalis asam di samping mengesterifikasi asam lemak bebas, juga mengkonversi trigliserida menjadi metil esternya. Kecepatan pembentukan metil ester akan lebih rendah dibandingkan dengan transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa (Haas, *et al*, 2003).



Gambar 4. Konversi trigliserida menjadi metil ester melalui reaksi alkoholis lemak (Anonim, 2006)

Reaksi transesterifikasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor internal dan eksternal. Untuk faktor internal adalah mutu minyak terutama kandungan air, kandungan asam lemak bebas, dan kandungan zat terlarut maupun tak terlarut yang dapat mempengaruhi reaksi. Sedangkan faktor eksternal antara lain suhu, waktu, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi katalis serta jumlah rasio molar metanol terhadap minyak. Jumlah metanol yang dianjurkan sekitar 1,6 kali jumlah yang dibutuhkan secara teoritis. Proses transesterifikasi bisa dilakukan secara curah (*batch*) atau kontinyu (Darnoko *et al* 2001). Sintesis metil ester melalui reaksi alkoholis lemak atau minyak dapat dilihat pada Gambar 4. diatas

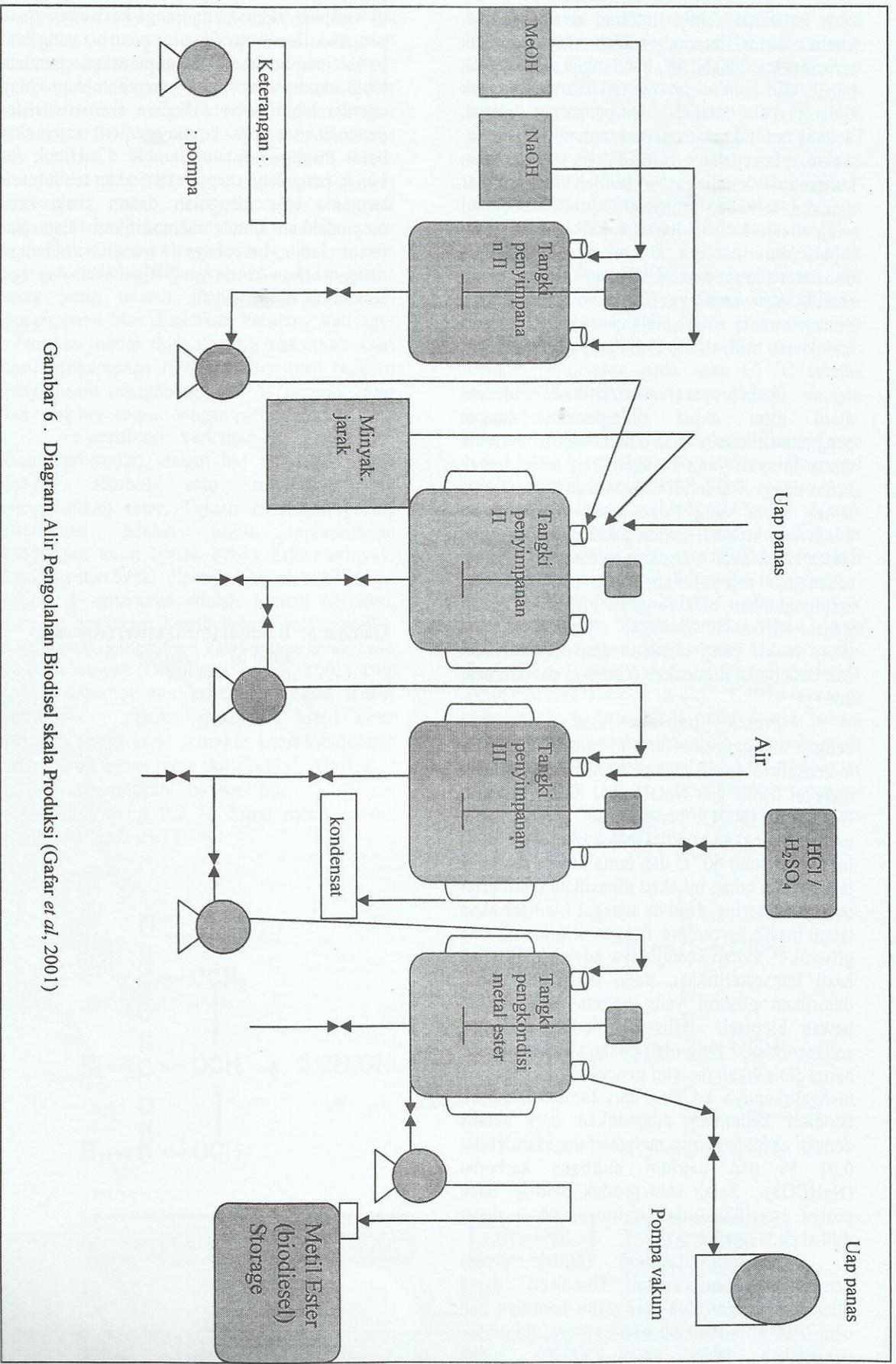
Pada proses transesterifikasi, rendemen metil ester dapat ditingkatkan dengan penggunaan katalis basa dalam kondisi berlebih untuk minyak yang mengandung asam lemak bebas tinggi, hal ini dimungkinkan karena asam lemak bebas yang tidak teresterifikasi dapat dikonversi menjadi garam alkalinnya atau sabun (Haas *et al*, 2003). Dengan terbentuknya sabun sebenarnya menyulitkan proses pencucian dan memungkinkan berkurangnya efektifitas reaksi transesterifikasi. Sebagai alternatifnya dua tahap reaksi yang menggunakan katalis asam dan basa dapat digunakan (Canakci dan Gerpen, 2001).

Proses transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan unit estrans dengan cara mereaksikan hasil proses esterifikasi dengan metanol teknis dan NaOH atau KOH. Menurut Nakazano (2001) penggunaan NaOH lebih umum digunakan kondisi reaksi transesterifikasi ini adalah suhu 60 °C dan lama proses sekitar 1 jam. Dalam tahap ini akan dihasilkan metil ester atau yang sering disebut sebagai biodisel akan tetapi masih bercampur dengan sisa katalis dan gliserol. Tahap selanjutnya adalah pencucian hasil transesterifikasi, pada tahap itu masih dihasilkan gliserol yang berada pada bagian bawah biodisel. Gliserol biodisel berupa endapan kental yang merupakan sisa katalis dan harus dipisahkan melalui pencucian dengan cara mengalirkannya ke luar dari larutan biodisel. Biodisel kemudian dibersihkan dari katalis dengan air panas yang mengandung asam asetat 0,01 % dan natrium hidrogen karbonat (NaHCO<sub>3</sub>). Salah satu produk biodisel hasil proses esterifikasi dan transesterifikasi dapat dilihat pada gambar 5.

Menurut Lohrein (2001) proses pengolahan metil ester (biodisel) dapat dilakukan dengan dua cara yaitu kontinyu dan cara *batch*. Pada proses secara kontinyu, pengolahan lebih aman karena sudah

menggunakan sistem pemipaan (*piping system*), di samping akan mengurangi kesuautan (*loss*), pengendalian mutu (*quality control*) yang lebih baik, memudahkan pengoperasian, peralatan lebih kompleks, serta membutuhkan biaya operasi lebih besar. Secara skematis sistem pengolahan secara kontinyu metil ester skala besar disajikan dalam Gambar 6. Untuk cara *batch*, pengolahan metil ester akan lebih murah terutama bila mengolah dalam skala kecil, memudahkan untuk memodifikasi alat, akan tetapi lebih berbahaya karena berhubungan dengan bahan kimia yang digunakan dan agak sulit untuk dioperasikan.

Gambar 5. Biodisel (metil ester) (Anonim, 2006 b)



Gambar 6 . Diagram Alir Pengolahan Biodiesel skala Produksi (Gafar *et al*, 2001)

## POTENSI PENGEMBANGAN USAHA

Di Indonesia jumlah lahan kritis adalah 15,3 juta hektar, sedangkan potensi lahan yang akan menjadi kritis seluas 6,6 juta hektar sehingga total potensi lahan kritis adalah 21,9 juta hektar (Anonim, 2006 a). Dilihat dari aspek penanaman, manfaat yang langsung bila usaha dan produksi biodisel digalakkan adalah dampak penanaman tanaman jarak terhadap pemanfaatan lahan dan lingkungan. Karena tanaman jarak sangat toleran terhadap tanah maka dampak positif lingkungan yang langsung bisa diperoleh adalah reboisasi lahan kritis atau lahan tandus atau lahan non-produktif. Target pemerintah Indonesia dalam produksi biodisel adalah 10 % dari 50 juta kilo liter konsumsi bahan bakar disel dan minyak bakar. Data terakhir realisasi kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) pada tahun 2005 adalah sebesar 50 juta kilo liter. (Anonim, 2006a). Untuk memenuhi kebutuhan 5 juta kilo liter solar minyak disel maka program ini paling tidak akan mengurangi lahan non produktif di Indonesia seluas 1,5 juta hektar lahan kritis atau lahan tandus (Sudradjat, 2006). Selain itu, berkurangnya lahan kritis dan tandus akan berdampak bertambah cadangan air sebagai air inti kehidupan. Dengan perkataan lain penanaman jarak pagar pada lahan-lahan tersebut akan menunjang pelestarian lingkungan serta berkurangnya hutan gundul, lahan tandus, dan lahan marjinal.

Secara garis besar dapat diasumsikan satu pohon jarak akan menghasilkan 4,5 kilogram biji per tahun. Untuk satu hektar tanaman jarak bisa ditanam 2000 pohon jarak, sehingga akan dihasilkan biji jarak sebanyak 9000 kilogram per tahun. Bila rendemen minyak jarak sebesar 35 %, maka dengan demikian produksi minyak jarak per tahun adalah 9000 kg/tahun x 35 % atau setara dengan 3150 liter per hektar. Apabila ditargetkan 10 % dari kebutuhan bahan bakar solar, minyak disel, dan minyak bakar diganti dengan minyak jarak maka dibutuhkan luas lahan = 5 juta kiloliter / tahun d/ 3,15 kilo liter/ hektar / tahun atau setara dengan 1,56 juta hektar.

Jika harga tiap kilogram biji jarak adalah Rp 500,- maka akan terjadi aliran dana dari 13,5 juta ton biji jarak dikalikan Rp 500,- atau sebesar 6,75 trilyun per tahun. Jumlah ini belum memperhitungkan aliran dana yang terkait dengan pengadaan komponen lain seperti biaya pupuk, biaya yang terkait dengan pengadaan pengoperasian unit pengolahan minyak, biaya distribusi, dan kegiatan pendukung lainnya.

## BIODISEL: BAHAN BAKAR RAMAH LINGKUNGAN

Indonesia mempunyai lahan kritis atau non-produktif di Indonesia dengan luas 1,5 juta hektar, bila lahan tersebut ditanam dengan tanaman jarak pagar diharapkan akan berlangsung penyerapan energi matahari, penyerapan CO<sub>2</sub> dan nutrisi dari tanah secara efisien, dengan demikian penanaman jarak pagar akan memberikan peranan penting dalam menjaga kelestarian lingkungan dengan diproduksinya O<sub>2</sub> dari tanaman yang merupakan hasil proses fotosintesa dalam jumlah yang cukup besar (Anonim, 2006 a). Biodisel seperti energi alam lainnya, adalah bahan bakar yang ramah lingkungan. Pertama-tama ialah karena minyak tumbuhan tidak mengandung sulfur (belerang) yang merupakan elemen karsinogen utama bahan bakar disel. Keunggulan lainnya ialah minyak tumbuhan menyerap lebih banyak karbon dioksida dari udara dalam siklus reaksinya pada saat minyak ini dibakar, sehingga minyak tumbuhan tidak menambah kuantitas karbon dioksida di atmosfer. Suhu pembakaran yang sedikit relatif rendah juga akan mengurai emisi NO<sub>x</sub> (nitrogen oksida) (Silvia, 2006).

Sebagai bahan bakar, biodisel lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan petroleum diesel hal ini dikarenakan penggunaan biodisel tidak memberikan kontribusi nyata terhadap efek gas rumah kaca (*green house effect*), dikarenakan unsur karbon yang ada telah dibebaskan dalam rantai karbonnya dibandingkan dengan petroleum diesel yang banyak memberikan jutaan ton karbon tiap tahunnya yang dipindahkan menuju lapisan litosfir (Pakpahan, 2001). Ditinjau dari karakteristiknya, biodisel sebagai bahan bakar mempunyai kelebihan tersendiri yakni mampu memberikan dampak lingkungan minimal bila digunakan dalam kendaraan atau mesin lainnya dibandingkan solar, antara lain adalah: (1) merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (*free sulphur, smoke number* rendah), (2) mempunyai bilangan setana yang tinggi (lebih besar dari 60) sehingga efisiensi pembakaran lebih baik, (3) memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin, (4) mempunyai sifat mudah terurai (*biodegradable*), (5) merupakan bahan bakar yang terbarukan (*renewable energy*) karena terbuat dari bahan alam yang dapat diperbaharui, dan (6) membuat ketidakbergantungan suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal (Anggainsi, 2001 ; Sony, 2005).

Biodisel dapat menggantikan secara sempurna bahan bakar petroleum disel di dalam penerapannya dalam bidang kelautan. Biodisel tidak hanya mempertahankan kebersihan laut juga akan menjadikan perjalanan laut menjadi bersih karena berkurangnya hasil pembakaran disel (asap hitam) dan bau yang kurang enak yang biasa dikeluarkan oleh petroleum disel (Pakpahan, 2001). Hal ini dikarenakan biodisel dalam pembakarannya terjadi proses oxigenasi serta menghasilkan pembakaran yang lebih bersih. Hasil pembakaran (*biodiesel exhaust fume*) akan lebih bersih bagi operator, awak, dan penumpang kapal penangkap ikan atau kapal laut lainnya. Sejauh ini bau dari hasil pembakaran bahan bakar solar yang digunakan menjadi masalah tersendiri juga. Hasil uji emisi gas buang biodisel dari jarak pagar mempunyai nilai yang paling rendah yaitu 20 % (semakin besar semakin jelek), dibandingkan dengan emisi gas buang dari bahan bakar lainnya seperti solar murni, campuran solar dan minyak jarak pagar (SJO), dan minyak jarak pagar (SJO murni). Pada Tabel 4 di bawah ini dapat dilihat hasil pengujian emisi gas buang dari ke empat jenis bahan bakar tersebut.

Tabel 4. Hasil uji emisi gas buang bahan bakar biodisel, solar dan campurannya \*)

No	Jenis Bahan Bakar	Emisi gas buang (%)
1.	Solar murni (100 %)	28,6
2.	Solar + minyak jarak pagar (50 % + 50 %)	25,4
3.	Minyak jarak pagar (100 %)	20,8
4.	Biodisel jarak pagar (100 %)	20,0

\*) Sumber : Hasil pengamatan langsung Dinas LLAJ Bogor di dalam Sudradjat (2006)

### KESIMPULAN

Diharapkan dengan adanya produksi biodisel di Indonesia maka paling tidak terdapat tiga hal yang dapat memberikan dampak dan implikasinya antara lain : 1) terciptanya lapangan pekerjaan yang akan menghidupkan ekonomi pedesaan, 2) akan terjadi reboisasi lahan marjinal (kritis, tandus dan non produktif), berkurangnya lahan kritis dan tandus yang berdampak bertambahnya cadangan air sebagai inti kehidupan, dan 3) diproduksi bahan bakar alternatif biodeisel yang dapat menggantikan

bahan bakar disel yang semakin minim sumbernya, sehingga dengan demikian akan dihasilkan bahan bakar disel yang mampu berdaya saing serta akan berkurangnya subsidi pemerintah untuk bahan bakar minyak.

Pada sisi lain pengelolaan usaha biodisel ini juga akan menunjang program pembangunan berwawasan lingkungan karena biodisel lebih ramah lingkungan, tidak memberikan polutan terhadap lingkungan, serta sumber bahan baku biodisel dari biji jarak *Jatropha* yang dapat diperbaharui (*renewable*). Di samping itu implikasi usaha biodisel akan berakibat untuk menyerap tenaga terampil, menghidupkan ekonomi pedesaan, menumbuhkan industri baru serta mengatasi kelangkaan bahan bakar minyak.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, H.Y. (2005). *Sifat Fisiko Kimia Biodisel Jarak Pagar (Jatropha Curcas L), Suatu Sumber Energi Alternatif Terbarukan*. Skripsi, Departemen Kimia, FMIPA, IPB, Bogor.
- Alamsyah, R, Yuniarti, Isyanti, M., Munajat, dan Sukarta, A. (2004). *Pengolahan Minyak Jarak Menjadi Modified Castor Oil*. Balai Besar Industri Agro. Bogor.
- Allen, C.A.W., Watts, K.C. Ackman, R.G. and Pegg, M.J. (1999). "Predicting Of The Viscosity Of Biodisel Fuel From Their Fatty Acid Ester Composition". *Fuel* 78: 1319 – 1326.
- Anggraini, A. A. S. (2001). "Crude The Prospect of Vegetable Oils for Technical Utilization in Indonesia". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Anonim (2005). "BBM bisa dari singkong, minyak jarak, atau kelapa sawit". *Berita BPPT* (Maret 2005), Jakarta
- Anonim (2006 a). "Rajawali Nusantara Indonesia Menuju Era Energi Hijau". Makalah disajikan pada Seminar Sehari Prospek dan Strategi Bisnis Jarak Pagar. Disampaikan pada Trubus Agro Expo, 1 Maret 2006, Jakarta.
- Anonim (2006 b). Biodiesel. <http://www.howstuffwork.com/gf/biodiesel-ch.jpg> (27 Mei 2006).

- Canakci, M dan Gerpen, J.V. (2001). "Biodiesel from Oils and Fat with High Free Fatty Acids". *Trans Am Soc* 44: 1429 – 1436.
- Darnoko, Herawan, T., and Guritno, P. (2001). "Teknologi Produksi Biodiesel dan Prospek Pengembangannya di Indonesia". *Warta PPKS* 9 : 17 – 27.
- Gafar, A., Sijabat, O., Pupung, L., Legowo, E. H., dan Arfan (2001). "Experience in Palm Biodiesel Application For Transportation". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Okt 2001.
- Germani, M. and Bruna, H. J. S. (2001). "Crude palm oil as fifth energy source: biodiesel production technology". *Di dalam Enhancing biodiesel development and use. Proceeding of the international biodiesel workshop*. Medan, 2-4 October 2001.
- Goff, M.J., Bauer, N. S., Sutterlin, W. R., Suppes., G.J. (2004). Acid-catalyzed Alcoholysis of Soybean Oil, *J Am Oil Chem Soc*. 81: 415-420.
- Gubitz, G. M., Mittelbach, M. Nunez, A., dan Scott, K.M. (1999). "Exploitation of tropical oil seeds plant *Jatropha Curcas L* ", *Biores Technol*, 67: 73 -82.
- Haas, M.J. Michalski, P.J., Runyon, S. Nunez, A., and Scott, K.M. (2003). "Production of FAME from Acid Oil, a by product of vegetable oil refining". *J Am Oil Chem Soc* 80: 97 – 102.
- Haas, W. and Mittelbach, M. (2000). "Detoxification Experiments with the Seed Oil from *Jatropha curcas L*". *Indust Corps Prod* 12 : 111 - 118
- Hendriadi, A., Mulyantara, L.T., dan Mardison (2006). "Prospek Teknologi Pengolahan Minyak Biji Jarak (Crude *Jatropha Curcas Oil*) Skala Pedesaan Untuk Peningkatan Pendapatan Petani dan Keresahan Pengembangan Bio-Energi". Makalah disajikan dalam Seminar Sehari Prospek dan Strategi Bisnis Jarak Pagar. Disampaikan pada Trubus Agro Expo, 1 Maret 2006, Jakarta.
- Herawan, T. dan Sadi, S. (1997). "Sifat Fisika Kimia dan Beberapa Jenis Alkil-ester Asam Lemak Sawit dan Kemungkinan Aplikasinya". *Warta PPKS*, 5 : 131 - 136
- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Jilid ke-2. Yayasan Sana Wana Jaya, Jakarta
- Jaya, I. (2005). *Optimasi Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas L*), Melalui Proses Esterifikasi-Transesterifikasi*. Skripsi, Departemen Kimia, FMIPA, IPB, Bogor.
- Kompas (2006). Konsumsi BBM Publik akan Disubsidi. Kompas (April 2006), Jakarta.
- Korbztz, W. (2001). "New Trend in Developing Bio-diesel Worldwide". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Krause, R. (2001). "Bio and Alternative Fuels for Mobility". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Kyoto Protocol (1997). "Kyoto Protocol to The World Nations Framework Convention on Climate Change". English Conference of Parties, The Session Kyoto, 1-10 Dec. 1997. <http://www.cnn.com/SPECIAL1997/global.warming/stories/treaty/>
- Legowo, E.L., (2001). "Experiences in Palm Biodiesel Uses for Transportation". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Lohrein, H.P. (2001). "The art of Biodiesel Processing". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Maurizio and Bruna, H.J.S.. (2001). "Crude Palm Oil As Fifth Energy Source: Biodiesel Production Technology". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Mittelbach, M. (2001). "Biodiesel Experience in Austria Enhancing Biodiesel Development and Use". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Nakazano, Y. (2001). "Biodiesel Fuel 'e-oil' in Japan". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop:*

- Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Ozgul, S. and Turkay, S. (2002) Variables Affecting the Yields of Methyl Ester Derived from in situ Esterification of Rice Bran Oil. *J Am Oil Chem Soc* 79: 611 – 614.
- Padua, L.S., Bunjaprahatsara, N., and Lemmens, R.H.M.J. (1999). *Plant Resources Of South-East Asia, Medicinal And Poisonous Plants*, Prosea, Bogor
- Pakpahan A. (2001). Palm Biodiesel: Its Potency, Technology, Business Prospect, and Environmental Implications in Indonesia. *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Pertamina (2005). Stok BBM Aman, *Antara News* (Agustus 2005), Jakarta.
- Pusat Peneleitian Material dan Energi. (2002). Tumbuhan Bumi Indonesia yang Berpotensi Menjadi Penghasil Minyak Lemak.  
<http://www.creit.or.id/biodiesel/vegetasi/jarak.htm>. (3 Mei 2006).
- Saragih, B. (2001). "Opening Address in International Biodesel Workshop". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Echancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Silvia, I. (2006). "Minyak Tumbuhan, Sumber Energi Alami" <http://www.chemistry.org/?sect=artikel&ext=88> (27 Mei 2006)
- Soerawidjaya, T. H. (2002). "Perbandingan Bahan Bakar Cair Alternatif Pengganti Solar". Makalah disajikan pada Pertemuan Forum Biodisel Indonesia ke-7. BPPT, Jakrta.
- Sony, S.W. (2005). Biodisel Kelapa Sawit, Berita BPPT (Maret 2005), Jakarta
- Sudradjat, R. (2006). "Tekno Ekonomi Pengusahaan Biodisel dari Tanaman Jarak Pagar. Makalah disajikan pada Seminar Sehari Prospek dan Strategi Bisnis Jarak Pagar". Makalah disajikan dalam Seminar Trubus Agro Expo, 1 Maret 2006, Jakarta.
- Sumiarso, L. (2001). "Indonesia Policy on Renewable Energy Development". *Proceedings of the International Biodiesel Workshop: Enhancing Biodiesel Development and Use*, Medan, 2 – 4 Oct. 2001.
- Swern, D. (1982). *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. 4 th Ed, Vol. 2, John Willey, New York.