

# PROSPEK DAN TANTANGAN PEMANFAATAN BIOFUEL SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF PENGANTI MINYAK DI INDONESIA

Endang Suarna

## ABSTRACT

*As oil consumption continues to increase, while the availability of oil supply remains limited, an oil shortage is a real possibility in Indonesia. As a result Indonesia needs to import both crude oil for refinery feedstock and oil products to meet the energy demand. Meanwhile, Indonesia has a great potential of biomass or renewable sources to be utilized as biofuels both Bio-diesel and Bio-ethanol (ethanol). Therefore, energy diversification by introducing the biofuel to substitute oil is needed to reduce the oil consumption especially in the transportation sector. As consequence, land areas are required to grow palm oil for supplying Bio-diesel's feedstock, and to grow cassava for supplying Bio-ethanol's feedstock. Examining the potential and challenge of the biofuel utilization for oil substitution is the purpose of this paper.*

## 1. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya kebutuhan minyak, sedangkan penyediaan minyak semakin terbatas, sehingga untuk memenuhi kebutuhan minyak dalam negeri Indonesia harus mengimpor minyak baik dalam bentuk minyak mentah maupun dalam bentuk produk kilang atau bahan bakar minyak (BBM) seperti minyak solar atau ADO (*Automotive Diesel Oil*), premium atau bensin, minyak bakar atau FO (Fuel Oil), dan minyak tanah. Semakin meningkatnya import minyak dan semakin meningkatnya harga minyak dunia diperkirakan akan semakin berat beban dan biaya yang harus ditanggung pemerintah Indonesia dalam pengadaan minyak dalam negeri. Oleh karena itu perlu dipertimbangkan penggunaan sumber energi lain selain minyak, untuk mengurangi tekanan besarnya konsumsi minyak.

Biofuel yang terdiri atas Bio-diesel dan Bio-ethanol (ethanol) merupakan pilihan untuk dipergunakan sebagai sumber energi pengganti minyak. Biofuel tersebut dapat dibuat dari sumber hayati atau biomasa, seperti kelapa sawit, jarak pagar, dan kedelai untuk bahan baku Bio-diesel; serta ubi kayu (singkong), ubi jalar, dan jagung untuk bahan baku ethanol. Semua bahan baku biofuel tersebut merupakan tanaman yang sudah dikenal dan dapat tumbuh dengan baik di Indonesia. Namun berdasarkan ketersediaan dan efisiensi penggunaan lahan, diperkirakan kelapa sawit dan ubi kayu dapat merupakan sumber bahan baku biofuel yang paling potensial di Indonesia. Saat ini, tanaman-tanaman tersebut lebih banyak diperuntukkan untuk keperluan bukan energi, sehingga pengembangan tanaman-tanaman tersebut untuk bahan baku biofuel merupakan suatu tantangan dan diperkirakan akan memerlukan pengembangan lahan dan penelitian lebih lanjut.

Biofuel dalam bentuk Bio-diesel sebagai pengganti atau campuran minyak solar (ADO), maupun dalam bentuk Bio-ethanol (ethanol) sebagai pengganti atau campuran bensin atau premium dapat dipergunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor tanpa merubah mesin. Kedua sumber energi terbarukan tersebut sudah pernah dipergunakan sebagai bahan bakar mesin kendaraan

bermotor sejak tahun 1880-an, tapi sejak ditemukannya minyak yang berasal dari fosil yang harganya lebih murah, biofuel secara ekonomis tidak dapat bersaing dan berkembang. Oleh karena itu, semakin terbatasnya penyediaan minyak dan semakin tingginya harga minyak, diperkirakan akan mendorong pemanfaatan biofuel sebagai sumber energi alternatif pengganti minyak.

Pemanfaatan biofuels, selain dipergunakan untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak (diversifikasi energi), juga mempunyai keuntungan lain terutama dari segi dampak lingkungan, karena biofuel merupakan bahan bakar yang rendah emisi bahan pencemar (polutan), biodegradable dan tidak beracun (Morgan, D., 2005; Darnoko. et al., 2001). Penggunaan biofuel juga mampu mengurangi emisi gas rumah kaca sampai 90 persen (Theil, S. 2005). Keuntungan lain dari pemanfaatan energi terbarukan yang bersumber dari biomasa tersebut adalah dapat mendorong penciptaan lapangan kerja di pedesaan, sebagai contoh produksi ethanol di Brazil diperkirakan telah menciptakan sekitar 700000 lapangan pekerjaan, termasuk untuk pekerjaan yang tidak memerlukan *skill* (Macedo, IC, 2004).

Prospek pemanfaatan biofuel, baik dalam bentuk Bio-diesel sebagai bahan bakar pengganti ataupun campuran minyak solar atau *Automobile Diesel Oil* (ADO), maupun dalam bentuk Bio-ethanol sebagai bahan bakar pengganti ataupun campuran bensin atau premium pada sektor transportasi ditentukan berdasarkan hasil Model MARKAL (*Market Allocation*), yaitu suatu model optimasi penggunaan energi berdasarkan biaya terendah. Sumber energi terbarukan biofuels diperkirakan akan menarik secara ekonomi pada harga minyak mentah tinggi, yaitu 60 \$/barrel. Sebagai tantangan adanya kebutuhan biofuel pada harga minyak mentah tinggi tersebut, antisipasi penyiapan lahan untuk media tumbuh bahan baku biofuel seperti kelapa sawit untuk bahan baku Bio-diesel, dan ubi kayu untuk bahan baku ethanol perlu dilakukan, sehingga pemanfaatan biomasa sebagai sumber energi alternatif pengganti minyak dapat lebih optimal, efisien, dan berdaya guna.

## 2. SEJARAH PEMANFAATAN BIOFUELS.

Pemanfaatan Bio-diesel dan ethanol yang dibuat dari bahan baku sumber hayati atau biomasa untuk bahan bakar kendaraan bermotor sebenarnya secara teknis sudah pernah dilakukan sejak lama, namun sejak ditemukannya minyak bumi atau petroleum yang lebih murah, pengembangan pemanfaatan kedua sumber energi terbarukan tersebut terhambat. Dalam sejarah perkembangan biofuels tersebut dapat diuraikan sebagai berikut.

### 2.1. Bio-diesel.

Pembuatan Bio-diesel melalui *transesterification* dari minyak sayur telah dilakukan sejak awal tahun 1853 oleh E. Duffy dan J. Patrick, beberapa tahun sebelum mesin diesel pertama berfungsi. Sampai kira-kira 40 tahun kemudian, yaitu 10 Agustus 1893, Rudolf Diesel meluncurkan model mesin pertamanya di Augsburg, Jerman, sehingga pada 10 Agustus tersebut dideklarasikan sebagai *Hari Bio-diesel Internasional*. Diesel kemudian mendemonstrasikan mesinnya pada World Fair di Paris, Perancis 1898. Mesin tersebut sendiri adalah sebagai contoh visi Diesel, karena digerakan dengan bahan bakar *minyak kacang* atau biofuel, jadi tidak bisa dikatakan sebagai Bio-diesel, karena tidak melalui proses transesterification (Columbia University, 2004).

Dalam tahun 1920-an, pabrik mesin diesel mengubah mesinnya untuk memanfaatkan bahan bakar fosil (*petrodiesel*) yang viscositasnya lebih rendah daripada minyak sayur. Industri-industri perminyakan mampu menciptakan pasar bagi minyak (petroleum), sebab produksi bahan bakar minyak tersebut lebih murah daripada bahan bakar alternatif biomasa. Sebagai akibatnya dalam beberapa tahun, infrastruktur produksi bahan bakar biomasa tersebut secara perlahan-lahan hilang. Akhir-akhir ini, kepedulian terhadap lingkungan dan semakin kecilnya perbedaan biaya membuat bahan bakar biomassa seperti Bio-diesel terdorong menjadi bahan bakar alternatif.

Pada tahun 1990an, Prancis meluncurkan produksi bahan bakar Bio-diesel yang diperoleh melalui proses transesterification dari *rapeseed oil*. Bahan bakar tersebut dicampur dengan proporsi 5 persen Bio-diesel dari minyak solar (*petrodiesel*) serta 30 persen Bio-diesel dari minyak solar pada sektor transportasi. Renault, Peugeot dan pabrik-pabrik lain sudah mensertifikasi mesin truk untuk menggunakan proporsi Bio-diesel tersebut. Sementara itu, percobaan campuran Bio-diesel sampai 50 persen masih sedang dilakukan (Columbia University, 2004).

## 2.2. Ethanol.

Penggunaan ethanol untuk bahan bakar kendaraan sebenarnya sudah dimulai sejak tahun 1880, pada tahun tersebut Henry Ford telah merancang sebuah mobil dengan bahan bakar hanya ethanol (tanpa dicampur). Ford memproduksi secara massal mobil *Model T* yang dapat dioperasikan dengan ethanol maupun bensin atau premium (Ethanol Info, 9/6/2004 <http://www.renewableenergypartners.org/ethanol.html>). Sampai tahun 1970-an ketika terjadi krisis minyak, Brazilia menkampanyekan untuk tidak mengimport minyak yang mahal. Pemerintah Brazil membantu dengan mensubsidi rancang bangun dan manufaktur mobil berbahan bakar hanya alkohol. Mereka juga mendukung sebuah industri besar untuk mengolah tebu (tetes tebu) menjadi alkohol yang kemudian membangun jaringan distribusi alkohol untuk bahan bakar kendaraan ke seluruh Brazil, dalam menjaga memenuhi kebutuhan ethanol, perusahaan-perusahaan lokal dan multinasional akan menginvestasikan sekitar 6 milyar US dollar dalam perkebunan dan destilasi ethanol dalam 5 tahun yang akan datang (Theil, S, 2004). Bahkan Brazil sekarang menjadi produsen ethanol terbesar di dunia dengan sekitar 400 unit buah pabrik ethanol (Macedo, I.C, 2004), pada tahun 2000 saja diperkirakan dapat menghasilkan ethanol sekitar 4 milyar galon atau 16 milyar liter setiap tahun (Santos, A.S et al, 2000).

Pada tahun 1980-an jutaan orang Brazil beralih ke mobil alkohol. Namun pada tahun 1989 terjadi kelangkaan alkohol, sehingga para pemilik kendaraan alkohol tidak dapat mengisi bahan bakar dan kendaraan alkoholnya lagi. Jatuhnya harga minyak mentah (*crude oil*) dunia pada tahun 1990-an berakibat pada semakin turunnya penggunaan mobil berbahan alkohol tersebut di Brazil. Namun penjualan mobil alkohol tersebut terdongkrak kembali setelah FFV atau *flexible-fuel car* (mobil yang bisa berjalan dengan bahan bakar bensin maupun ethanol dengan sembarang kombinasi) penjualannya meningkat sampai 50.000 unit sampai akhir tahun 2003. Bahkan dalam kurun waktu enam bulan kemudian, yaitu dari Januari sampai dengan Juni 2004, sekitar tambahan 150000 unit *flex-fuel car* telah terjual di Brazil (Associated Press, 2004). Brazil merupakan negara pengguna mobil berbahan bakar ethanol terbesar, sekitar 15 persen dari mobil Brazil dioperasikan dengan 100 persen ethanol (E100), sedangkan sisanya

menggunakan bahan bakar campuran ethanol 20 persen dan bensin 80 persen atau E20 (Ethanol Info, 9/6/2004).

Sekarang ini, banyak pabrik mobil sudah mengembangkan mobil yang dapat berjalan dengan kandungan ethanol lebih tinggi, yaitu E85 (ethanol 85 persen dan bensin 15 persen) atau mobil FFV. Ford, GM, Chrysler, Mazda, Isuzu, dan Mercedes sudah menyelesaikan sekitar 20 model kendaraan dari mobil dan truk yang menggunakan campuran bensin dengan ethanol sampai 85 persen tanpa modifikasi. Amerika Serikat sekarang sedang mempromosikan bahan bakar ethanol 85 persen dengan bensin 15 persen. Sekitar tiga juta kendaraan dual fuels atau FFV sudah ada di jalan dan sekitar 240 buah Stasiun Pengisian Bahan Bakar (SPBB) di Amerika Serikat menawarkan E85, dan setiap bulan jumlah SPBB yang menawarkan E85 di negara tersebut bertambah terus (Ethanol Info, 9/6/2004).

### **3. POTENSI BAHAN BAKU BIOFUELS.**

Biofuels yang terdiri atas Bio-diesel dan Bio-ethanol meskipun memerlukan bahan baku yang sama, yaitu sumber hayati atau tanaman, tetapi mempunyai penggunaan yang berbeda. Bio-diesel dipergunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan bermesin diesel atau minyak solar, sedangkan Bio-ethanol dipergunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan bermesin premium atau bensin. Sumber hayati sebagai bahan baku untuk biofuels di Indonesia dapat diuraikan sebagai berikut.

#### **3.1. Bahan Baku Bio-diesel.**

Bahan baku Bio-diesel seperti jarak pagar, kedelai, dan kelapa sawit adalah merupakan tanaman-tanaman yang terdapat di Indonesia, namun tidak semua tanaman-tanaman tersebut sudah dibudidayakan secara luas. Tanaman-tanaman kedelai dan kelapa sawit merupakan tanaman sudah dibudidayakan secara luas hampir di seluruh Indonesia, sehingga untuk memenuhi kebutuhan bahan baku Bio-diesel yang mendesak, kedua jenis tanaman tersebut perlu mendapat perhatian yang utama. Sementara itu, jarak pagar (*Jatropha curcas*) meskipun sudah dikenal, namun budidaya tanaman tersebut masih terbatas, sehingga pemanfaatan jarak pagar sebagai bahan baku Bio-diesel masih memerlukan sosialisasi. Selain itu, pemanfaatan jarak pagar sebagai bahan baku Bio-diesel masih terdapat kendala dengan keasaman, sehingga pemanfaatan Bio-diesel berbahan baku jarak pagar masih perlu penelitian lebih lanjut (Sudradjat, 2006). Luas lahan bahan baku dan potensi produksi Bio-diesel dari kelapa sawit dan kedelai menurut wilayah di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan luas lahan maupun potensi produksi Bio-diesel, kelapa sawit mempunyai potensi lebih besar daripada kedelai untuk dipergunakan sebagai bahan baku Bio-diesel. Luas lahan kelapa sawit di Indonesia mencapai lebih dari tiga kali lipat luas lahan kedelai, sedangkan potensi produksi Bio-diesel dari kelapa sawit juga lebih besar daripada potensi produksi Bio-diesel dari kedelai, yaitu lebih dari empat kali. Pemilihan kelapa sawit sebagai bahan baku Bio-diesel diperkirakan akan lebih efisien dari segi pengangkutan bahan baku, karena perusahaan kelapa sawit yang terpusat pada lahan yang luas, sedangkan lahan perkebunan kedelai biasanya tersebar dalam jumlah banyak tetapi lebih sempit per petani pemilikinya. Terpusatnya lahan perkebunan kelapa sawit tersebut dapat berdampak terhadap efisiensi biaya, terutama dalam pengumpulan dan pengangkutan bahan baku ke lokasi pabrik Bio-diesel. Namun keekonomian dari

penggunaan kedua bahan baku Bio-diesel tersebut masih perlu penelitian lebih lanjut.

Tabel 1. Luas Lahan Bahan Baku dan Potensi Produksi Bio-diesel menurut wilayah di Indonesia 2004.

Wilayah	Kedelai		Kelapa Sawit	
	Luas (Ha)	Biodiesel (kl)	Luas (Ha)	Biodiesel (kl)
Sumatra	67201	302404	3028000	18470800
Jawa	588234	2647052	19000	115900
Bali & Nusa Tenggara	123594	556171	0	0
Kalimantan	10988	49445	509000	3104900
Sulawesi	41761	187924	100000	610000
Maluku dan Papua	247832	1115245	38000	231800
Total Indonesia	1079609	4858242	3694000	22533400

Sumber: Statistik Perkebunan Kelapa Sawit 2004. Ditjen Bina Produksi Perkebunan. Buku Statistik Indonesia 2004. BPS.

Catatan: Setiap hektar pertanaman kedelai dapat menghasilkan rata-rata 4,5 kl Bio-diesel. Setiap hektar perkebunan kelapa sawit dapat menghasilkan rata-rata 6,1 kl Bio-diesel

### 3.2. Bahan Baku Ethanol.

Sumber bahan baku pembuatan ethanol atau Bio-ethanol di Indonesia terdiri atas tanaman-tanaman yang mengandung pati seperti jagung, ubi kayu (ketela pohon atau singkong), ubi jalar, sagu serta tetes tebu. Namun ubi kayu, ubi jalar, serta jagung diperkirakan merupakan sumber-sumber bahan baku ethanol yang potensial yang tersebar di seluruh Indonesia.. Luas dan potensi produksi dari tanaman-tanaman bahan baku ethanol tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas Lahan Bahan Baku dan Potensi Produksi Ethanol menurut Wilayah di Indonesia 2004.

Wilayah	Ubi Kayu		Ubi Jalar		Jagung	
	Luas (Ha)	Ethanol (KL)	Luas (Ha)	Ethanol (KL)	Luas (Ha)	Ethanol (KL)
Sumatera	350385	612581	36012	40279	710201	383367
Jawa	663585	1348506	61984	83780	1859891	1028148
Bali & Nusa Tenggara	103309	159922	23405	28259	322306	136787
Kalimantan	37392	68531	8957	8923	59196	18493
Sulawesi	59260	98782	17454	17844	382393	194256
Total Luar Jawa	23645	40302	39614	43155	12514	6249
Total Indonesia	1237575	2335209	187426	227770	3346501	1774984

Sumber: \* Diolah berdasarkan data BPS, 2004 dan BBTP-BPPT, 2005.

Catatan: Kebutuhan bahan baku jagung 5 kg/liter ethanol, ubi jalar 8 kg/liter ethanol, dan ubi kayu 6,5 kg/liter ethanol.

Berdasarkan kebutuhan bahan baku untuk memproduksi satu unit volume ethanol, jagung mempunyai efisiensi pemanfaatan yang paling tinggi, yaitu hanya 5 kilogram jagung per liter ethanol, dibandingkan dengan ubi kayu dan ubi

jalar yang masing-masing memerlukan 6,5 kilogram ubi kayu dan 8 kilogram ubi jalar. Berdasarkan asumsi bahwa semua produksi bahan baku tersebut dibuat ethanol, dan perkiraan luas tanaman bahan baku; ubi kayu mempunyai potensi produksi ethanol paling tinggi di antara ketiga bahan baku tersebut, yaitu lebih dari 2,3 juta kiloliter (KL). Potensi produksi ethanol dari ubi kayu tersebut adalah lebih dari 10 kali lipat potensi produksi ethanol dari ubi jalar, dan 1,32 kali lipat potensi produksi ethanol dari jagung. Ubi kayu tersebut juga merupakan tanaman yang mudah tumbuh dan tumbuh di seluruh Indonesia, sehingga sosialisasi budidaya penanaman ubi kayu diperkirakan tidak akan menjadi hambatan..

#### 4. PROSPEK PEMANFAATAN BIOFUEL DI INDONESIA

Biofuels yang terdiri atas Bio-diesel dan ethanol untuk bahan bakar pada sektor transportasi di Indonesia, prospeknya bukan saja ditentukan oleh berlimpahnya sumber bahan baku pembuatan bofuels, tetapi ditentukan pula oleh keekonomian kedua bahan bakar tersebut. Sementara itu, keekonomian dari biofuel bukan saja ditentukan oleh biaya produksi biofuel tersebut, tetapi juga ditentukan oleh harga minyak mentah dunia yang berpengaruh pada harga produknya seperti minyak solar (ADO) dan premium (*gasoline*). Secara sederhana, kelayakan ekonomi dari pemanfaatan biofuel bergantung pada selisih biaya pengadaan minyak dengan biofuel. Berdasarkan perkiraan Tim Perencanaan Energi BPPT (2005) yang memperkirakan kebutuhan energi jangka panjang dengan menggunakan model optimasi yang bernama Model MARKAL (*Market Allocation*), prospek pemanfaatan Bio-diesel dan ethanol pada harga minyak mentah \$40/barrel dan \$60/barrel di Indonesia adalah sebagai berikut.

##### 4.1. Harga Minyak Mentah \$40/barrel ( Kasus Dasar).

Dalam kasus dasar, harga minyak mentah dunia diasumsikan \$40/barrel, pada kasus ini hasil model memperkirakan kebutuhan energi pada sektor transportasi dari 2005 sampai 2025 sebagian besar masih tetap akan dipenuhi oleh sumber energi fosil yang meliputi minyak dan gas seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perkiraan Kebutuhan Energi Pada Sektor Transportasi di Indonesia 2005-2025. (Berdasarkan Harga Minyak Mentah \$40/Barrel)

Jenis B.Bakar	2015	2017	2019	2021	2023	2025
Minyak Solar	725.2	806.1	886.6	965.6	1046.8	1128.9
Premium	825.2	928.0	1030.0	1158.2	1301.9	1441.2
Avtur	123.5	143.8	165.0	190.0	219.6	250.6
Minyak Bakar	20.9	22.9	24.7	26.9	29.4	31.8
Gas Alam	45.8	49.8	53.7	53.4	54.9	56.3
Listrik	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
Total	1740.9	1950.7	2160.3	2394.2	2652.8	2909.2

Sumber: Tim Perencanaan Energi BPPT, Oktober 2005.

Pada tingkat harga minyak mentah (crude oil) \$40/barrel, Bio-diesel maupun Bio-ethanol diperkirakan tidak dapat bersaing secara ekonomi dengan sumber-sumber energi minyak pada sektor transportasi, sehingga hampir seluruh

kebutuhan energi pada sektor transportasi masih tetap dipenuhi oleh sumber energi minyak seperti minyak solar atau ADO (*Automotive Diesel Oil*), premium atau bensin (gasoline), avtur, dan minyak bakar atau FO (*Fuel Oil*). Selain itu pada kasus ini, gas alam juga dalam bentuk CNG (*Compressed Natural Gas*) adalah sumber energi fosil yang relatif bersih dari bahan pencemar, diperkirakan dipergunakan sejak tahun 2005 sebagai bahan bakar untuk kendaraan umum bus. Sementara itu listrik dalam jumlah yang relatif lebih terbatas diperkirakan dipergunakan sebagai bahan bakar kereta api listrik (KRL).

Dalam periode waktu 20 tahun yang akan datang, yaitu dari 2005 sampai dengan 2025 total kebutuhan energi pada sektor transportasi diperkirakan akan meningkat dengan pertumbuhan rata-rata sekitar 5 persen per tahun. Minyak solar dan premium adalah sumber-sumber energi yang paling dominan pada sektor transportasi juga meningkat dengan pertumbuhan rata-rata, masing-masing 4,43 persen/tahun dan 5,15 persen/tahun. Kebutuhan gas alam pada kasus dasar ini diperkirakan akan meningkat dengan pertumbuhan rata-rata 11 persen per tahun, sehingga kebutuhan gas alam akan meningkat dengan pesat dari 3,49 PJ pada tahun 2005 menjadi 56,30 PJ pada tahun 2025.

Meningkatnya perkiraan kebutuhan gas alam tersebut diperkirakan disebabkan oleh meningkatnya keinginan terciptanya penggunaan energi yang berwawasan lingkungan, karena gas alam relatif lebih bersih daripada minyak dalam emisi bahan-bahan pencemar. Kebutuhan listrik untuk sektor transportasi diperkirakan selama periode 20 tahun dapat dikatakan konstan, karena pengembangan penggunaan listrik sebagai bahan bakar sektor transportasi bergantung pada pengembangan jaringan rel kereta listrik yang umumnya hanya terdapat di kota besar saja. Namun sumber-sumber energi yang dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan energi pada sektor transportasi tersebut diperkirakan akan lain pada harga minyak mentah yang lebih tinggi.

#### 4.2. Harga Minyak Mentah \$60/barrel (Kasus Harga Minyak Tinggi).

Sebagai hasil perkiraan Model MARKAL, kenaikan harga minyak mentah sampai mencapai \$60/barrel diperkirakan akan berdampak pada terjadinya peningkatan daya saing sumber-sumber energi selain minyak (non minyak) seperti gas dan sumber energi terbarukan biofuels seperti Bio-diesel dan ethanol (Bio-ethanol) sebagai sumber energi pada sektor transportasi seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perkiraan Kebutuhan Energi Pada Sektor Transportasi di Indonesia 2005-2025. (Berdasarkan Harga Minyak Mentah \$60/Barrel)

Jenis B.Bakar	2015	2017	2019	2021	2023	2025
Minyak Solar	583.53	611.93	635.70	668.14	497.95	489.18
Premium	594.70	569.20	555.45	540.12	610.09	680.07
Avtur	123.48	143.82	165.05	189.96	219.63	250.56
Minyak Bakar	20.91	22.86	24.74	26.87	29.41	31.86
Gas Alam	384.06	485.71	557.53	534.16	598.45	609.84
Listrik	0.21	0.21	0.21	0.24	0.24	0.27
Bio-diesel	0.00	9.95	30.01	46.39	226.68	281.28
Bio-ethanol	59.55	140.60	230.60	425.76	515.17	613.34
Total	1766.44	1984.28	2199.29	2431.64	2697.62	2956.40

Sumber: Tim Perencanaan Energi BPPT, Oktober 2005.

Meningkatnya harga minyak mentah yang berakibat pada meningkatnya harga produk kilang atau BBM (Bahan bakar Minyak) bukan saja mengakibatkan meningkatnya jumlah jenis-jenis sumber energi yang dipergunakan, tetapi mengakibatkan juga meningkatnya total kebutuhan energi, karena disebabkan oleh semakin meningkatnya daya saing sumber-sumber energi non minyak seperti Bio-diesel, Bio-ethanol, dan gas. Pengaruh kenaikan harga minyak mentah terhadap kebutuhan sumber-sumber energi terbarukan dapat diuraikan sebagai berikut.

#### **4.2.1. Perkiraan Kebutuhan Bio-diesel.**

Pada kasus harga minyak tinggi (\$60/barrel), Bio-diesel sebagai sumber energi alternatif pengganti atau campuran minyak solar (ADO) diperkirakan akan layak secara ekonomis untuk dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan energi pada sektor transportasi mulai tahun 2017 dengan jumlah kebutuhan sekitar 10 PJ yang setara dengan 0,25 juta ton atau sekitar 0,22 juta kiloliter Bio-diesel. Potensi pemanfaatan Bio-diesel sebagai bahan bakar alternatif pengganti ataupun campuran minyak solar dapat dijabarkan sebagai pangsa pemanfaatan Bio-diesel terhadap penggunaan minyak solar pada sektor transportasi. Peluang pemanfaatan Bio-diesel terhadap penggunaan minyak solar atau ADO (*Automotive Diesel Oil*) pada sektor transportasi dimulai dari tahun 2017 sampai 2025 meningkat terus dari 2 persen hingga mencapai 57 persen dari total penggunaan minyak solar pada sektor tersebut. Pangsa penggunaan Bio-diesel tersebut setara dengan 0,50 persen menjadi hampir 10 persen dari total kebutuhan energi pada sektor transportasi tahun 2017 sampai dengan 2025.

Berdasarkan perbedaan kondisi sosial, ekonomi, dan potensi wilayah dalam penyediaan bahan baku CPO dari kelapa sawit, setiap wilayah mempunyai kelayakan ekonomi yang berbeda dalam pemanfaatan Bio-diesel. Kalimantan diperkirakan merupakan wilayah pertama sebagai lokasi pemanfaatan Bio-diesel pada tahun 2017 tersebut, disusul oleh Papua atau Irian Jaya yang mulai menggunakan Bio-diesel pada tahun 2022 sekitar 14 PJ yang setara dengan 0,35 juta ton atau 0,31 juta kiloliter Bio-diesel. Pada tahun 2025, kebutuhan Bio-diesel di Indonesia diperkirakan akan mencapai total lebih 281 PJ yang setara dengan 7 juta ton atau 6 juta kiloliter Bio-diesel. Sebagian besar dari Bio-diesel di Indonesia pada tahun 2025 tersebut dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan Bio-diesel di Papua, yaitu lebih dari 163 PJ yang setara dengan 4,13 juta ton atau 3,59 juta kiloliter Bio-diesel, sedangkan sisanya untuk memenuhi kebutuhan Bio-diesel di Kalimantan. Besarnya kebutuhan Bio-diesel di Kalimantan dan Papua tersebut diperkirakan karena besarnya potensi pengembangan lahan sebagai media tumbuh bahan baku kelapa sawit di kedua wilayah tersebut.

#### **4.2.2. Perkiraan Kebutuhan Bio-ethanol.**

Kenaikan harga minyak mentah, selain akan meningkatkan keekonomian Bio-diesel juga meningkatkan keekonomian ethanol (Bio-ethanol) sebagai sumber bahan bakar alternatif untuk sektor transportasi. Bahkan Bio-ethanol diperkirakan akan layak secara ekonomi lebih awal lagi sebagai pengganti atau campuran premium atau gasolin, yaitu pada tahun 2013 dengan perkiraan kebutuhan sekitar 10 PJ yang meningkat menjadi 15,60 PJ pada tahun 2014, dan 59,55 PJ pada tahun 2015, serta sekitar 613 PJ pada tahun 2025. Jumlah kebutuhan ethanol pada tahun-tahun 2013, 2014, 2015, dan 2025 tersebut setara secara



berturut-turut dengan 0,48 juta KL (kiloliter), 0,74 juta KL, 2,83 juta KL, dan 29,18 juta KL ethanol. Meningkatnya keekonomian ethanol pada tingkat harga minyak yang lebih tinggi tersebut, disebabkan oleh semakin kecilnya selisih antara biaya produksi ethanol dengan biaya produksi bahan bakar minyak.

Sementara itu potensi Bio-ethanol sebagai bahan bakar pengganti premium ditunjukkan dengan kenaikan pangsa kebutuhan Bio-ethanol terhadap kebutuhan premium pada sektor transportasi dalam waktu sekitar 20 tahun mendatang. Pada harga minyak mentah \$60/barrel tersebut, ethanol (Bio-ethanol) diperkirakan mempunyai potensi yang sangat besar dalam menggantikan premium untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada sektor transportasi. Oleh karena itu kebutuhan premium yang dapat dipenuhi oleh Bio-ethanol atau pangsa penggunaan ethanol terhadap penggunaan premium diperkirakan akan meningkat dari 1,65 persen pada tahun 2013, 2,52 persen pada tahun 2014, 10 persen pada tahun 2015 hingga mencapai 41,52 persen pada tahun 2019. Bahkan pada tahun 2020, potensi pemanfaatan Bio-ethanol terhadap premium tersebut atau pangsa Bio-ethanol tersebut mencapai lebih dari 71 persen, dan pada tahun 2025 mencapai sekitar 90 persen.

#### **4.2.3. Perkiraan Kebutuhan Energi Non-Minyak Lainnya.**

Pada kasus harga minyak mentah tinggi juga menunjukkan peningkatan penggunaan sumber energi fosil lainnya pada sektor transportasi, yaitu gas alam yang kebutuhannya meningkat beberapa kali lipat dibandingkan pemakaian gas alam pada tingkat harga minyak mentah \$40/barrel, yaitu hampir tiga kali lipat pada tahun 2005, dan hampir 11 kali lipat pada tahun 2025. Demikian juga total kebutuhan energi pada sektor transportasi pada kasus harga minyak mentah tinggi ini juga lebih besar dibandingkan dengan total kebutuhan energi pada tahun yang sama pada kasus dasar (harga minyak mentah \$40/barrel). Namun kebutuhan energi pada jenis-jenis energi produk minyak hasil kilang seperti kebutuhan minyak solar dan premium mengalami penurunan, karena masing-masing tergantikan oleh Bio-diesel dan Bio-ethanol. Dalam rangka merealisasikan pemanfaatan biofuels sebagai bahan bakar pada sektor transportasi, langkah-langkah antisipasi penyiapan bahan baku biofuels yang meliputi memperkirakan kebutuhan bahan baku dan kebutuhan lahan untuk produksi bahan baku perlu dipertimbangkan.

### **5. PERKIRAAN KEBUTUHAN LAHAN DAN KEBUTUHAN BAHAN BAKU BIOFUELS SEBAGAI SUMBER ENERGI PADA 2005 - 2025.**

Sebagai tantangan adanya perkiraan kebutuhan biofuels yang terdiri atas Bio-diesel dan ethanol untuk bahan bakar pada periode tahun 2005 sampai 2025, lahan sebagai media tumbuh bahan baku tanaman kedua sumber energi terbarukan tersebut perlu dipersiapkan sejak awal. Meskipun Indonesia mempunyai beberapa jenis tanaman yang dapat dipergunakan sebagai bahan baku Bio-diesel seperti kelapa sawit, jarak pagar, dan kedelai, namun berdasarkan kesiapan penyediaannya kelapa sawit diperkirakan mempunyai potensi yang paling besar. Sementara itu, pemanfaatan tanaman-tanaman lainnya diperkirakan masih terdapat kendala-kendala teknis dan non teknis yang masih perlu dipertimbangkan lebih lanjut.

### 5.1. Lahan untuk Bahan Baku Bio-diesel.

Berdasarkan asumsi bahwa bahan baku Bio-diesel yang akan dimanfaatkan adalah CPO (*Crude Palm Oil*) dari kelapa sawit, sedangkan CPO yang ada tersedia diperuntukkan untuk non-energi seperti minyak goreng dan sabun, sehingga agar tidak mengganggu suplai CPO untuk non-energi, diperlukan lahan kelapa sawit yang produksi CPOnya diperuntukkan untuk bahan baku Bio-diesel. Alasan pemilihan bahan baku kelapa sawit untuk Bio-diesel didasarkan pada kesiapan penyediaan bahan baku tersebut, yaitu kelapa sawit merupakan komoditas pertanian yang sudah dikenal dan sudah dibudidayakan secara luas, sehingga tidak memerlukan waktu yang lama untuk sosialisasi penanaman kelapa sawit. Selain itu, penggunaan CPO kelapa sawit untuk bahan baku Bio-diesel tersebut secara tidak langsung dapat juga berdampak pada pembukaan pasar CPO yang sebelumnya hanya digunakan untuk bahan baku industri non energi saja seperti minyak goreng dan sabun, sehingga penggunaan CPO untuk bahan baku Bio-diesel diharapkan dapat merangsang petani atau investor dalam budidaya kelapa sawit. Perkiraan kebutuhan lahan untuk penanaman kelapa sawit yang produksinya untuk memenuhi kebutuhan Bio-diesel dari tahun 2017 sampai tahun 2025 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan Lahan dan Produksi Kelapa Sawit untuk Memenuhi Kebutuhan Bio-diesel 2017 – 2025.

	Unit	2017	2019	2021	2023	2025
Bio-diesel	PJ	9.95	30.01	46.39	226.68	281.28
	Ton	251580	758786	1172946	5731479	7112010
	Kiloliter	218875	660144	1020463	4986387	6187449
Lahan K.Sawit	(Ha)	143171	431814	667506	3261699	4047338
CPO	(ton)	279183	842037	1301636	6360312	7892309

Catatan: 1 PJ= 25284 ton Bio-diesel; 1 ton = 0,87 kiloliter Bio-diesel  
 Rata-rata produksi CPO di Indonesia = 1,95 ton/ha; Rata-rata kebutuhan lahan kelapa sawit di Indonesia = 14389 Ha/PJ.

Pada harga minyak mentah \$60/barrel, Bio-diesel diperkirakan dapat bersaing secara ekonomi dengan sumber energi minyak pada sektor transportasi, sehingga pada tahun 2017 kebutuhan Bio-diesel diperkirakan mencapai 9,95 PJ yang setara dengan 0,25 juta ton atau 0,22 juta kiloliter yang meningkat terus berlipat ganda setiap tahun, hingga dalam delapan tahun kemudian, atau pada tahun 2025 mencapai lebih dari 28 kalinya atau 281,28 PJ yang setara dengan lebih dari 7 juta ton atau lebih 6 juta kiloliter Bio-diesel. Untuk memenuhi kebutuhan Bio-diesel pada periode waktu tersebut diperlukan bahan baku berbentuk CPO (*Crude Palm Oil*) dari kelapa sawit yang mencapai 0,28 juta ton pada tahun 2017 menjadi hampir 8 juta ton pada tahun 2025. Berdasarkan rata-rata produksi CPO di Indonesia, kebutuhan lahan untuk tanaman kelapa sawit penghasil CPO tersebut diperkirakan mencapai 0,14 juta hektar pada tahun 2017, dan lebih dari 4 juta hektar pada tahun 2025. Hasil produksi kelapa sawit dalam bentuk CPO pada suatu wilayah berbeda dengan produksi CPO di wilayah lainnya bergantung pada kondisi tanah dan iklim, serta pengelolaan tanaman di antara wilayah-wilayah tersebut.

Kebutuhan lahan untuk bahan baku Bio-diesel tersebut berbeda pada setiap wilayah bergantung pada rata-rata produksi CPO per hektar di wilayah-wilayah tersebut seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-rata Produksi CPO per Hektar Lahan dan Kebutuhan Lahan Kelapa Sawit untuk Memproduksi setiap Unit Energi Menurut Wilayah.

Wilayah	Produksi CPO (ton/Ha)	Kebutuhan Lahan (Ha/PJ)
Sumatra	2,26	12453
Jawa	1,66	16888
Kalimantan	0,96	29319
Sulawesi	1,62	17323
Papua (Irian Jaya)	1,45	19438
Indonesia	1,95	14389

Sumber: Statistik Perkebunan, Kelapa Sawit 2000, 2001, 2002, 2003, dan 2004. Direktorat Jenderal Bina Produksi Perkebunan.

Catatan: 1 PJ = 25284 ton Bio-diesel

Sumatra mempunyai hasil produksi CPO per hektar yang paling tinggi, sedangkan Kalimantan mempunyai hasil produksi per hektar yang paling rendah di antara wilayah-wilayah lainnya di Indonesia. Berdasarkan asumsi bahwa setiap ton bahan baku CPO dapat menghasilkan 0,9 ton Bio-diesel (Wirawan, S.S, 2004), wilayah yang mempunyai tingkat produksi CPO kelapa sawit per hektar yang paling rendah, untuk memperoleh jumlah Bio-diesel yang sama akan memerlukan lahan kelapa sawit yang paling besar atau luas. Sebagai contoh, untuk memperoleh produksi satu unit energi Bio-diesel yang sama, kebutuhan lahan untuk bahan baku di Kalimantan dua kali lipat lebih besar daripada di Sumatra dan satu setengah lebih besar daripada di Papua atau Irian Jaya.

## 5.2. Lahan untuk Bahan Baku Ethanol.

Bahan baku ethanol (Bio-ethanol) untuk bahan bakar pengganti atau campuran premium yang dipergunakan dalam perkiraan adalah singkong atau ubi kayu. Namun untuk mengetahui perkiraan kebutuhan lahan untuk memenuhi kebutuhan ethanol dengan berbagai bahan baku, kebutuhan lahan untuk bahan baku ethanol jenis tanaman lainnya, yaitu jagung dan ubi jalar juga perlu dipertimbangkan. Ketiga jenis bahan baku ethanol tersebut merupakan tanaman yang terdapat hampir di seluruh Indonesia, sehingga sosialisasi budidaya ketiga jenis bahan baku ethanol tersebut diperkirakan relatif tidak akan menemukan kendala yang berarti. Perkiraan kebutuhan lahan dan bahan baku pembuatan ethanol dari ubi kayu, ubi jalar, dan jagung dapat dilihat pada Tabel 7.

Pada kasus harga minyak tinggi, Bio-ethanol sebagai sumber energi alternatif pengganti atau campuran bensin (premium) diperkirakan akan layak secara ekonomi mulai tahun 2013 dengan kebutuhan sebesar hampir 10 PJ yang setara dengan 0,47 juta kiloliter (KL) ethanol. Sementara itu kebutuhan bahan baku dan lahan untuk memenuhi kebutuhan Bio-ethanol tersebut berbeda menurut jenis bahan baku. Bahan baku ubi kayu diperkirakan lebih efisien dalam penggunaan lahan, karena mempunyai rata-rata produktifitas per hektar paling tinggi di Indonesia, yaitu 12,60 ton/hektar, diikuti produktifitas ubi jalar dan jagung, masing-masing 9,74 ton/hektar dan 2,79 ton/hektar.

Tabel 7. Perkiraan Kebutuhan Lahan dan Bahan Baku untuk Bio-ethanol dalam Memenuhi Kebutuhan Energi pada Sektor Transportasi

Tahun	Bio-ethanol		Ubi Kayu		Ubi Jalar		Jagung	
	Energi (PJ)	Volume (KL)	Lahan (Ha)	Produksi (ton)	Lahan (Ha)	Produksi (ton)	Lahan (Ha)	Produksi (ton)
2013	9.99	475314	163901	2261840	115930	1147710	108026	313275
2014	15.60	742232	255942	3532002	181032	1792220	168689	489199
2015	59.55	2833329	977010	13482740	691056	6841454	643939	1867422
2016	80.90	3849141	1327290	18316602	938815	9294268	874805	2536934
2017	140.60	6689607	2306761	31833304	1631612	16152954	1520365	4409059
2018	179.90	8131251	2803880	38693540	1983232	19633997	1848012	5359234
2019	230.60	10971717	3783351	52210241	2676029	26492683	2493572	7231359
2020	359.55	17107029	5898976	81405864	4172446	41307217	3887961	11275088
2021	425.76	20257235	6985253	96396498	4940789	48913811	4603917	13351359
2022	470.85	22402572	7725025	106605343	5464042	54094016	5091494	14765332
2023	515.17	24511273	8452163	116639853	5978359	59185758	5570744	16155157
2024	559.30	26610935	9176184	126631344	6490472	64255672	6047940	17539025
2025	613.34	29182104	10062794	138866563	7117586	70464104	6632296	19233659

Sumber: Diolah berdasarkan BPS (2004) dan BBTP-BPPT (2005).

Catatan: Nilai kalor ethanol 0,000021 PJ/kiloliter ethanol.

Untuk memperoleh 1 kiloliter ethanol diperlukan 6,5 ton ubi kayu, atau 8 ton ubi jalar, atau 5 ton jagung.

Bila pembuatan ethanol untuk memenuhi kebutuhan tersebut dipergunakan ubi kayu, pada tahun 2013 perlu dipersiapkan sekitar 0,16 juta hektar lahan untuk memproduksi lebih dari 2 juta ton ubi kayu sebagai bahan baku. Namun bila dipergunakan bahan baku ubi jalar, kebutuhan lahan untuk memenuhi kebutuhan ethanol tersebut mencapai sekitar 0,12 juta hektar yang diperkirakan dapat memproduksi sekitar lebih dari sejuta ton ubi jalar. Sementara itu penggunaan jagung bahan baku, kebutuhan lahan tersebut lebih kecil lagi, yaitu hampir 0,11 juta hektar dengan jumlah bahan baku mencapai 0,31 juta ton.

Kebutuhan ethanol tersebut diperkirakan akan meningkat terus, sehingga pada tahun 2025 kebutuhan tersebut mencapai sekitar 613 PJ yang setara dengan lebih dari 29 juta kiloliter ethanol. Sebagai akibatnya kebutuhan lahan maupun bahan baku untuk penyediaan ethanol tersebut diperkirakan akan mencapai 61 kali lipat dari kebutuhan lahan maupun produksi bahan baku pada tahun 2013, yaitu mencapai hampir 139 juta ton ubi kayu, atau 70 juta ton ubi jalar, atau lebih dari 19 juta ton jagung. Lahan tersebut diperkirakan untuk memproduksi 10 juta hektar lahan ubi kayu, atau lebih dari 7 juta hektar lahan ubi jalar, atau 6,67 juta hektar lahan jagung. Kebutuhan lahan dan produksi bahan baku tersebut didasarkan pada asumsi rata-rata produksi per hektar, dan

Sementara itu perkiraan kebutuhan lahan dan produksi bahan baku ethanol dari 2013 sampai dengan 2025 tersebut didasarkan pada rata-rata hasil produksi per hektar tanaman bahan baku, rata-rata kebutuhan bahan baku untuk memproduksi satu unit volume ethanol, serta potensi produksi ethanol dari setiap hektar lahan bahan baku di Indonesia yang disederhanakan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kebutuhan Bahan Baku dan Lahan untuk Ethanol Menurut Wilayah.

Wilayah	Ubi Kayu			Ubi Jalar			Jagung		
	Produksi (ton/Ha) *	Ethanol (liter/Ha)	Lahan (Ha/PJ)	Produksi (ton/Ha)	Ethanol (liter/Ha)	Lahan (Ha/PJ)	Produksi (ton/Ha)	Ethanol (liter/Ha)	Lahan (Ha/PJ)
Sumatera	11.48	1766	26962	9.12	1140	41771	2.83	567	84020
Jawa	13.84	2129	22364	10.98	1373	34695	2.98	596	79866
Kalimantan	12.14	1868	25496	8.00	1000	47619	1.72	344	138299
Sulawesi	11.26	1732	27489	8.44	1055	45137	2.50	500	95284
Maluku dan Papua	11.34	1745	27295	9.22	1153	41318	1.49	298	160053
<b>Total Indonesia</b>	<b>12.60</b>	<b>1938</b>	<b>24565</b>	<b>9.74</b>	<b>1218</b>	<b>39112</b>	<b>2.79</b>	<b>559</b>	<b>85223</b>

Sumber: BPS (2000, 2001, 2002, 2003, & 2004) & BBTP-BPPT (2005).

\* Rata-rata produksi tahun 2000, 2001, 2002, 2003, dan 2004.

Kebutuhan lahan untuk bahan baku ethanol selain bergantung pada jenis tanaman bahan baku juga bergantung pada produktifitas per hektar serta kebutuhan jumlah bahan baku per liter produksi ethanol. Ubi kayu atau singkong diperkirakan merupakan bahan baku yang paling produktif dalam produksi bahan baku maupun produksi ethanol. Efisiennya kebutuhan bahan baku ubi kayu tersebut menyebabkan tingginya rata-rata produktifitas ethanol berbahan baku ubi kayu, yaitu 1,94 kiloliter ethanol per hektar ubi kayu, dibandingkan bahan baku ubi jalar dan jagung, yaitu 1,22 kiloliter ethanol per hektar ubi jalar, dan 0,56 kiloliter ethanol per hektar jagung. Selain itu, ubi kayu juga merupakan bahan baku yang paling efisien dalam penggunaan lahan untuk memproduksi setiap unit produksi ethanol, yaitu rata-rata kebutuhan lahan ubi kayu untuk memproduksi setiap PJ (Peta Joule) ethanol adalah sekitar 62 persen dari kebutuhan lahan ubi jalar, dan sekitar 29 persen kebutuhan lahan jagung. Oleh karena itu berdasarkan efisiensi produktifitas dan kebutuhan lahan, ubi kayu dapat menjadi pilihan yang paling potensial sebagai sumber bahan baku pembuatan ethanol di Indonesia.

## 6. KESIMPULAN.

1. Biofuels, baik dalam bentuk Bio-diesel maupun Bio-ethanol (ethanol) yang dibuat dari biomasa atau bahan hayati, sejak abad 19 sudah dipergunakan sebagai bahan bakar mesin kendaraan, namun sejak ditemukan dan dikembangkannya minyak yang berasal dari fosil, pemanfaatan biofuels sebagai bahan bakar mesin kendaraan terabaikan karena tidak dapat bersaing secara ekonomi dengan bahan bakar fosil yang lebih murah.
2. Biofuels dipromosikan kembali, selain disebabkan oleh semakin meningkatnya harga minyak dunia, ketersediaan bahan baku biofuels yaitu biomasa seperti kelapa sawit, kedelai, ubi kayu (singkong), ubi jalar, dan jagung yang banyak tersedia di Indonesia, serta makin menipisnya cadangan minyak bumi Indonesia.
3. Penggunaan biofuels selain dapat mengurangi penggunaan BBM, sekaligus mengurangi import minyak yang berakibat terhadap penghematan devisa, juga dapat berdampak terhadap pengurangan emisi bahan pencemar

(polutant) dan emisi gas rumah kaca, serta bahan pencemar lain. Dampak lain dari penggunaan biofuels adalah penciptaan lapangan kerja bagi masyarakat pedesaan.

4. Berdasarkan ketersediaan dan efisiensi biaya bahan baku Bio-diesel, kelapa sawit diperkirakan merupakan bahan baku Bio-diesel yang paling potensial di Indonesia. Terpusatnya perkebunan kelapa sawit dalam blok-blok lahan perkebunan yang luas diperkirakan dapat meningkatkan efisiensi biaya pengumpulan dan transportasi bahan baku dari lokasi perkebunan ke pabrik Bio-diesel, dibandingkan lahan yang tersebar dalam unit luas area yang lebih kecil. Sementara itu, berdasarkan efisiensi lahan dan produksi ethanol (Bio-ethanol), ubi kayu merupakan bahan baku yang paling potensial, karena dengan lahan yang paling minimum mampu memproduksi ethanol dalam jumlah besar.
5. Besarnya potensi kelapa sawit untuk bahan baku Bio-diesel, serta potensi ubi kayu untuk bahan baku ethanol merupakan peluang pasar bagi kedua komoditi tersebut, sekaligus tantangan karena peruntukkan kedua komoditi pertanian tersebut untuk makanan atau keperluan non energi.
6. Pembukaan lahan baru untuk bahan baku biofuel merupakan alternatif, karena memerlukan waktu, biaya serta penyediaan lahan yang pada umumnya adalah pembukaan hutan, sehingga pelaksanaan pengembangan biofuels sebagai sumber energi alternatif pengganti minyak perlu mempertimbangkan semua aspek terkait antara lain pertanian, industri, tenaga kerja, dan finansial secara terpadu.
7. Berdasarkan hasil Model MARKAL, kenaikan harga minyak mentah dunia hingga mencapai 60\$/barrel, diperkirakan akan mendorong prospek pemanfaatan biofuels, sebagai berikut.
  - Bio-diesel akan layak secara ekonomi mulai tahun 2017 dengan kebutuhan sebesar 9,95 PJ yang diperkirakan setara dengan 0,22 juta kiloliter Bio-diesel. Kebutuhan Bio-diesel tersebut meningkat terus hingga pada tahun 2025 mencapai 281 PJ yang setara dengan 6,19 juta kiloliter Bio-diesel.
  - Bio-ethanol (ethanol) akan layak secara ekonomi mulai tahun 2013 dengan kebutuhan sebesar hampir 10 PJ yang diperkirakan setara dengan 0,47 juta kiloliter ethanol. Kebutuhan Bio-ethanol tersebut meningkat terus hingga pada tahun 2025 mencapai 613 PJ yang setara dengan 29 juta kiloliter ethanol.
8. Kebutuhan biofuels pada tingkat harga minyak mentah 60\$/barrel tersebut, berakibat pada timbulnya tantangan untuk penyediaan lahan tanaman bahan baku biofuels sebagai berikut.
  - Kebutuhan Bio-diesel pada tahun 2017 sebesar 9,95 PJ, diperkirakan membutuhkan lahan sebesar 0,14 juta hektar kelapa sawit untuk menyediakan sebesar 0,28 juta ton CPO (*Crude Palm Oil*) sebagai bahan baku Bio-diesel.
  - Kebutuhan Bio-ethanol atau ethanol pada tahun 2013 sebesar 10 PJ, diperkirakan memerlukan lahan sebesar 0,16 juta hektar ubi kayu untuk menyediakan 2,3 juta ton ubi kayu sebagai bahan baku ethanol.

## Daftar Pustaka

1. Associated Press. 30 Aug. 2004. *Brazil buys into flex-fuel cars. They run on gas, ethanol or any combination*. MSNNBC.
2. Balai Besar Teknologi Pati BPPT. (2005). *Kelayakan Tekno Ekonomi Bio-ethanol sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*. Seminar Launching Gasohol BE-10. Jakarta 27 Januari 2005.
3. Columbia University Press. (2004). *Encyclopedia. Bio-diesel*.
4. Darnoko, et al. (2001). *Penggunaan Bio-diesel Sawit sebagai Bahan Bakar Alternatif*. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Diskusi Meja Bundar Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca dan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim pada Sektor Energi. Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. 12 April 2001.
5. Direktorat Jenderal Bina Produksi Perkebunan. (2000, 2001, 2002, 2003, 2004). *Statistik Perkebunan. Kelapa Sawit 2000, 2001, 2002, 2003, & 2004*.
6. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas. (2000, 2001, 2002, 2003, 2004). *Statistik Perminyakan Indonesia 2000, 2001, 2002, 2003, & 2004*.
7. Ethanol Info. 9/6/2004. *Flexible Fuel Vehicles (FFV)*. <http://www.renewableenergypartners.org/ethanol.html>
8. Macedo, I.C. (2004). *Chapter 10 Converting Biomass to Liquid Fuels: Making Ethanol from Sugar Cane in Brazil*. Energy as an Instrument for Socio-Economic Development. UNDP-EAP.
9. Morgan, D. 2005. *Brazil Biofuel strategy pays off as gas price. Oil substitutes include sugar cane, corn, soybeans, beets, cornstalls*. The Washington Post. MSNNBC.
10. Santos, A.S. et al. (2000). *Addition of Oxygenated Compound to Gasoline and the Proalcool Experience*. Economy Energy No.19. April/May 2000.
11. Sudradjat, HR. Prof. Dr. (2006). *Waspada secara Serius: Keasaman Bio-diesel dari Minyak Jarak Pagar bisa Merusak Seluruh Mesin di Indonesia*. Pusat Litbang, Hasil Hutan. Bogor.
12. Theil, S. (2005). *The Next Petroleum with Oil Prices Going through the Roof, so called Biofuel are at last becoming a viable alternative to gasoline and Diesel*. Newsweek International.
13. Tim Perencanaan Energi BPPT. (2005). *Hasil Run Model MARKAL*. Oktober 2005.