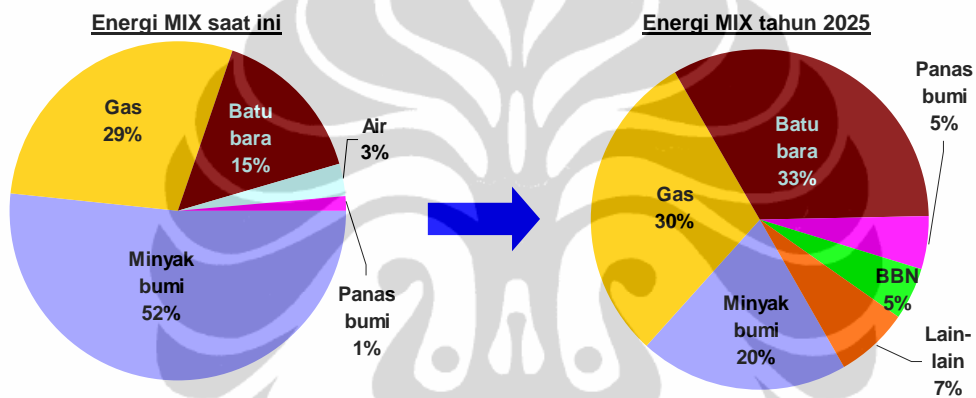


BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 STRATEGI ENERGI

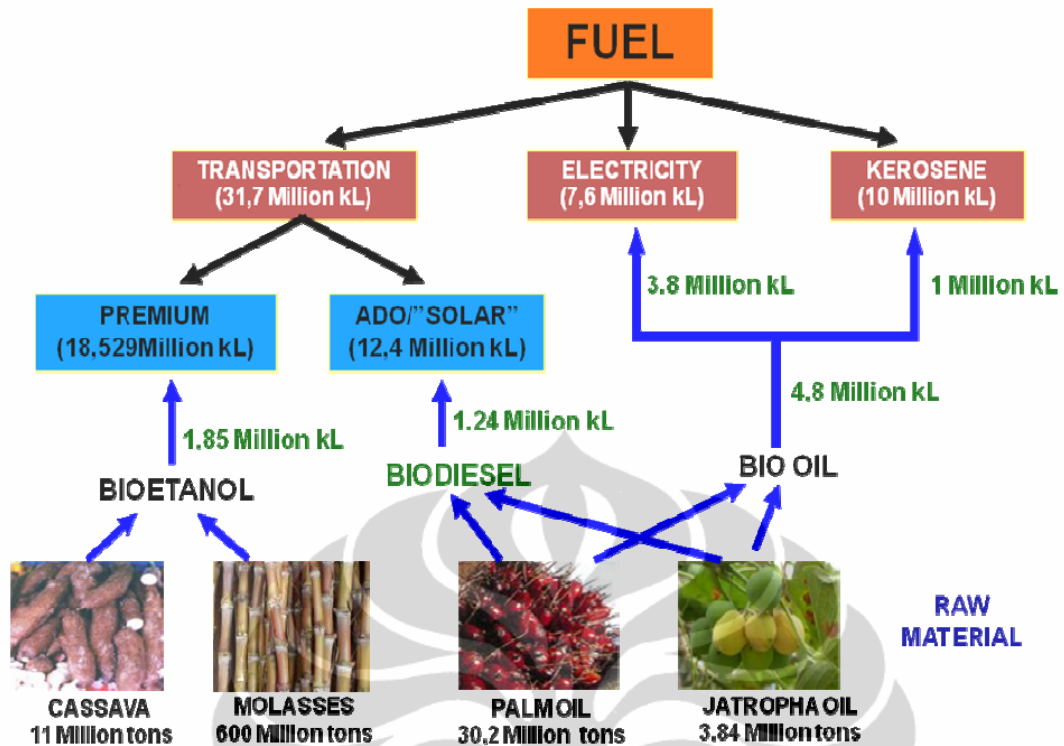
2.1.1 Kebijakan Energi Nasional

Secara umum, porsi minyak bumi **Error! Reference source not found.** dari total pemenuhan energi nasional dengan melibatkan sumber-sumber energi lainnya masih sekitar 52%; suatu jumlah yang masih sangat tinggi.



Gambar 2.1 Target Komposisi Energi MIX tahun 2025

Dengan memperhatikan kondisi Energi Nasional saat ini, maka diperlukan suatu upaya untuk mencari sumber-sumber minyak bumi baru atau memperbesar porsi pemakaian sumber energi lain atau mencari alternatif pengganti minyak bumi. Untuk mengantisipasi permasalahan energi nasional, melalui Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional telah ditetapkan beberapa sasaran kondisi energi nasional yang harus dipenuhi pada tahun 2025 seperti terlihat pada Gambar. 2.1. Pada gambar tersebut diperlihatkan bahwa porsi minyak bumi pada tahun 2025 harus dipangkas menjadi kurang dari 20% sementara porsi sumber energi lain diperbesar menjadi seperti nilai minimal yang tertera dalam gambar tersebut. Menarik untuk disimak dari target Energi Mix 2025 adalah munculnya energi baru dan terbarukan dalam porsi yang relatif signifikan seperti bahan bakar nabati (BBN) di mana biodiesel termasuk di dalamnya.



Gambar 2.2 Kontribusi BBN sebagai substitusi BBM 2010

Tabel 2.1 Roadmap Pengembangan Biofuel

Tahun	2005-2010	211-2015	2016-2025
Biodiesel	Pemanfaatan biodiesel sebesar 10 % konsumsi solar 2,41 juta kilo liter	Pemanfaatan biodiesel sebesar 15% konsumsi solar 4,52 juta kilo liter	Pemanfaatan biodiesel sebesar 20 % konsumsi solar 10,22 juta kilo liter
Standard Buofuel Nasional			
Bioethanol	Pemanfaatan bioetanol sebesar 5 % konsumsi premium 1,48 juta kilo liter	Pemanfaatan bioetanol sebesar 10% konsumsi premium 2,78 juta kilo liter	Pemanfaatan bioetanol sebesar 15 % konsumsi premium 6,28 juta kilo liter
Biooil	Pemanfaatan biokerosin 1 juta kilo liter	Pemanfaatan biokerosin 1,8 juta kilo liter	Pemanfaatan biokerosin 4, 07 juta kilo liter
PPO untuk pembangkit listrik	Pemanfaatan PPO 0,4 juta kilo liter	Pemanfaatan PPO 0,74 juta kilo liter	Pemanfaatan PPO 1,69 juta kilo liter
Biofuel	Pemanfaatan biofuel sebesar 2 % energi mix 5,29 juta kilo liter	Pemanfaatan biofuel sebesar 2 % energi mix 9,84 juta kilo liter	Pemanfaatan biofuel sebesar 2 % energi mix 22,26 juta kilo liter

(sumber : ESDM, 2005)

Tabel 2.2 Pentahapan Kewajiban Minimal Pemanfaatan Biodiesel

	Industri & Komersial	Transportasi Bersubsidi	Transportasi Non Subsidi	Pembangkit Listrik
2008	2,5 %	1 %		0,1 %
2009	2,5 %	1 %	1 %	0,25 %
2010	5 %	2,5 %	3 %	1 %
2015	10 %	5 %	7 %	10 %
2020	15 %	10 %	10 %	15 %
2025	20 %	20 %	20 %	20 %

(sumber : PerMen ESDM No.32, 2008)

Tabel 2.3 Kapasitas Biodiesel

NO	Industri Biodiesel	Lokasi	2008	2009
1.	Enterindo Group	Jakarta & Gresik	120,000	240,000
2.	Indobiofuel Energy	Merak	60,000	160,000
3.	Musimas	Medan	50,000	350,000
4.	Sumiasih	Bekasi & Lampung	100,000	200,000
5.	Wilmar	Dumai	700,000	1,050,000
6.	Permata Hijau	Duri	200,000	200,000
7.	Ganesha	Medan	3,000	10,000
8.	Multi Kimia I.P.	Bekasi	5,000	10,000
9.	Energy Altern Ind.	Jakarta	300	1,000
10.	Darmex Biofuel	Bekasi	150,000	150,000
11.	Asian Agri	Dumai	200,000	200,000
Total kapasitas (Juta Ton/ Tahun)			1,588,300	2,521,000

(sumber : Kadin, 2009)

2.2 INDUSTRI KELAPA SAWIT

2.2.1. Tanaman Kelapa Sawit

Dalam dunia botani, semua tumbuhan diklasifikasikan untuk memudahkan klasifikasi secara ilmiah. Tanaman kelapa sawit diklasifikasikan sebagai berikut,

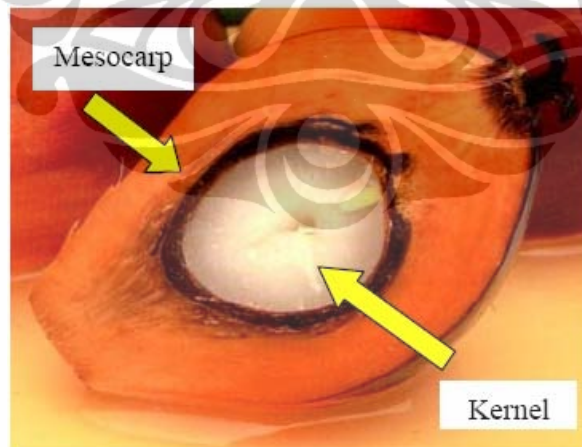
Divisi	: Embryophyta Siphonagama
Kelas	: Angiospermae
Ordo	: Monocotyledonae
Famili	: Arecaceae (Palmae)

- Subfamili : Coccoideae
 Genus : Elaeis
 Spesies : 1. E. guineensis Jacq.
 2. E. oleifera (H.B.K.) Cortes
 3. E. odora

Buah sawit mempunyai warna bervariasi dari hitam, ungu, hingga merah tergantung bibit yang digunakan. Buah bergerombol dalam tandan yang muncul dari tiap pelepah. Minyak dihasilkan oleh buah sawit. Kandungan minyak bertambah sesuai kematangan buah. Setelah melewati fase matang, kandungan asam lemak bebas (FFA, free fatty acid) akan meningkat dan buah akan rontok dengan sendirinya. Buah terdiri dari tiga lapisan:

- Eksoskarp, bagian kulit buah berwarna kemerahan dan licin
- Mesoskarp, serabut buah
- Endoskarp, cangkang pelindung inti

Inti sawit (kernel, yang sebetulnya adalah biji) merupakan endosperma dan embrio dengan kandungan minyak inti berkualitas tinggi (Pahan, 2008).



Gambar 2.3 Buah Kelapa Sawit.

(sumber: Profil Kelapa Sawit BP3, Departemen Pertanian, 2006)

Selektif dalam memilih bahan tanaman menjadi dasar penentuan nilai komersial perkebunan dan menentukan tingkat produktivitas dari balai benih yang telah bersertifikasi dan dijamin kemurnian benihnya.

Benih / jenis sawit yang dipakai adalah jenis varietas Tenera. Benih asli yang dihasilkan dari perkawinan varietas Dura, sebagai pohon induk menggunakan serbuk sari varietas Pisifera. Perkawinan ini menghasilkan tanaman varietas Tenera yang memiliki potensi produksi tinggi. Namun, buah dari varietas Tenera tidak dianjurkan untuk dijadikan bibit. Secara visual benih asli tidak dapat dibedakan dengan benih palsu. Diharuskan menggunakan benih asli. Ada beberapa macam persilangan varietas Dura x Pisifera yang dihasilkan dari sumber benih, tetapi umumnya potensinya tidak berbeda jauh.

Berikut ini ciri-ciri dari buah varietas Dura, Pisifera, dan Tenera.

Tabel 2.4 Ciri-Ciri Buah Dura, Pisifera, Dan Tenera

Komponen	Dura	Pisifera	Tenera
Ketebalan cangkang (mm)	2-5 mm	Tidak ada	1-2,5mm
% cangkang/buah	20-50%	Tidak ada	3-20%
%mesocarp/buah	20-65%	92-97%	60-90%
% inti/buah	4-20%	3-8%	3-15%
Kadar minyak	Rendah	Tinggi	Sedang

2.2.2. Perkebunan Kelapa Sawit

Kelapa sawit tumbuh dengan baik pada dataran rendah di daerah tropis yang beriklim basah, yaitu sepanjang garis khatulistiwa antara 23,5° lintang utara sampai 23,5° lintang selatan. Adapun persyaratan untuk tumbuh pada tanaman kelapa sawit sebagai berikut:

- Curah hujan ≥ 2.000 mm/tahun dan merata sepanjang tahun dengan periode bulan kering (< 100 mm/bulan) tidak lebih dari 3 bulan.
- Temperatur siang hari rata-rata 29-33 °C dan malam hari 22-24 °C.
- Ketinggian tempat dari permukaan laut < 500 m.
- Matahari bersinar sepanjang tahun, minimal 5 jam per hari.

Persebaran perkebunan kelapa sawit di dunia berada pada Afrika, Amerika Tengah, Amerika Selatan, Asia Tenggara dan Pasifik Selatan. Malaysia dan Indonesia merupakan dua negara utama produsen minyak sawit yang menguasai sekitar 85% pangsa pasar dunia.

Tabel 2.5 Luas Areal Dan Produksi Perkebunan Seluruh Indonesia Menurut Provinsi Dan Status Pengusaha.

Jenis Tanaman : Kelapa Sawit / Oil Palm
 Tahun : 2010 **)

No.	Provinsi	Perkebunan Rakyat				Perkebunan Negara		Perkebunan Swasta		Jumlah Total	
		Luas (Ha)	Produksi (Ton)	Jumlah Petani (KK)	Rerata Kepemilikan (Ha)	Luas (Ha)	Produksi (Ton)	Luas (Ha)	Produksi (Ton)	Luas (Ha)	Produksi (Ton)
1	Sumatera	2.662.432	6.685.597	1.353.641	2	497.181	1.768.427	2.199.257	7.125.756	5.358.870	15.579.780
2	Jawa	6.866	11.564	4.845	2	14.576	24.211	3.289	12.156	24.731	47.931
3	Nusa Tenggara	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Kalimantan	499.470	787.443	249.841	2	61.367	188.865	1.586.972	2.487.345	2.147.809	3.463.653
5	Sulawesi	117.618	229.123	46.106	1	20.744	43.324	91.028	341.787	229.390	614.234
6	Maluku +	28.277	60.309	20.770	1	22.707	65.081	12.839	13.912	63.823	139.302
	Indonesia	3.314.663	7.774.036	1.675.203	2	616.575	2.089.908	3.893.385	9.980.956	7.824.623	19.844.900

Keterangan :

1. Angka Estimasi **)
2. Ujud Produksi : Minyak Sawit / CPO

Direktorat Jenderal Perkebunan

Tabel 2.6 Luas Areal dan Produksi Perkebunan Seluruh Indonesia

Jenis Tanaman : Kelapa Sawit / Oil Palm

Jenis Produksi : Minyak Sawit / Crude Palm Oil (CPO)

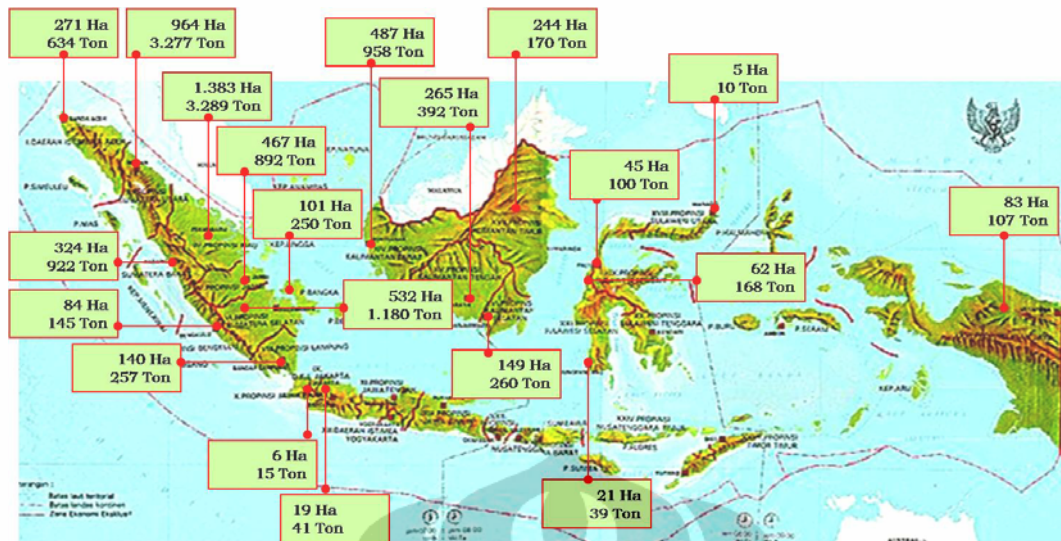
Tahun	Luas Area (Ha)	Produksi Minyak Sawit (Ton)	Produksi Inti Sawit (Ton)
	Jumlah/	Jumlah/	Jumlah/
1990	1.126.677	2.412.612	503.803
1991	1.310.996	2.657.600	551.345
1992	1.467.470	3.266.250	659.274
1993	1.613.187	3.421.449	602.229
1994	1.804.149	4.008.062	796.537
1995	2.024.986	4.479.670	616.163
1996	2.249.514	4.898.658	1.084.676
1997	2.922.296	5.448.508	1.095.273
1998	3.560.196	5.930.415	1.186.083
1999	3.901.802	6.455.590	1.291.118
2000	4.158.077	7.000.508	1.400.102
2001	4.713.435	8.396.472	1.675.676
2002	29.167.058	9.622.345	1.831.069
2003	5.283.557	10.440.834	2.104.722
2004	5.284.723	10.830.389	2.267.271
2005	5.453.817	11.861.615	2.474.532
2006	6.594.914	17.350.848	3.470.170
2007	6.766.836	17.664.725	3.532.945
2008	7.363.847	17.539.788	3.507.957
2009 *)	7.508.023	18.640.881	3.728.177
2010 **)	7.824.623	19.844.901	3.968.980

Keterangan :

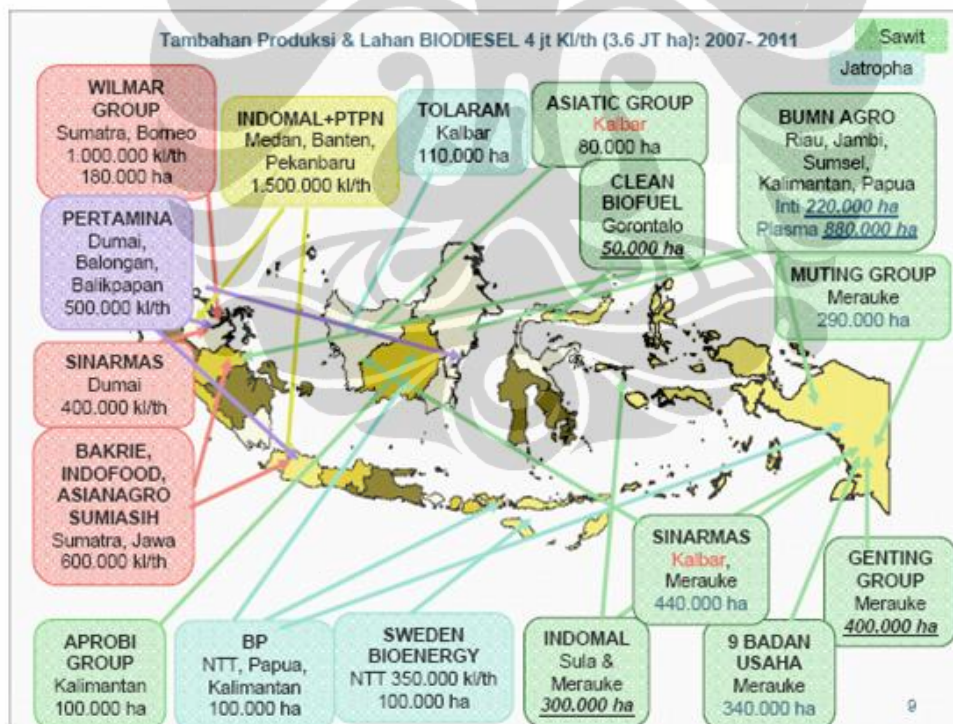
*) Sementara

**) Estimasi

Direktorat Jenderal Perkebunan



Gambar 2.4 Penyebaran Lahan dan Produksi Kelapa Sawit di Indonesia (sumber: Depperin, 2007)



Gambar 2.5 Luas Lahan Sawit dan Produksi Biodiesel di Indonesia (sumber: Kadin, 2009)

Kelapa sawit merupakan tanaman tahunan yang memiliki periode pertumbuhan vegetatif pada awal pertumbuhan. Periode ini dikenal dengan tanaman belum menghasilkan (TBM). Selama periode TBM, biaya yang dikeluarkan tanaman bersifat investasi jangka panjang. Biaya investasi tersebut memerlukan waktu pengembalian yang cukup lama, umumnya, mencapai titik impas pada tahun ke-9 sejak tanam. Hal tersebut diasumsikan dengan jangka waktu mulai menghasilkan TBS sekitar 30-36 bulan sejak tanam di lapangan dengan produksi per satuan luasnya sesuai dengan standar rata-rata nasional yang biasanya mengacu pada standar PPKS Medan. Adanya sifat usaha jangka panjang membutuhkan akumulasi modal dan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan usaha tanaman semusim, mengisyaratkan usaha perkebunan kelapa sawit ini harus dikelola dalam skala usaha yang memenuhi tingkat skala ekonomi. Skala ekonomi perkebunan kelapa sawit minimal seluas 6.000 ha. (Pahan, 2008)

TBS mempunyai kandungan asam lemak bebas (ALB/FFA) sekitar 2% pada saat dipanen dan akan terus meningkat sejalan dengan bertambahnya waktu. Kadar ALB yang tinggi dalam minyak kelapa sawit (MKS) akan menurunkan kualitas MKS dan berdampak pada penurunan harga jualnya. Batasan kadar ALB yang dapat diterima untuk standar ekspor yaitu maksimal 5%. Sifat TBS yang tidak tahan disimpan di lapangan lebih dari 24 jam menyebabkan pengangkutan TBS yang telah dipanen harus dilakukan pada hari itu juga. Oleh karenanya, untuk mendapatkan mutu MKS yang baik, setiap perkebunan harus memiliki pabrik pengolahan sendiri di dalam kebun sehingga TBS dapat segera diangkut dan diolah. (Pahan, 2008)

2.2.2.1 Kriteria Lahan Perkebunan Kelapa Sawit

Lahan perkebunan kelapa sawit yang optimal harus mengacu pada 3 faktor, yaitu lingkungan, sifat fisik lahan, dan sifat kimia tanah atau kesuburan tanah. Kriteria keadaan tanah untuk perusahaan kelapa sawit disajikan pada tabel pada halaman berikut :

Tabel 2.7 Sifat Fisik Tanah Untuk Tanaman Kelapa Sawit

Sifat Tanah	Baik	Sedang	Kurang
Lereng (derajat)	< 12	12-23	> 23
Kedalaman tanah (cm)	> 7,5	37,5-75	< 37,5
Ketinggian air tanah (cm)	> 7,5	37,5-75	< 37,5
Tekstur	Lempung	Berpasir	Pasir
Struktur	Kuat	Sedang	Lemah (masif)
Konsistensi	Gembur	Teguh	Sangat teguh

(sumber : publikasi PPKS, LPP, 2009)

Setiap berkurangnya kriteria baik pada lahan yang akan dibuka berarti lebih banyak input modal yang harus diberikan ke dalam sistem perkebunan tersebut. Klasifikasi wilayah untuk pengusahaan kelapa sawit yang mengacu pada tabel di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

- kelas I (baik) : wilayah dengan tanah yang mempunyai kriteria “baik” secara keseluruhan
- kelas II (cukup baik) : wilayah dengan tanah yang mempunyai kriteria “baik” dan ≤ 2 kriteria “kurang baik”
- kelas III (kurang baik) : wilayah dengan tanah yang mempunyai kriteria “baik”, 2 – 3 kriteria “kurang baik”, dan 1 kriteria “tidak baik”
- kelas IV (tidak baik) : wilayah dengan tanah yang mempunyai > 2 kriteria “tidak baik”

Kriteria kesesuaian lahan mengacu pada keadaan tanah dan kondisi agroklimat disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2.8 Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Pengusahaan Kelapa Sawit

No	Unsur Kemampuan	S1	S2	S3	N
1	Zone agroklimat	A: 9/2	B2: 7-9/2-3	D1: 3-4/2	D2: 3-4/2-3
2	Oldeman	B1: 7-9/2	C1: 5-6/2	C2: 5-6/2-3	D3: 4-6/6; E1: 3/2; E2: 3/2-3; E3:
3	Ketinggian dari permukaan air	25-200 m	200-300 m	300-400 m	< 25 m
4	Bentuk daerah dan lereng	datar-ombak (< 10% (4,5°))	ombak-gelombang (10-22% (4,5°-10°))	gelombang-bukit (22-50% (10°-	bukit-gunung (>50% (>22,5°))

No	Unsur Kemampuan	S1	S2	S3	N
5	Batuan di permukaan dan dalam	< 10%	10 - 25%	25 - 50%	> 50%
6	Kedalaman solum tanah	> 100 cm	50 - 100 cm	25 - 50 cm	< 25 cm
7	Kedalaman air tanah	> 100 cm	50 - 100 cm	25 - 50 cm	< 25 cm
8	Tekstur tanah	lempung berdebu, lempung	liat, liat berlempung, lempung berpasir	liat berat, pasir berliat, pasir berdebu,	liat sangat berat, pasir kasar
9	Struktur tanah	remah kuat, gempal sedang	remah sedang, gempal sedang		masif
10	Konsistensi tanah	sangat gembur, tidak lekat	gembur, agak lekat	teguh/keras, lekat	sangat teguh, sangat keras
11	Kelas drainase	sedang	agak cepat atau lambat	cepat atau lambat	sangat cepat atau lambat,
12	Erodibilitas	sangat rendah	rendah/sedang	agak tinggi	sangat tinggi
13	Kemasaman tanah	5,0 - 6,0	4,0 - 4,9	3,5 - 3,9	< 3,5
14	pH	4,0 - 6,0	6,1 - 6,5	6,6 - 7,0	> 7,0
15	Kesuburan tanah	tinggi	sedang	rendah	sangat rendah

(sumber: Pangudijatno, Panjaitan, & Pamin, 1985)

Penggolongan kelas kesesuaian lahan pada tabel di atas dapat disederhanakan seperti penjelasan berikut ini:

- kelas S1: Kesesuaian lahan tinggi, potensi produksi > 24 ton TBS/ha/tahun
- kelas S2: Kesesuaian lahan sedang, potensi produksi 19-24 ton TBS/ha/tahun
- kelas S3: Kesesuaian lahan terbatas, potensi produksi 13-18 ton TBS/ha/tahun
- kelas N: tidak sesuai, potensi produksi < 12 ton TBS/ha/tahun

2.2.2.2 Pembukaan Lahan

Pembukaan lahan adalah kegiatan yg dilakukan mulai dari perencanaan tata ruang dan tata letak lahan sampai dengan pembukaan lahan secara fisik.

Perencanaan tata ruang dan tata letak lahan merupakan bagian dari persiapan lahan untuk pembangunan perkebunan kelapa sawit. Penelitian terhadap lahan juga diperlukan mengenai topografi, iklim, status dan tata guna lahan, tanah, jaringan saluran air dan sungai, jaringan jalan, serta perkampungan dan penduduk (Pahan, 2008).

Teknik tebang dan bakar (*slash and burn*) merupakan metode yang sangat umum digunakan dan diaplikasikan secara luas dan turun-temurun dalam pembukaan lahan (*forest-land clearing*) untuk dijadikan sistem penggunaan lahan selain hutan di daerah tropis, termasuk Indonesia. Var Noordwijk (2001) menjelaskan bahwa penggunaan metode ini sangat umum digunakan dalam sistem perladangan berpindah dan untuk mengkonversi hutan alam ke tanaman perkebunan, seperti karet dan kelapa sawit. Teknik ini juga digunakan untuk mengkonversi hutan bekas tebangan ke perkebunan kelapa sawit, hutan tanaman industri, atau transmigrasi.

Pola umum pembukaan lahan dengan teknik tebang dan bakar diawali dengan penebangan dan penebasan seluruh vegetasi, dikeringkan secara alami, kemudian dilanjutkan dengan pembakaran. Kelemahan teknik tebang dan bakar adalah:

- Tergantung kepada cuaca untuk pengeringan secara alami
- Menyebabkan hilangnya bahan organik
- Meningkatnya laju erosi
- Mengurangi infiltrasi air
- Menyebabkan rusak dan hilangnya mikrofauna dan mikroflora tanah
- Merusak kondisi fisik dan kimia tanah
- Hilangnya fungsi penyerap karbon
- Menimbulkan polusi udara karena asap yang dihasilkannya

Sedangkan kelebihan dari teknik tebang dan bakar ini adalah karena dianggap lebih murah, cepat dan praktis dibandingkan dengan teknik tanpa bakar.

Salah satu alternatif pengganti teknik tebang dan bakar adalah teknik tanpa bakar. Var Noordwijk et al. (1995) mengusulkan teknik *slash and mulch*, dimana vegetasi tidak ditebang, namun ditumpuk dan dibiarkan terdekomposisi secara

alami dan berfungsi sebagai mulsa. Alasan utama penggunaan teknik tanpa bakar dalam pembukaan lahan adalah karena sistem ini dapat

- Mengembalikan kesuburan tanah
- Mempertahankan struktur tanah
- Menjamin pengembalian unsur hara
- Mencegah erosi permukaan tanah
- Membantu pelestarian lingkungan

Penerapan teknik tanpa bakar dalam pembukaan lahan hutan mengandung dua kegiatan utama, yaitu penebangan dan penumpukkan. Kelemahan teknik ini adalah sangat tergantung pada alat berat (mekanis), sehingga hanya cocok untuk areal yang luas karena investasinya yang mahal. Sedangkan kelebihan teknik ini dalam aplikasinya tidak terlalu tergantung pada kondisi cuaca, dan jauh lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan teknik tanpa bakar. (Onrizal, n.d.)

2.2.2.3 Pemupukan

Kemampuan lahan dalam penyediaan unsur hara secara terus-menerus bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman kelapa sawit yang berumur panjang sangatlah terbatas. Keterbatasan daya dukung lahan dalam penyediaan hara ini harus diimbangi dengan penambahan unsur hara melalui pemupukan.

Tanaman terdiri dari 92 unsur, tetapi hanya 16 unsur esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Dari 16 unsur tersebut, unsur C, H, dan O diperoleh dari udara dan air (dalam bentuk CO₂ dan H₂O), sedangkan 13 unsur mineral esensial lainnya diperoleh dari dalam tanah dan secara umum digolongkan sebagai “hara”.

Unsur hara makro (N, P, K, S, Ca, dan Mg) dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar yang kandungannya (nilai) kritisnya antara 2-30 gram/kg berat kering tanaman. Unsur hara makro tersebut terdiri dari unsur hara utama (N, P, K) dan unsur hara sekunder (S, Ca, dan Mg). Unsur hara utama diberikan dalam bentuk pupuk pada seluruh jenis tanaman dan seluruh jenis lahan. Dalam hal ini, N diserap dalam bentuk ion NH₄⁺, P dalam Kation P₅⁺ dan K dalam kation K⁺. Sementara unsur hara sekunder hanya diberikan pada beberapa jenis tanaman

pada jenis lahan tertentu. Dalam hal ini, S diserap dalam bentuk anion SO_4^{2-} , Ca dalam kation Ca^{2+} dan Mg dalam kation Mg^{2+} .

Unsur hara mikro (7 unsur) dibutuhkan dalam jumlah relatif kecil yang kandungan kritisnya berkisar antara 0.3 – 50 mg/kg berat kering tanaman. Dari unsur hara mikro ini, 5 unsur merupakan logam berat (Fe, Mn, Zn, Cu, dan Mo) yang diserap tanaman dalam bentuk kation divalen atau kelat, kecuali Mo yang diserap dalam bentuk anion divalent molibdat (MoO_4). Dua unsur hara bukan-logam (Cl dan B) diserap tanaman dalam bentuk anion Cl^- dan kation B^{3+} . Beberapa unsur hara mineral memberikan pengaruh yang menguntungkan pada beberapa jenis tanaman, tetapi tidak bersifat esensial seperti Na, Si, Co, Cl, Al.

Kebutuhan hara tanaman kelapa sawit sangat beragam dan terutama sekali tergantung pada potensi produksi (fungsi genetik dari bahan tanaman) dan faktor iklim. Pada kondisi iklim yang kurang menguntungkan, produksi TBS/ha menjadi jauh lebih rendah.

Untuk mencapai produksi yang diinginkan, jumlah hara yang dibutuhkan tanaman dan yang harus ditambahkan dalam bentuk pupuk (organik dan/atau organik) tergantung pada tingkat kebutuhan haranya. Dengan kata lain, pemberian pupuk harus disesuaikan dengan tingkat ketersediaan hara dalam tanah yang dapat diserap tanaman. Hal tersebut dapat diperkirakan dengan metode diagnosis (analisis jaringan tanaman).

Pupuk yang umum digunakan dalam perkebunan kelapa sawit adalah pupuk anorganik (pupuk buatan) dan pupuk organik. Sejumlah pupuk anorganik telah dikembangkan untuk menambah hara tanah sehingga dapat memenuhi kebutuhan hara tanaman yang cukup tinggi. Umumnya, pupuk organik berupa garam mineral, kecuali beberapa pupuk seperti urea. Urea terdiri dari amida (senyawa organik) yang secara mudah dapat berubah menjadi garam mineral. Klasifikasi yang umum digunakan adalah pupuk tunggal dan pupuk majemuk yang umumnya hanya mencakup 3 hara makro NPK. Banyak pupuk tunggal yang sebenarnya memberikan lebih dari satu jenis hara, misalnya ammonium sulfat (ZA) yang mengandung N dan S. Kandungan hara dalam pupuk secara tradisional dinyatakan dalam bentuk oksida (P_2O_5) dan dalam bentuk unsur (N, P, dan K).

Tabel 2.9 Pupuk Anorganik dan Kandungan Hara Utamanya

Jenis Hara	Tipe Pupuk	Nama Pupuk	Kandungan Hara	
			Unsur /Oksida	%
Nitrogen (N)	Ammonium	Ammonia	N	80
		<i>Ammonium Sulphate (ZA)</i>	N	21
			S	24
	<i>Ammonium Bicarbonate</i>	N	17	
	Nitrat	<i>Calcium Nitrate</i>	N	16
			N	16
	Ammonium Nitrat	<i>Ammonium Nitrate</i>	N	l.k. 34
			N	21-27
			N	26-30
	Amida	Urea	N	45-46
			N	20
	Cair	<i>Urea Ammonium Nitrate Solution</i>	N	28-32
			N	13
	Majemuk	<i>Hi-Kay Plus</i>	P	6
			K	27
Mg			4	
B			0.65	
N			20	
Nitrogen (N)	Majemuk, lambat tersedia	<i>Controlled released meister</i>	P	6
			K	14
			Mg	3
			N	20
Fosfat (P)	Dapat larut dalam air	<i>Single super phosphate</i>	P ₂ O ₅	18-20
			P ₂ O ₅	32
			P ₂ O ₅	45
			CaO	28
	Sebagian dapat larut dalam air	<i>Party acidulated phosphate</i>	P ₂ O ₅	l.k. 18
	Bereaksi lambat	<i>Dicalcium phosphate (citrate soluble)</i>	P ₂ O ₅	14
			P ₂ O ₅	20
	Bereaksi sangat lambat	<i>Rock phosphate</i> (tepung halus) yang reaktivitasnya ditentukan dengan kelarutan asam format	P ₂ O ₅	29-34
CaO			35	
Kalium (K)	Dapat larut dalam air dan bereaksi cepat	<i>Muriate of potash (MOP/KCl)</i>	K ₂ O	60
			Cl	50
		<i>Potassium sulphate</i>	K ₂ O	50
		<i>Potassium magnesium sulphate</i>	K ₂ O	40
		Mg	6	

Jenis Hara	Tipe Pupuk	Nama Pupuk	Kandungan Hara	
			Unsur /Oksida	%
Kalium (K)	Dapat larut dalam air dan bereaksi cepat	Abu janjang kosong (<i>bunch ash</i>)	N	0.37
			P	0.04
			K	0.91
			Mg	0.08
Magnesium (Mg)	Bereaksi cepat	<i>Magnesium sulphate (Kieserite)</i>	MgO	27
		<i>Magnesium sulphate (epsom salts)</i>	Mg	10
		<i>Potassium magnesium sulphate</i>	K ₂ O	40
	Bereaksi lambat	<i>Magnesium carbonate (dolomit)</i>	Mg	6
			MgO	18-20
			CaO	50
Kalsium (Ca)		<i>Limestone dust (LSD)</i>	CaO	50
			MgO	1-3
Besi	Kelat (<i>chelate</i>)	Fe-EDTA	Fe	9
		Fe-EDDHA	Fe	6
Mangan (Mg)	Dapat larut dalam air & bereaksi cepat	<i>Mn-sulphate</i>	Mn	24-32
		Mn-EDTA	Mn	13
Seng (Zn)	Dapat larut dalam air	<i>Zn-Sulphate</i>	Zn	23
		<i>Chelated zincopper</i>	Zn	4
			Cu	8
Tembaga (Cu)	Dapat larut dalam air	<i>Cu-sulphate (CuSO₄)</i>	Cu	23-25
Boron (B)	Dapat larut dalam air	<i>Sodium borate decahydrate (borax)</i>	B	11-22
		<i>High grade fertilizer borate (HGFB)</i>	B ₂ O ₃	48
Molibdenum (Mo)	Dapat larut dalam air	<i>Ammonium molybdate</i>	Mo	40-50
		<i>Na-molybdate</i>	Mo	40-50

(sumber: Martin (1977) & Finck (1992))

Pupuk organik yang diaplikasikan secara teratur pada perkebunan kelapa sawit merupakan pupuk/limbah dari proses pengolahan kelapa sawit di pabrik dan limbah perkebunan yang berasal dari sisa-sisa daun kacang yang sengaja ditanam pada saat pembukaan lahan. Pemberian bahan organik sebagai pupuk memberikan pengaruh yang sangat kompleks bagi pertumbuhan tanaman. Pengaruh bahan organik terhadap pertumbuhan tanaman terutama karena kemampuannya memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah.

Tabel 2.10 Jenis Pupuk/ Limbah Organik di Perkebunan Kelapa Sawit

Jenis Pupuk/ Limbah		Bentuk
Limbah Perkebunan	Sisa-sisa tanaman	Pelepah kelapa sawit
		Daun kacang
	Kompos	Campuran dari sisa-sisa tanaman yang telah terdekomposisi
	Pupuk hijau	Kacangan atau tumbuhan lain yang ditanam di dalam tanah
	Pupuk kandang	Kotoran ternak seperti sapi, ayam, dll
Limbah dari proses pengolahan kelapa sawit	Padat	Janjang kosong (Wet) decanter solid
	Cair	Palm oil Mill effluent (POME)
Inokulan tanah	Bakteri legum pengikat N	Rhizobium sp.
		Azotobacter sp.
	Bakteri nonlegum pengikat N	Beijerincka sp.
		Clostridium sp.
		Achromobacter sp.
	Cendawan pengikat P	Mycorhiza vesikuler-arbuskuler
		Glomus sp.

(sumber: Pahan, 2008)

Pemupukan kelapa sawit dilakukan pada 3 tahap perkembangan tanaman, yaitu pada tahap pembibitan dan TBM yang mengacu pada dosis baku, tahap TM yang ditentukan berdasarkan perhitungan faktor-faktor dasar serta konsep neraca hara (nutrient balance).

Dengan penerapan konsep neraca hara, dosis pupuk yang diberikan diperhitungkan dengan kebutuhan hara tanaman dan kemampuan lingkungan untuk menyediakan hara. Berdasarkan konsep ini, pupuk hanya diberikan sebagai penambah unsur-unsur hara yang kurang atau tidak dapat disediakan oleh lingkungan. Penerapan konsep ini bertujuan untuk menetapkan dosis pupuk dalam rangka penerapan teknologi bermasukan rendah (*low input technology*).

Kisaran dosis pupuk kelapa sawit di Indonesia pada berbagai tingkatan umur dapat dilihat pada tabel di halaman berikut (dalam satuan kg/pokok/tahun) :

Tabel 2.11 Kisaran Dosis Pupuk Kelapa Sawit pada Umur Tertentu

Tahun	Unsur Hara	N		P		K	Mg		B	
	Jenis Pupuk	Urea	ZA	RP	TSP	MOP	Kieserite	Abu janjang	Boraks	HGFB
1	min	0.5	1.1	1.25	1.25	0.75	0.5		0.03	0.02
	maks	0.7	1.35	1.75	1.75	1.25	0.6		0.03	0.03
2	min	0.7	1.5	0.5	0.5	1	0.7		0.04	0.03
	maks	0.85	1.5	1	1	1.75	1		0.04	0.03
3	min	0.9	1.5	0.75	0.75	1.2	0.9		0.06	0.05
	maks	1.25	1.5	1	1	2.25	1.25		0.1	0.05
3-5	min	0.9	1.5	0.75	0.8	1.2	0.9			0.05
	maks	1.75	2.5	1.5	1	2.5	1			0.1
6-15	min	1		1.25	1	1.5	1	2		
	maks	3		3.5	3	3.5	2	4		
>15	min	1.5		1.25	1	1.5	0.5	2		
	maks	2.5		3	2	2.25	3	3		

(sumber: Ollagnier & Ochs, 1982, Suwandi et al., 1989, Suwandi & Chan, 1989, Siahaan, et al., 1990, Siahaan, et al., 1991)

2.2.2.4 Perlindungan Tanaman dengan Pestisida

Pestisida adalah bahan-bahan yang dapat membunuh organism pengganggu tanaman (hama, penyakit, dan gulma). Bahan-bahan ini dapat berupa zat kimia, mikroorganisme, maupun bahan tanaman lainnya.

Berdasarkan sasarannya, pestisida dibagi menjadi lima golongan, yaitu sebagai berikut :

- Fungisida, untuk mengendalikan jamur pathogen
- Herbisida, untuk mengendalikan gulma
- Insektisida, untuk mengendalikan serangga
- Rodentisida, untuk mengendalikan tikus
- Akarisida, untuk mengendalikan tungau.

Berdasarkan cara kerjanya, pestisida dapat dibagi menjadi empat golongan, yaitu sebagai berikut :

- Racun fisik, misalnya minyak mineral berat
- Racun protoplasmik, misalnya logam berat
- Racun penghambat metabolik, misalnya Rotenon, HCN, dan HZS
- Racun saraf, misalnya senyama fosfat organic dan analog DDT

Berdasarkan asal dan sifat kimianya, pestisida dibagi menjadi dua golongan, yaitu sebagai berikut :

- Pestisida sintetik, terdiri atas dua jenis anorganik (garam beracun seperti arsenat dan fluorida) dan organik (Hidrokarbon berklor (contoh: DDT), Fosfat organik (contoh: Parathion dan Malathion), serta Karbamat (contoh: Carbaril dan Carbofuran))
- Pestisida asal tanaman, misalnya Nikotin, Pyrethroid, dan Rotenon

Berdasarkan reaksinya, pestisida dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu sebagai berikut :

- Racun kontak, misalnya Paraquat. Paraquat diformulasikan sebagai *dichloride salt*. Paraquat memiliki rumus empiris $C_{12}H_{14}N_2Cl_2$ dengan nama kimia *1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridylium ion* dan berat molekul 257 gram/mol.
- Racun sistemik, misalnya *Glyphosate*. *Glyphosate* memiliki rumus empiris $C_3H_8NO_5P$ dengan berat molekul 169.07 gram/mol. Bahan aktifnya adalah *isopropylamine salt*
- Racun napas, misalnya H_2S

2.2.3. Pengolahan Minyak dan Inti Sawit

Fresh Fruits Bunch (FFB) atau Tandan Buah Segar (TBS) diolah di pabrik kelapa sawit untuk diambil minyak dan intinya. Minyak dan inti yang dihasilkan dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan produk setengah jadi. *Crude Palm Oil* (CPO) atau Minyak Kelapa Sawit (MKS) dan *Crude Kernel Oil* (CKO) atau Minyak Inti Kelapa Sawit (MIKS) harus diolah lebih lanjut untuk dijadikan produk jadi lainnya.

Stasiun proses pengolahan TBS menjadi MKS dan IKS umumnya terdiri dari 6 stasiun utama:

1. Penerimaan buah (*fruit reception*)

Sebelum diolah dalam PKS, TBS ditimbang di jembatan timbang, dan ditampung sementara di penampungan buah

2. Rebusan (*sterilizer*)

Proses perebusan TBS bertujuan untuk menghentikan perkembangan ALB/FFA, memudahkan pelepasan brondolan dari tanda, penyempurnaan dalam pengolahan minyak dan penyempurnaan dalam proses pengolahan inti sawit.

3. Pemipilan (*stipper*)

Proses ini merupakan proses untuk melepaskan brondolan dari tandan.

4. Pencacahan (*digester*) dan pengempaan (*presser*)

Proses pencacahan dilakukan untuk mempersiapkan daging buah untuk pengempaan sehingga minyak dengan mudah dapat dipisahkan dari daging buah. Proses pengempaan dilakukan untuk memisahkan minyak dari daging buah.

5. Pemurnian (*clarifier*)

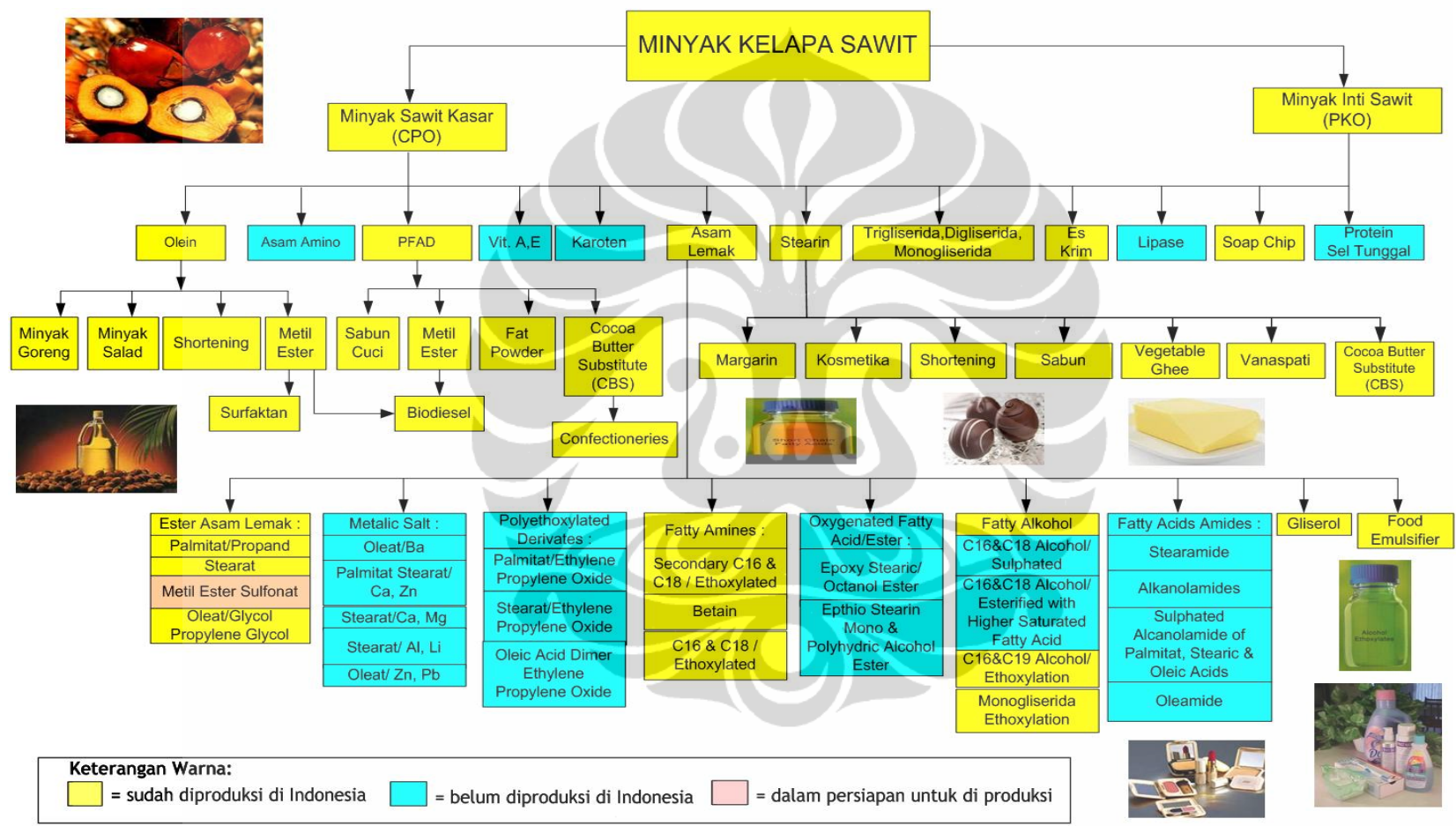
Pada proses ini, dilakukan pemurnian MKS dari kotoran seperti padatan, lumpur, dan air.

6. Pemisahan biji dan kernel (*kernel*)

Proses yang dilakukan disini adalah untuk memperoleh biji sebersih mungkin

2.2.4. Agribisnis Kelapa Sawit

Dalam konsep pertanian yang holistik, dianut pandangan bahwa setiap bagian tanaman sejak panen dapat dijadikan bahan dasar industri secara berantai. Paham ini melahirkan efek berganda (*multiplier effects*) yang disebut pohon industri pertanian. Pohon industri agribisnis kelapa sawit ditunjukkan pada gambar di halaman berikut :



Gambar 2.6 Pohon Industri Agribisnis Kelapa Sawit
(sumber : Depperin, 2007)

Produk dari perkebunan kelapa sawit pada tingkat perkebunan yaitu buah yang berbentuk tandan buah segar (TBS). TBS diolah di unit ekstraksi yang berlokasi di perkebunan menjadi produk setengah jadi yang berbentuk minyak kelapa sawit (MKS), dan minyak kernel (MIKS). MKS dan MIKS dapat diolah menjadi bermacam-macam produk lanjutan dengan bermacam-macam kegunaan. Nilai tambah yang didapatkan sepanjang value chain agribisnis kelapa sawit didapat dari konversi bahan baku (sumber daya alam) menjadi bahan baku proses TBS, bahan setengah jadi MKS dan MIKS, dan bahan jadi (produk akhir, baik *edible* maupun *nonedible*). (Pahan, 2008).

2.2.5. Isu Lingkungan dalam Industri Kelapa Sawit

Penebangan hutan merupakan konversi dari area hutan menjadi tujuan lain seperti pertanian, usaha perikanan, urbanisasi, dan lainnya. Isu ini dikaitkan dengan pembukaan lahan baru dan hutan tropis telah dibuka untuk dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit dan akan menyebabkan dampak yang besar bagi stabilitas ekologi. Hutan tropis yang dibuka untuk perkebunan mempengaruhi habitat alami dari hutan ini seperti macan, badak Sumatra, serta gajah Asia. Hal ini akan mengancam kepunahan yang disebabkan oleh tingginya tingkat konversi pembukaan lahan. Kebanyakan pembukaan lahan di Asia Tenggara dilakukan dengan cara pembakaran hutan dimana hal ini akan menyebabkan banyak kebakaran hutan. Dilaporkan bahwa dari 5 juta hektar dari hutan alami di Indonesia, 3 juta diantaranya sudah dijadikan perkebunan kelapa sawit (Tan, Leen, Mohamed, Bhatia, 2007). *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* pada tahun melansir daftar merah spesies tumbuhan dan binatang liar yang terancam kepunahannya. Setidaknya terdapat 236 species tumbuhan dan 51 species binatang liar yang berada di Kalimantan sedang meningkat tren keterancamannya. Penyebab utamanya adalah pembabatan hutan untuk perluasan perkebunan kelapa sawit (*Kelapa Sawit*, 2007).

Perluasan lahan perkebunan kelapa sawit yang merambah pada hutan primer dan lahan gambut merupakan faktor pendorong utama meningkatnya emisi gas rumah kaca Indonesia. Laju kerusakan hutan Indonesia saat ini adalah yang tercepat dibandingkan negara pemilik hutan lainnya di dunia, menjadikan

Indonesia penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar ketiga di dunia setelah Amerika dan China. Saat ini telah terjadi peningkatan titik api di Riau, propinsi yang sudah kehilangan banyak hutan gambut yang kaya karbon (*Greenpeace*, 2008).

Isu lingkungan mengenai kelapa sawit yang kian marak dan juga seruan untuk penyelamatan lingkungan semakin gencar dilakukan oleh organisasi-organisasi yang bergerak di bidang lingkungan. Pengembangan kelapa sawit telah mengarah kepada usaha memperhatikan lingkungan dan keberlangsungan industri kelapa sawit. Saat ini Pemerintah Indonesia telah mengadopsi prinsip-prinsip pengembangan perkebunan seperti tertuang dalam UU 18 tahun 2004 tentang Perkebunan yang mengatur restriksi pengembangan kelapa sawit untuk mencegah dampak negatifnya terhadap lingkungan. Saat ini juga, pemerintah mendukung usaha-usaha semua pemangku kepentingan menerapkan *sustainable palm oil* yang telah dirumuskan dalam forum RSPO (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*).

2.2.6. RSPO

RSPO (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*) adalah sebuah asosiasi non-profit yang beranggotakan *stakeholders* dari tujuh sektor dalam industri kelapa sawit, yaitu

- penghasil CPO (MKS),
- penjual/pembeli CPO,
- perusahaan yang memproduksi *consumer goods*,
- pedagang eceran,
- bank dan investor,
- lembaga non pemerintah yang bergerak di bidang lingkungan, dan
- lembaga non pemerintah yang bergerak di bidang sosial,

untuk mengembangkan dan mengimplementasikan standar global untuk kelapa sawit yang berkelanjutan/*sustainable*.

RSPO didirikan pada tahun 2004 sebagai respon atas kebutuhan dunia terhadap minyak kelapa sawit yang diproduksi secara berkelanjutan, dengan tujuan untuk mempromosikan pertumbuhan dan penggunaan produk minyak

kelapa sawit yang berkelanjutan dengan standar global yang dipercaya dan dengan kesepakatan perjanjian dengan para *stakeholder*.

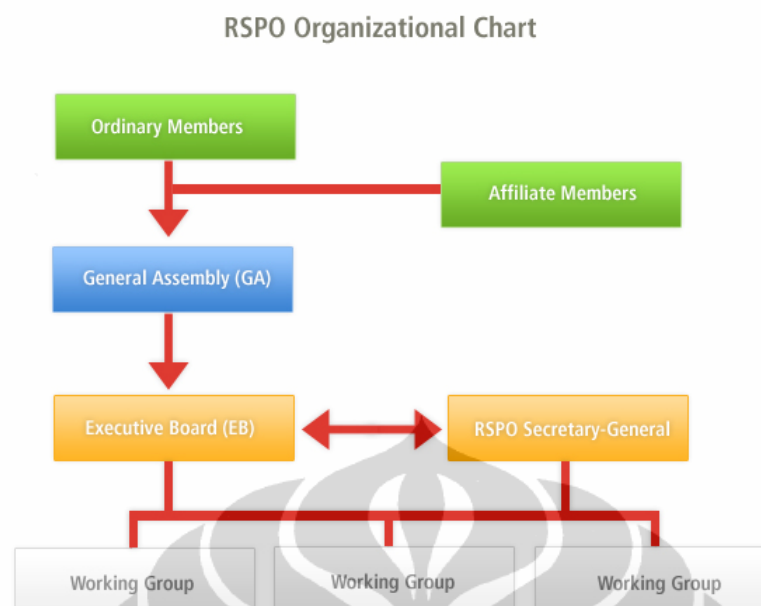
Pusat dari RSPO berkedudukan di Zurich, Switzerland. Sekretariat RSPO berada di Kuala Lumpur. Pada tahun 2006, didirikan RSPO Indonesia Liaison Office (RILO) untuk dapat mendukung Sekretariat RSPO dan untuk mempromosikan tujuan dari RSPO di Indonesia.

2.2.6.1 Struktur Organisasi RSPO

RSPO dikelola oleh dewan eksekutif yang terdiri atas 16 anggota, yang ditunjuk dalam sebuah *general assembly* untuk periode selama 2 tahun. Dewan eksekutif terdiri atas masing-masing 2 orang dari setiap sektor, kecuali 4 orang untuk sektor perusahaan perkebunan kelapa sawit. RSPO mengangkat filosofi meja bundar dengan memberikan hak yang sama kepada setiap *stakeholder* untuk membawa isu yang spesifik, yang memfasilitasi para *stakeholder* dan pesaing bisnis untuk dapat bekerjasama dengan tujuan yang umum dan mengambil keputusan berdasarkan konsensus. Filosofi ini terlihat dari perwakilan dalam kursi dewan eksekutif yang merata serta *working group* untuk proyek yang secara merata dialokasikan pada tiap sektor.

Ada dua tipe keanggotaan di dalam RSPO, yaitu *ordinary members* (dari tujuh sektor dalam industri kelapa sawit) dan *affiliate members*. *Affiliate members* adalah organisasi atau individu yang tidak secara aktif terlibat di dalam tujuh sektor tersebut, namun memiliki ketertarikan terhadap tujuan dan kegiatan dari RSPO (sebagai contoh, untuk akademis, penelitian, organisasi pengembangan, donator, dan sponsor).

Struktur organisasi dalam RSPO digambarkan pada halaman berikut :



Gambar 2.7 Struktur Organisasi RSPO

(sumber: RSPO, n.d.)

2.2.6.2 RSPO di Indonesia

Pada saat ini ada tiga perusahaan perkebunan yang telah menerima sertifikasi RSPO, yang pertama adalah PT. Musi Mas dengan produksi 45.000 ton, PT. Hindoli dengan produksi 45.000 ton, dan yang terakhir adalah PT. PP Lonsum dengan produksi terbesar yaitu 180.000 ton per tahunnya. Proses Sertifikasi di Indonesia membutuhkan waktu selama 4 tahun dan sertifikasi melingkupi delapan prinsip penilaian yang sangat ketat meliputi transparansi, kepatuhan hukum, tanggung jawab lingkungan, penerapan terbaik, perbaikan yang berkesinambungan dan pertumbuhan ekonomis. Hal ini dilakukan untuk membuktikan perkebunan kelapa sawit tak merusak lingkungan dan masalah sosial. (*London Sumatra*, 2007).

Anggota RSPO Indonesia adalah :

- GAPKI
- PT. Musim Mas
- WWF-Indonesia
- Sawit Watch
- Inti Indosawit Subur
- HSBC Indonesia
- PT. Tunas Baru Lampung Tbk
- PT. Agro Bukit

- PT. Socfin Indonesia
- PT. Agro Indomas
- PT. SMART Tbk
- PT. PP Lonsum Tbk
- Sumi Asih Oleochemical
- Permata Hijau Group
- Agro Jaya Perdana
- Sawit Mas Group
- Flora Sawita Chemindo
- APOLIN

2.2.6.3 Inisiatif RSPO

Dalam tujuannya untuk mengembangkan dan mengimplementasikan standar global untuk kelapa sawit yang berkelanjutan/*sustainable*, RSPO memelopori beberapa inisiatif berikut (Kusumadewi, 2006):

1. Pendefinisian minyak kelapa sawit yang berkelanjutan
RSPO telah mengembangkan *principle & criteria* (P&C) yang mendefinisikan praktek produksi minyak kelapa sawit yang berkelanjutan. Standar ini mencakup kebutuhan hukum, ekonomi, lingkungan dan sosial untuk memenuhi produksi minyak kelapa sawit yang berkelanjutan.
2. Pertimbangan perbedaan antar Negara
National interpretation adalah sebuah proses dimana *stakeholder* perwakilan dari sebuah Negara membentuk sebuah *working group* untuk memastikan kesesuaian antara P&C dan hukum, norma, serta nilai-nilai yang dianut oleh suatu Negara.
3. Keterlibatan *smallholder*
Smallholder dalam industri palm oil adalah *stakeholder* yang penting bagi RSPO dan keanggotannya diusahakan dalam beberapa cara termasuk dengan pemotongan biaya keanggotaan. RSPO saat ini sedang mengembangkan panduan dan skema sertifikasi khusus bagi *smallholder* untuk mengaplikasikan P&C dalam produksi minyak kelapa sawit.
4. Keaslian minyak kelapa sawit yang berkelanjutan
RSPO sedang mengembangkan sebuah sistem sertifikasi untuk dapat mengenali bahwa minyak kelapa sawit tersebut diproduksi secara berkelanjutan. Produk akhir di pasar dapat mengajukan tuntutan dari

penggunaan atau keterkandungan minyak kelapa yang telah disertifikasi oleh RSPO, dalam kondisi bahwa minyak kelapa sawit yang digunakan di dalam product tersebut dapat ditelusuri hingga ke sumber perkebunan yang telah disertifikasi.

2.2.6.4 Skema Sertifikasi

Pelaksanaan sertifikasi dilaksanakan oleh badan sertifikasi, yang sebelumnya harus melewati prosedur yang telah ditentukan oleh RSPO untuk dapat dianggap layak dapat melakukan sertifikasi ini. Skema Sertifikasi terdiri atas tiga elemen utama (RSPO, 2007), yaitu:

- Standar sertifikasi
Standar ini menunjukkan kebutuhan-kebutuhan yang harus dipenuhi untuk sertifikasi. Produksi minyak kelapa sawit yang berkelanjutan dapat berjalan dengan mengaplikasikan P&C dari RSPO dan juga indikator serta panduannya. *National interpretation* mengenai indikator dan panduan internasional akan juga dikembangkan dalam usaha untuk menjaga dan mengendalikan kualitas dari indikator dan panduan yang akan menjadi sumber interpretasi resmi, terutama dalam konteks hukum. *National interpretation* akan membutuhkan persetujuan dari RSPO dengan langkah partisipasi (dengan persetujuan RSPO atas komposisi *working group* yang melibatkan *stakeholder* yang berasal dari sektor yang berbeda-beda), proses (pembuatan *national interpretation* oleh *working group*, uji coba lapangan, serta konsultasi umum), dan persetujuan (*draft* dari *national interpretation* diserahkan kepada RSPO untuk persetujuan secara formal).
- Kebutuhan akreditasi
Ini adalah mekanisme persetujuan untuk memastikan bahwa organisasi yang melaksanakan sertifikasi adalah organisasi yang kompeten dan menghasilkan hasil yang konsisten dan dapat dipercaya. Beberapa mekanisme dalam persetujuan dan pengawasan badan sertifikasi adalah: akreditasi ISO Guide 65/66, akreditasi badan sertifikasi oleh sebuah badan sertifikasi nasional atau internasional, kesesuaian operasi badan akreditasi dengan ISO 17011:2004, penugasan badan sertifikasi untuk membantu

penanganan komplain mengenai RSPO, dan demonstrasi badan sertifikasi yang menjelaskan sistem akreditasi yang dimiliki telah sesuai dengan kebutuhan.

- Kebutuhan proses sertifikasi

Proses ini menentukan apakah standar telah terpenuhi atau tidak. Proses ini dilakukan oleh sebuah badan sertifikasi (*certification body*).

2.2.6.5 Interpretasi Nasional

Interpretasi Nasional merupakan bagian dari dokumen generik Prinsip dan Kriteria untuk Produksi Minyak Sawit Berkelanjutan, yang digunakan sebagai pedoman penerapan dan sertifikasi produksi minyak sawit berkelanjutan yang telah disesuaikan dengan Hukum dan Peraturan Nasional Indonesia. Interpretasi nasional ini disusun berdasarkan kesepakatan dari seluruh pemangku kepentingan (stakeholder) dari industri minyak sawit di Indonesia. Interpretasi nasional ini akan direview dengan mengikuti perubahan prinsip dan kriteria generik yang telah ditetapkan oleh RSPO, dimana ada delapan prinsip utama (Mei 2008) :

Prinsip 1 : Komitmen terhadap transparansi

Prinsip 2 : Memenuhi hukum dan peraturan yang berlaku

Prinsip 3 : Komitmen terhadap kelayakan ekonomi dan keuangan jangka panjang

Prinsip 4 : Penggunaan praktik terbaik dan tepat oleh perkebunan dan pabrik

Prinsip 5 : Tanggung jawab lingkungan dan konservasi kekayaan alam dan keanekaragaman hayati

Prinsip 6 : Tanggungjawab kepada pekerja, individu-individu dan komunitas dari kebun dan pabrik

Prinsip 7 : Pengembangan perkebunan baru secara bertanggungjawab

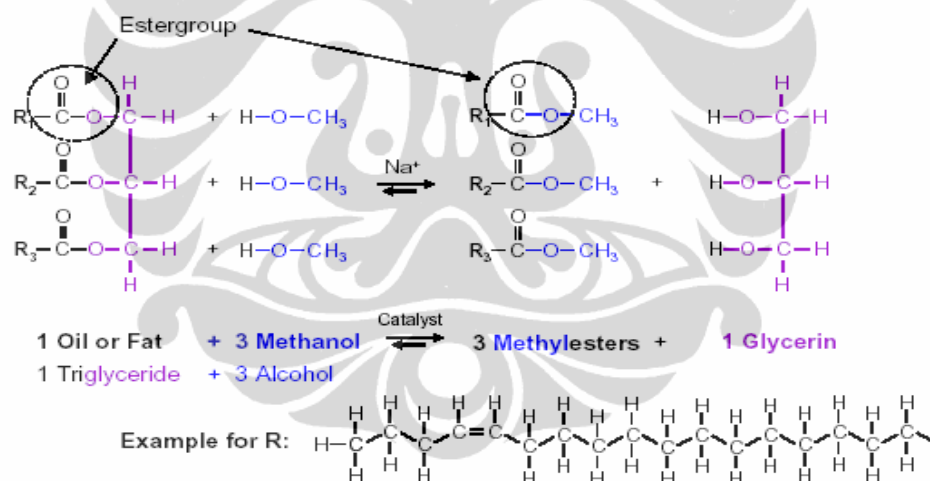
Prinsip 8 : Komitmen terhadap perbaikan terus-menerus pada wilayah-wilayah utama aktifitas.

2.3 BIODIESEL

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran *mono-alkyl* ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarui seperti minyak sayur atau lemak hewan.

Sebuah proses dari transesterifikasi lipid digunakan untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Setelah melewati proses ini, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (*solar*) dari minyak bumi, dan dapat menggantikannya dalam banyak kasus.

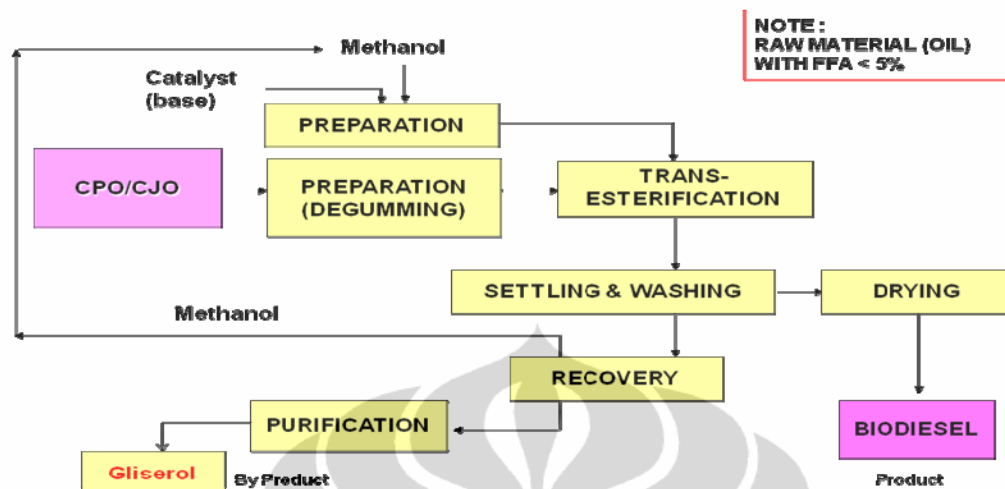
Secara definisi biodiesel adalah bahan bakar mesin diesel yang dibuat dari minyak hayati (tumbuhan dan hewan), yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel.



(sumber : Andarwulan, et al; 2005)

Reaksi pembuatan biodiesel tersebut dinamakan transesterifikasi dan bertujuan untuk menurunkan viskositas dari minyak dengan cara mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Produk akhir dari transesterifikasi adalah methyl ester atau sering disebut biodiesel. Setelah melewati proses ini, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (*solar*) dari minyak bumi, dan dapat menggantikannya dalam banyak kasus.

Proses Trans-esterifikasi :



Gambar 2.8 Proses Trans-esterifikasi

Biodiesel adalah senyawa ester metil/ etil dan asam-asam lemak yang dihasilkan dari reaksi antara minyak nabati dengan metanol/ etanol. Minyak nabati yang merupakan sumber utama biodiesel dapat dipenuhi oleh berbagai macam jenis tumbuhan tergantung pada sumber daya utama yang banyak terdapat disuatu tempat/ negara. Sebagai contoh adalah minyak jagung, kanola, kelapa, dan kelapa sawit yang kemudian menghasilkan produk dengan nama SME (*Soybean Methyl Ester*), RME (*Rapeseed Methyl Ester*), CME (*Coconut Methyl Ester*), dan POME (*Palm Oil Methyl Ester*).

Memperhatikan adanya harapan dan keinginan biodiesel dapat dimanfaatkan dan dikembangkan menjadi bahan bakar yang alternatif di Indonesia, dapat diperkirakan bahwa dalam mengembangkan biodiesel di Indonesia sasaran yang diinginkan adalah dapat diwujudkannya penyediaan dan pemanfaatan biodiesel yang mempunyai ciri :

- Mampu menghasilkan biodiesel yang compatible dengan sistem peralatan yang akan menggunakannya (mesin–mesin diesel dan burner pada sistem penyedia kalor/ panas di industri) termasuk dengan sistem distribusi minyak solar yang ada.

- Memanfaatkan sumber daya alam domestik sebanyak mungkin baik dari segi jumlah maupun jenis bahan bakunya sehingga tingkat risiko akan ketergantungan kepada satu jenis bahan baku dapat dikurangi;
- Sistem penyediaan bahan baku dan pengolahan yang bersifat menyebar sehingga masing – masing daerah dapat mandiri dalam menyediakan bahan bakar yang dibutuhkannya dan dengan sendirinya dapat mengurangi beban biaya transportasi antara daerah penghasil dan konsumen;
- Memanfaatkan teknologi pengolahan yang tidak terlampau canggih dan tidak *capital intensive* sehingga dapat mengurangi beban biaya transportasi antara daerah penghasil dan konsumen;
- Mampu menghasilkan lapangan kerja sebanyak mungkin sehingga pengembangan biodiesel berkontribusi secara berarti kepada upaya pembangunan ekonomi sosial.

2.3.1 Peran Biodiesel dalam Transportasi

Biodiesel merupakan kandidat yang paling dekat untuk menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi transportasi utama dunia, karena ia merupakan bahan bakar terbarui yang dapat menggantikan diesel petrol di mesin sekarang ini dan dapat diangkut dan dijual dengan menggunakan infrastruktur sekarang ini.

Biofuel B5 merupakan campuran dari 95 persen solar (HSD) dengan 5 persen *fatty acid methyl esters* (FAME). Ini merupakan produk transesterifikasi dari *crude palm oil*. Biosolar merupakan nama dagang Pertamina untuk biofuel B5 tersebut. Biosolar merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Secara umum, biosolar lebih baik karena ramah lingkungan, pembakarannya bersih, biodegradable, mudah dikemas dan disimpan, serta merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui. Selain itu, mesin atau alat yang menggunakan biosolar tidak perlu dimodifikasi. Biosolar juga dapat memperpanjang umur mesin dan menjamin keandalan mesin dengan lubrisitas atau pelumas maksimum 400 mikron.

Bahan bakar yang berbentuk cair ini memiliki sifat menyerupai solar sehingga sangat prospektif untuk dikembangkan. Disamping sifatnya yang

menyerupai solar, biodiesel memiliki kelebihan dibandingkan dengan solar. Kelebihan biodiesel dibanding solar adalah sebagai berikut: merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (*free sulphur, smoke number* rendah) sesuai dengan isu-isu global, *setana number* lebih tinggi (> 57) sehingga efisiensi pembakaran lebih baik dibandingkan dengan minyak kasar, memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin; *biodegradable* (dapat terurai), merupakan *renewable energy* karena terbuat dari bahan alam yang dapat diperbarui, dan meningkatkan independensi suplai bahan bakar karena dapat diproduksi secara lokal.

Keuntungan dan kerugian biodiesel minyak kelapa sawit :

- Melimpahnya bahan baku, produk CPO=20 juta ton/tahun, sedangkan untuk B-10 membutuhkan 2,5 juta ton/tahun CPO
- Memiliki penambahan nilai dan menyimpan devisa
- Diperdagangkan secara luas, pasar bebas
- Aman dipelihara, tidak ada produksi racun, dapat teruraikan, dan ramah lingkungan
- Angka cetane yang tinggi, proses pembakaran yang bagus, sedikit emisi gas (CO/CO₂/SO₂)
- Tidak memerlukan modifikasi mesin.

Kerugian dan keterbatasan :

- Harga CPO naik turun dan persaingan yang ketat dengan harga minyak fosil, terutama dengan di subsidinya harga bahan bakar
- Pasar dalam negeri sendiri lebih sulit dikembangkan tanpa dukungan dari pemerintah
- Ciri khusus PME adalah titik beku yang masih di atas 12⁰ C
- Mudah teroksidasi, merusak bentuk, adanya perbedaan bahan bakar hayati (biodiversity).

Tabel 2.12 Perbandingan Alternatif Potensi Substitusi Minyak Solar di Indonesia

	Keunggulan	Kelemahan	Manfaat	Rintangannya
Biodiesel	<ul style="list-style-type: none"> - Angka setana tinggi - Modifikasi mesin minimal - Tidak butuh infrastruktur - Emisi polutan dan gas rumah kaca rendah - Dapat produksi skala kecil - Tehnologi dan barang modal dapat dipenuhi oleh lokal 	<ul style="list-style-type: none"> - Harga bahan mentah tinggi - Ketersediaan bahan mentah masih terbatas - Nilai kalor sedikit lebih rendah 	<ul style="list-style-type: none"> - Menguatkan <i>domestic security of supply</i> - Menambah lapangan kerja - Meningkatkan ketertarikan antar sektor - Akomodatif dengan isu otonomi daerah - Meredam pencemaran udara 	<ul style="list-style-type: none"> - Berasal dari luar sektor Energu & sumber daya mineral - Perlu koordinasi yang baik antar sektor - Perlu ada sosialisasi, demonstrasi, dan standarisasi
DME & CNG	<ul style="list-style-type: none"> - Angka sentana tinggi - Emisi polutan dan rumah kaca relatif rendah - Harga kompetitif - Ketersediaan bahan mentah terjamin 	<ul style="list-style-type: none"> - Butuh infrastruktur baru - Modifikasi pada kendaraan - Pengusahaannya berskala besar - Nilai kalor agak rendah - Bertekanan agak tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - Menguatkan <i>domestic security of supply</i> - Meningkatkan pemanfaatan gas bumi di sektor transportasi - Mengurangi pencemaran udara 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan pembangunan infrastruktur baru - Ingat kegagalan utilisasi CNG / LPG - Perlu sosialisasi, demonstrasi, standarisasi
FT diesel	<ul style="list-style-type: none"> - Angka sentana tinggi - Emisi polutan SO₂ rendah - Tidak butuh infrastruktur baru - Modifikasi mesin nihil - Ketersediaan bahan mentah terjamin (gas, batubara) - Nilai kalor setara solar 	<ul style="list-style-type: none"> - Investasi besar - Variasi spektrum produk lebar - Harga produk tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> - Menguatkan <i>domestic security of supply</i> - Meningkatkan pemanfaatan gas bumi di sektor transportasi - Mengurangi pencemaran oleh SO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> - Kapasitas harus besar - Harus di lokasi bercadangan gas besar

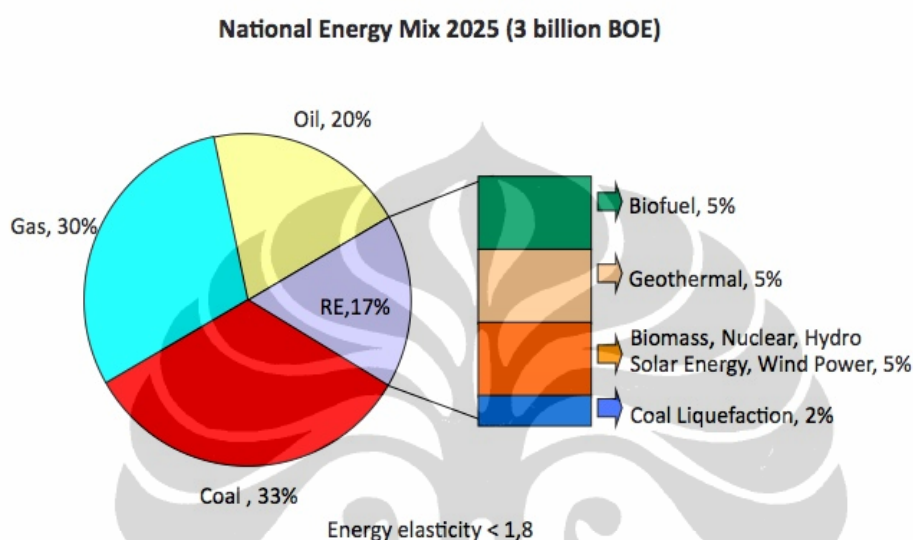
Tabel 2.13 Standar Biodiesel dari Eropa, Amerika Serikat dan Indonesia

No	Parameter	Eropa (EN 14214)	Amerika (ASTM D6751)	Indonesia (SNI 04-7182-2006)
1	Massa jenis pd 40°C, g/cm ³	0,860-0,900	***	0,850 – 0,890
2	Viskositas kinematik pd 40 °C	3,5-5,0	1,9-6,0	2,3 – 6,0
3	Angka setana	Min. 51	Min. 57	Min. 51
4	Titik nyala (closed cup)	Min. 120 °C	130 oC	Min. 100
5	Titik kabut	***	***	Maks. 18
6	Korosi tembaga (3 jam pada 50 °C)	***	Maks. No. 3	Maks. no 3
7	Residu karbon - dalam contoh asli - dalam 10 % ampas distilasi	*** ***	Maks. 0,05% massa	Maks 0,05% massa Maks. 0,3% massa
8	Air dan sedimen	***	Maks. 0,05% volume	Maks. 0,05% vol.
9	Temperatur distilasi 90 %	***	Maks. 360 oC	Maks. 360 oC
10	Abu tersulfatkan	***	Maks. 0,02% massa	Maks.0,02% massa
11	Belerang	Maks. 10 ppm	Maks. 0,05% massa	Maks. 100 ppm
12	Fosfor	Maks 10 ppm	Maks. 0,001% massa	Maks. 10 ppm
13	Angka asam	***	Maks. 0,8 mg KOH/g	Maks.0,8 mgKOH/g
14	Gliserol bebas	***	Maks. 0,02% m/m	Maks. 0,02% m/m
15	Gliserin total	0,25%	Maks. 0,24% m/m	maks. 0,24% m/m
16	Kadar ester alkil	Min. 96,5%	***	min. 96,5% m/m
17	Angka iodium	Maks. 120	***	Maks. 115
18	Kandungan methanol	Maks. 0,2 %	***	***
19	Uji Halphen	***	***	Negatif

*** Tidak ditentukan spesifikasinya

2.3.2 Mandat Penggunaan Bahan Bakar Nabati

Prospek pemberdayaan bahan bakar alternati dalam hal ini BBN didorong atas adanya keputusan presiden No.5 Tahun 2006 yang berisikan target bauran energi nasional seperti yang terpaparkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.9 Target Bauran Energi Nasional

(Sumber: Potensi Pengembangan BBN, Depperin, 2008)

Dari gambar di atas, terlihat bahwa proporsi BBN mencapai 5% yang dimana biodiesel termasuk di dalamnya. Proporsi yang lebih detail dari jenis BBN yang ada dalam hal ini biodiesel dan bioethanol sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2008 terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2.14 Target Minimum Penggunaan Biodiesel untuk Berbagai Sektor

Sector	BIODIESEL (Minimum)					
	2008	2009	2010	2015	2020	2025
Transportasi, PSO	1% (Existing)	1%	2.5%	5%	10%	20%
Transportasi, Non PSO		1%	3%	7%	10%	20%
Industri	2.5%	2.5%	5%	10%	15%	20%
Listrik	0.1%	0.25%	1%	10%	15%	20%

(Sumber: Potensi Pengembangan BBN, Depperin, 2008)

Tabel 2.15 Target Minimum Penggunaan Bioethanol untuk Berbagai Sektor

BIOETHANOL (Minimum)						
Sektor	2008	2009	2010	2015	2020	2025
Transportasi, PSO	3% (Existing)	1%	3%	5%	10%	15%
Transportasi, Non PSO	5% (Existing)	5%	7%	10%	12%	15%
Industri		5%	7%	10%	12%	15%

(Sumber: Potensi Pengembangan BBN, Depperin, 2008)

2.4 CAMPURAN BIODIESEL

Biodiesel adalah bahan bakar yang dapat disintesa dari minyak nabati, minyak hewan dan minyak nabati/hewan bekas pakai. Biodiesel dapat disintesa dengan mereaksikan 80-90% minyak nabati/hewan, 10-20% alkohol dan 0,35-1,5% catalyst. Reaksi pembuatan biodiesel tersebut dinamakan transesterifikasi dan bertujuan untuk menurunkan viskositas dari minyak. Produk akhir dari transesterifikasi adalah methyl ester atau sering disebut biodiesel.

Biodiesel merupakan bahan bakar yang stabil, bersifat mengurangi tingkat emisi gas buang, bercampur secara sempurna dengan minyak diesel mineral (solar) dan bekerja dengan baik pada semua jenis mesin diesel. Selain mengurangi emisi keunggulan biodiesel yang utama adalah tidak diperlukan modikasi mesin untuk menjalankan mesin disel. Biodiesel dapat dituang langsung kedalam tangki bahan bakar kendaraan.

Biodiesel biasanya digunakan dalam bentuk campuran dengan minyak diesel. Biodiesel campuran atau BXX merupakan bahan bakar yang terdiri dari XX% biodiesel dan (100-XX)% minyak diesel. Contohnya adalah B100 merupakan biodiesel murni, sedangkan B30 merupakan campuran 30% biodiesel dan 70% minyak diesel. Pada prinsipnya biodiesel murni maupun campuran dapat digunakan pada semua jenis mesin diesel/kompresi termasuk kendaraan penumpang, truk, traktor, kapal, genset dan mesin industri lainnya.

Blending yang tepat yaitu :

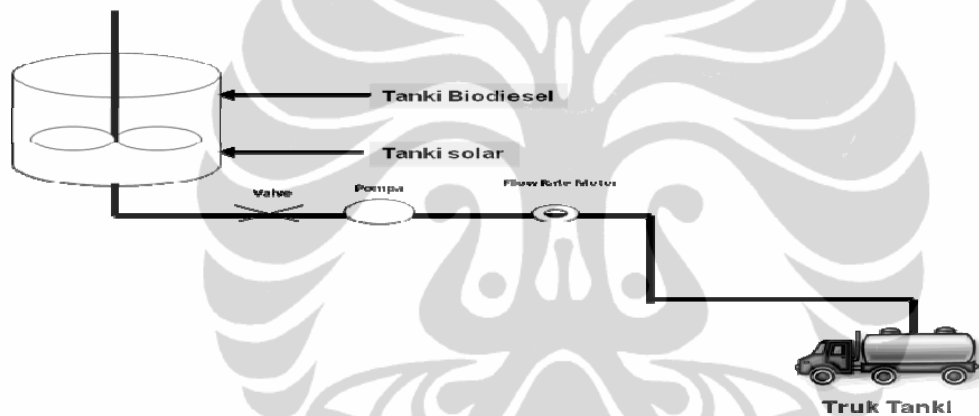
- Blending yang tepat adalah tradeoff antara kesesuaian bahan (material compatibility), car manufacture acceptance, biaya ekstra yang ditanggung pengguna, karakteristik emisi dan daya kelarutan

- Rekomendasi Wide World Fuel Chapter : 5% biodiesel blending tidak memerlukan perubahan terhadap engine
- Amerika Serikat telah mengimplementasikan 20% blending
- Indonesia yang berada di daerah tropis tidak memiliki permasalahan serius dengan Cold Flow Filter Properties dan Cold Start di mesin.

Macam-macam Metoda Pencampuran :

Splash Blending

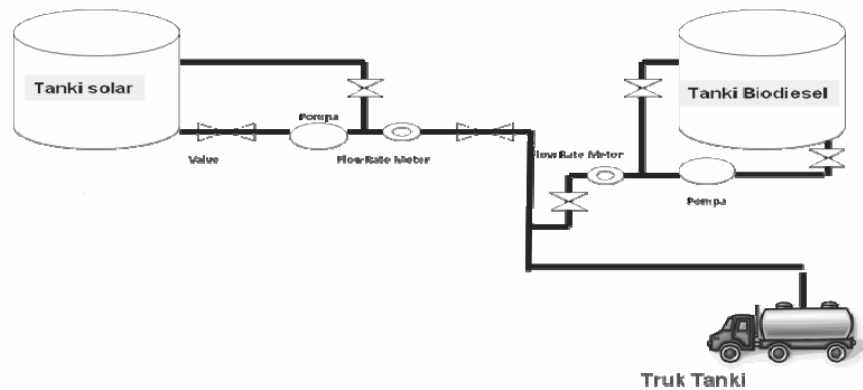
Biodiesel dan solar dimasukkan kedalam suatu vessel secara terpisah. Aksi pencampuran terjadi pada saat agitasi dan pada tanki saat pengiriman ke pengguna.



Keunggulan	Kelemahan
<ul style="list-style-type: none"> • Murah dan secara teknis bagus 	<ul style="list-style-type: none"> • Semua BBM yang telah dicampur tidak dapat lagi dijual sebagai murni BBM
<ul style="list-style-type: none"> • Dapat mencampur semua biodiesel ke dalam tanki BBM 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanki perlu disirkulasi untuk mempertahankan suspensi yang optimal
<ul style="list-style-type: none"> • Biodiesel dapat dimasukkan ke tanki storage kapanpun 	<ul style="list-style-type: none"> • Semua BBM yang telah dicampur tidak dapat lagi dijual sebagai murni BBM
<ul style="list-style-type: none"> • Dapat diinjeksikan secara proportional 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanki perlu disirkulasi untuk mempertahankan suspensi yang optimal
<ul style="list-style-type: none"> • Investasi peralatan yang minimal 	<ul style="list-style-type: none"> • Semua BBM yang telah dicampur tidak dapat lagi dijual sebagai murni BBM

Inline Blending

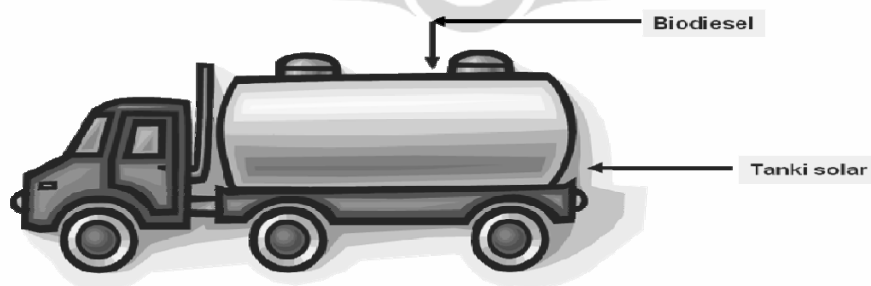
Biodiesel ditambahkan ke aliran pipa diesel oil secara proportional sesuai dengan rasio blending yang dikehendaki. Aksi pencampuran terjadi dalam pipa dan selama bercampur pada saat pengiriman.



Keunggulan	Kelemahan
<ul style="list-style-type: none"> Murah dan secara teknis bagus 	<ul style="list-style-type: none"> Memerlukan line mixing yang agak panjang untuk memastikan complete mixing
<ul style="list-style-type: none"> Beroperasi dengan instalasi pipa biodiesel dan connection loading line minyak diesel 	<ul style="list-style-type: none"> Mungkin diperlukan internal baffle sepanjang line pencampuran
<ul style="list-style-type: none"> Aliran dapat diatur dengan menggunakan control valve dan pulse meter bagi yang menginginkan otomatisasi 	<ul style="list-style-type: none">

Intank Blending

Biodiesel dan diesel oil dimasukkan dalam suatu vessel secara simultan dari dua sumber yang terpisah tapi dengan tekanan dan flow rate yang tinggi sehingga tidak lagi memerlukan agitasi. Aksi pencampuran berlanjut pada saat pengiriman. Homogenitas sering kali dipertanyakan dalam metode ini. Untuk itu pengambilan sample density harus dilakukan.



Keunggulan	Kelemahan
<ul style="list-style-type: none"> Murah 	<ul style="list-style-type: none"> Memerlukan pompa dengan tekanan tinggi untuk memasukkan biodiesel Seringkali pencampuran tidak homogen

Rack Injection Blending

Keunggulan	Kelemahan
<ul style="list-style-type: none"> • Murah dan secara teknis bagus 	<ul style="list-style-type: none"> • Untuk investasi awal relatif mahal dibanding metode yang lain
<ul style="list-style-type: none"> • Biodiesel dapat dicampur secara proportional 	
<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan sistem otomatisasi yang ada dan loading arm yang ada. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Perubahan dapat dilakukan dengan pemrograman yang mudah 	
<ul style="list-style-type: none"> • Mirip dengan metode pencampuran yang biasa digunakan dalam etanol pada bensin. 	

Penyimpanan Rack Injection Blending

Stabilitas :

- Oksidasi berpotensi terjadi pada penyimpanan dan transportasi B100
- Oksidasi pada B5 lebih berpotensi terjadi dari pada BBM murni
- Data untuk storage stability mengenai hal ini sangat terbatas dan hanya dilakukan secara parsial di beberapa negara saja
- Thermal Stability: Relatif tidak ada masalah

Kelarutan :

- FAME sebenarnya adalah merupakan mild solvent
- Sudah lama menjadi Senyawa organik low volatile untuk bahan pembersih
- Mampu melarutkan sludge yang sering timbul di tanki timbun BBM
- Mampu melarutkan kerak-kerak di tank, line dan cat

2.4.1 Estimasi Sifat Kimia Fisika Campuran Biodiesel

Berikut ini akan diuraikan mengenai metode untuk estimasi sifat kimia fisika campuran biodiesel (dengan solar). Metode yang digunakan adalah sederhana yaitu mengacu prinsip pencampuran antara senyawa hidrokarbon dan metode regresi linier. Sifat kimia fisika campuran diperlukan untuk mengevaluasi sejauh mana bahan bakar dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan pihak yang berwenang. Ditjen Migas telah menentukan spesifikasi van bakar mesin diesel, yaitu untuk Solar, Solar PERTAMINA DEX dan Bio-Solar (B5 & B10). Bahan bakar yang akan digunakan dalam penelitian ini hendaknya mengacu

spesifikasi Bio-Solar. Berikut ini adalah formulasi beberapa sifat kimia fisika yang penting, meliputi densitas, viskositas, bilangan setana dan nilai kalor.

Densitas

Densitas sebuah campuran yang terdiri dari senyawa hidrokarbon dapat diestimasi menggunakan sebuah formula yang sederhana berikut ini:

$$\rho_{mix} \propto \sum x_i \cdot \rho_i \quad (2.1)$$

Dimana densitas campuran (ρ_{mix}) berbanding lurus dengan jumlah perkalian antara densitas (ρ_i) dan komposisi bahan penyusun (x_i). Untuk mendapatkan model densitas campuran dapat digunakan teknik regresi linier dimana data pengukuran densitas campuran dicocokkan (fitting) dengan data densitas dan komposisi bahan penyusun. Proses regresi linier dari data pengukuran densitas campuran solar-biodiesel menghasilkan persamaan yang berbentuk:

$$\rho_{mix} = m_1 x_1 \cdot \rho_1 + m_2 x_2 \cdot \rho_2 + b \quad (2.2)$$

Dimana x_1 : komposisi biodiesel dan x_2 : komposisi solar. Kemudian ρ_1 : densitas biodiesel dan ρ_2 : densitas solar. Sedangkan m_1 , m_2 dan b adalah konstanta hasil regresi linier.

Viskositas

Estimasi viskositas campuran merupakan masalah dalam estimasi sifat fisika kimia, karena pada umumnya menghasilkan kesalahan yang cukup signifikan. Salah satu model yang dapat digunakan untuk estimasi viskositas adalah sebagai berikut:

$$\ln(\eta_{mix}) \propto \sum x_i \cdot f(\eta_i) \quad (2.3)$$

Dimana η_{mix} : viskositas campuran dan η_i : viskositas komponen penyusun. $f(\eta_i)$ merupakan fungsi dari viskositas yang dipilih secara trial-error. Dalam penelitian ini dipilih $f(\eta_i) = \ln(\eta_i)$. Proses regresi linier dari data pengukuran viskositas campuran akan didapat konstanta m_1 , m_2 dan b seperti pada persamaan (2.2).

Nilai Kalor

Nilai kalor menunjukkan energi yang dihasilkan dari proses pembakaran. Nilai kalor biasanya mempunyai karakteristik campuran yang sederhana seperti berikut:

$$H_{mix} \propto \sum x_i \cdot H_i \quad (2.4)$$

Dimana H_{mix} : nilai kalor campuran dan H_i adalah nilai kalor komponen penyusun. Untuk mendapatkan model yang teknik regresi linier juga dapat digunakan.

Bilangan Setana

Bilangan setana adalah ukuran kualitas penyalaan sebuah bahan bakar disel dalam keadaan terkompresi. Bilangan setana dari minyak disel konvensional dipengaruhi oleh struktur molekul hidrokarbon penyusun. Normal parafin dengan rantai panjang mempunyai bilangan setana lebih besar dari pada cyclo parafin, iso parafin, olefin dan aromatik. Bilangan setana komponen biodisel juga sangat bervariasi. Metyl ester dari asam lemak palmitat dan stearat mempunyai bilangan setana hingga 75, sedangkan bilangan setana untuk linoleat hanya mencapai 33. Untuk kemudahan, dipilih model sederhana untuk estimasi bilangan setana campuran, yaitu :

$$P_{mix} \propto \sum x_i \cdot P_i \quad (2.5)$$

Dimana P_{mix} : bilangan setana campuran dan P_i adalah bilangan setana komponen penyusun. Jika teknik regresi linier diterapkan seperti pada persamaan (2), maka didapatkan konstanta m_1 , m_2 dan b .

Metoda perhitungan sifat fisika campuran biodiesel menjadi kebutuhan dalam mengembangkan formulasi biodiesel yang dapat memenuhi kualitas standar yang ditetapkan.

2.5 EMISI TRANSPORTASI

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif pertama yang dipakai untuk melengkapi evaluasi dari hasil emisi dan efek potensial kesehatan yang disampaikan ke Agen Perlindungan Lingkungan Negara Amerika di bawah pengawasan seksi Aksi Kebersihan Udara. Program-program ini termasuk pengujian emisi yang paling ketat yang pernah di protokoli oleh EPA untuk seritifaksi bahan bakar aditif di Amerika. Data yang di kumpulkan bersama tes ini melengkapi persediaan yang paling mendalam tentang dampak kesehatan lingkungan manusia dan atribut bahwa teknologi saat ini akan memungkinkan. Sebuah survei hasil diberikan dalam tabel.

Keseluruhan ozon (asap) membentuk potensi biodiesel lebih rendah dari solar. Ozon membentuk potensidari yang di jeniskan emisi hidrokarbon hampir kurang dari 50% pengukuran untuk bahan bakar diesel.

Emisi sulfur pada dasarnya di eleminasi dengan biodiesel murni. Pembuangan emisi oksida sulfur dan sulfat (komponen utama hujan asam) dari biodiesel pada dasarnya di eleminasi dibandingkan dengan oksida sulfur dan sulfat dari diesel.

Kriteria Polutan - polutan diturunkan dengan penggunaan biodiesel. Penggunaan biodiesel di timbunan tak termodifikasi N14 mesin diesel menghasilkan pengurangan besar dari hidrokarbon yang tidak terbakar, karbon monoksida dan macam-macam partikel. Emisi oksida nitrogen sedikit meningkat.

Karbon Monoksida - pembuangan emisi karbon monoksida (gas beracun) dari diesel adalah 50% lebih rendah dibandingkan dengan emisi karbon monoksida dari diesel.

Particulate Matter - Pernapasan partikulat telah terbukti berbahaya bagi kesehatan manusia. Pembuangan emisi partikulat dari biodiesel sebanyak 30 persen lebih rendah dibandingkan dari keseluruhan materi partikulat dari biodiesel.

Hidrokarbon - pembuangan emisi total hidrokarbon (salah satu faktor dalam pembentukan lokal kabut asap dan ozon) adalah 93 persen lebih rendah dari biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar solar.

Nitrogen Oksida - emisi Nox dari kenaikan atau penurunan biodiesel tergantung pada keluarga mesin dan percobaan keluarga dan uji coba prosedur. Emisi Nox (salah satu faktor dalam pembentukan lokal kabut asap dan ozon) dari (100%) biodiesel murni meningkat di tes menjadi 13 persen. Namun, biodiesel dari kurangnya sulfur memungkinkan penggunaan teknologi kontrol Nox yang tidak dapat digunakan dengan diesel konvensional. Jadi, biodiesel emisi Nox dapat dikelola secara efektif dan efisien di eliminasi sebagai kepedulian menggunakan bahan bakar.

Biodiesel mengurangi resiko kesehatan yang terkait dengan solar minyak bumi. Biodiesel emisi menunjukkan penurunan tingkat PAH dan PAH nitrated senyawa yang telah di identifikasikan sebagai penyebab kanker potensi senyawa. Dalam pengujian baru-baru ini, senyawa PAH berkurang sebesar 75 hingga 85 persen, dengan pengecualian benzo (*a antrasena*), yang diturunkan sekitar 50 persen. Target nPAH senyawa tersebut juga mengurangi secara dramatis bahan bakar biodiesel, dengan 2 *nitroflourene* dan 1- *nitropyrene* diturunkan menjadi 90 persen, dan sisanya dari nPAH senyawa diturunkan hanya pada tingkat-tingkat tertentu.

Biodiesel untuk keamanan dan kesehatan lingkungan :

- Biodiesel tidak beracun. LD50 akut oral (dosis mematikan) adalah lebih besar dari 17,4 g / kg berat badan. Sebagai perbandingan, tabel garam (NaCl) adalah hampir 10 kali lebih beracun.
- Dalam 24-jam. uji tempel Manusia menunjukkan bahwa iritasi yang dihasilkan biodiesel murni iritasi sangat ringan. iritasi itu kurang dari hasil yang dihasilkan oleh sabun 4 persen dan solusi air.
- Dalam 96-jam. Lethal konsentrasi untuk bluegill biodiesel kelas ester metil lebih besar dari 1000 mg/L. Lethal konsentrasi pada tingkat ini umumnya dianggap "tidak penting" menurut NIOSH (National Institute untuk Keselamatan dan Kesehatan) pedoman dalam perusahaan Registry Dampak Bahan Kimia Beracun
- Biodiesel menurunkan sekitar empat kali lebih cepat dari diesel minyak bumi. Dalam 28 hari, degradasi biodiesel murni 85-88 persen dalam air. Dekstrosa (uji gula yang digunakan sebagai kontrol positif

ketika biodegradabilitas pengujian) terdegradasi pada tingkat yang sama. Pencampuran biodiesel dengan solar mempercepat biodegradabilitasnya. Misalnya, campuran 20 persen bahan bakar diesel menurunkan dua kali lebih cepat dari diesel sendiri.

- Titik flash bahan bakar didefinisikan sebagai temperatur di mana ia akan terbakar saat terkena percikan atau nyala. titik nyala Biodiesel yang lebih dari 125°C bahan bakar, jauh di atas titik nyala bahan bakar diesel berbasis minyak bumi sekitar 58°C. Pengujian menunjukkan titik nyala meningkat campuran biodiesel sebagai persentase kenaikan biodiesel. Oleh karena itu, biodiesel dan campuran biodiesel dengan minyak solar lebih aman untuk di tangani persediaannya, dan digunakan daripada bahan bakar solar konvensional.

2.5.1 Efek Kualitas Biodiesel Terhadap Unjuk Kerja Mesin

Massa Jenis

Massa jenis biodiesel tidak terlalu berhubungan dengan unjuk kerja mesin. Massa jenis digunakan terutama untuk mengetahui volume dalam transportasi dan penyimpanan. Massa jenis biodiesel berbagai bahan baku di Indonesia dengan mudah memenuhi spesifikasi 0,850 – 0,890 g/cm³. Biodiesel dikenal memiliki bilangan setana biodiesel yang tinggi. Bilangan setana biodiesel sawit, jarak pagar dan kelapa coconut berturut-turut adalah 50-70, 51 dan 63 (Mittelbach, 2004) dan akan memenuhi spesifikasi (>51). Bilangan setana yang tinggi membuat pembakaran biodiesel lebih lembut dan sempurna (emisi rendah).

Viskositas

Viskositas merupakan faktor penting bagi biodiesel. Viskositas yang terlalu tinggi (melebihi spesifikasi) akan menimbulkan masalah bagi atomisasi dan pembakaran. Yang pada akhirnya menimbulkan deposit pada ujung injector. Konsekuensi dari fenomena ini adalah kehilangan tenaga dan kerusakan total pada mesin. Jika proses transesterifikasi biodiesel sawit, jarak pagar dan lain-lain cukup sempurna maka spesifikasi viskositas 2,3 – 6,0 cSt mudah dipenuhi. Viskositas biodiesel yang terlalu tinggi juga akan meningkatkan kelarutan dalam pelumas

mesin. Kelarutan biodiesel lebih dari 3,5% akan menurunkan viskositas secara drastis dan menyebabkan keausan logam yang tinggi.

Kandungan Kalori

Kandungan kalori biodiesel kira-kira 10% lebih rendah dari minyak diesel mineral. Oleh karena itu power dan torsi yang dihasilkan mesin juga lebih rendah. Kandungan kalori biodiesel dari berbagai bahan baku tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Meskipun komposisi asam lemak sangat bervariasi antara minyak nabati yang satu dengan yang lainnya.

Titik Nyala

Titik nyala biodiesel harus cukup tinggi, hal ini untuk menjamin keamanan dari bahaya kebakaran. Kebanyakan biodiesel B100 memiliki titik nyala lebih besar dari 150°C. Namun demikian sisa methanol dari proses pembuatan biodiesel akan menurunkan titik nyala secara signifikan. Meskipun penurunannya tidak akan lebih rendah dari 100°C (memenuhi spesifikasi), kandungan methanol sebesar $> 0,2\%$ akan membahayakan buat mesin dan komponen lainnya. Kehadiran methanol dalam biodiesel dapat merusak seal pompa bahan bakar dan mengganggu proses pembakaran. Menjadi pertanyaan bagi standar biodiesel Indonesia yang tidak mencantumkan kandungan methanol dalam biodiesel karena standar titik nyala min. 100°C cukup beresiko dibanding standar biodiesel Amerika (min. 130°C) ataupun Eropa (min. 12 °C) yang dilengkapi dengan kandungan methanol maks. 0,2%. Penggunaan biodiesel coconut B100 pada mesin genset telah merusak seal dari sistem pelumasan sehingga menimbulkan kebocoran pelumas.

Titik Kabut

Titik Kabut biodiesel menjamin agar mesin diesel dapat beroperasi dengan baik pada temperatur lingkungan yang rendah. Standar nasional 18°C untuk titik kabut hanya berlaku untuk daerah tropis dan sekitarnya dimana suhu lingkungannya $>25^{\circ}\text{C}$.

Korosi Tembaga

Korosi tembaga berguna untuk mengetahui potensi komponen tembaga dalam sistem bahan bakar terhadap korosi karena kontak dengan biodiesel. Biodiesel pada umumnya tidak korosif terhadap tembaga namun yang dikhawatirkan adalah sebaliknya. Tembaga bersifat katalis terhadap reaksi oksidasi biodiesel yang akan membentuk endapan.

Kandungan Sulfur

Lain dengan minyak diesel mineral, biodiesel dapat dikatakan bebas sulfur atau kandungan sulfurnya sangat kecil jika dibuat dari minyak nabati dengan bantuan katalis asam sulfat. Selain itu ada kemungkinan bahan baku untuk biodiesel terkontaminasi sulfur. Standar Eropa EN 590 menyatakan bahwa bahan bakar dinyatakan bebas sulfur jika kandungannya dibawah 10 ppm. Bahan bakar dengan sulfur tinggi sangat buruk bagi kesehatan dan lingkungan. Kendaraan beroperasi dengan bahan bakar ber-sulfur tinggi akan menghasilkan emisi partikulat dan SO₂ yang tinggi pula. Selain itu sulfur akan menurunkan kinerja alat pereduksi emisi (merusak *catalytic converter*)

Kandungan Air

Biodiesel kualitas tinggi tidak boleh mengandung air lebih dari 500 ppm. Kadar air dalam biodiesel tergantung dari proses pembuatannya yaitu pencucian. Oleh karena itu proses pengeringan dilakukan agar kandungan air dibawah 500 ppm. Air dalam biodiesel dapat meningkatkan pertumbuhan yang dapat menghasilkan padatan (*sludge*) dan pada akhirnya akan memblok filter bahan bakar. Air juga menyebabkan reaksi hidrolisa biodiesel menjadi asam lemak bebas yang akhirnya memblok filter bahan bakar¹. Fenomena pengeblokan filter bahan bakar sering dialami kendaraan yang menggunakan biodiesel, sehingga dapat menurunkan tenaga mesin secara drastis

2.5.2 Efek Kualitas Biodiesel Terhadap Emisi Gas Buang

Salah satu keunggulan biodiesel dibanding mineral adalah ramah lingkungan (*renewable, biodegradable & low emission*) dan bersifat *non-toxic*. Biodiesel merupakan satu-satunya bahan bakar alternatif yang telah selesai menjalani test *health effect* yang berat dari persyaratan *The Clean Air Act*. Biodiesel (100%) telah diteliti mengurangi emisi dibanding minyak diesel sebagai berikut mengurangi emisi partikulat 40-60%, emisi gas karbonmonoksida (CO) 10-50%, emisi gas hidrokarbon (HC) 10-50%, emisi *aldehyde-aromatic* 13% dan emisi gas beracun *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH, *carcinogenic*) 70-97%. Beberapa sifat kimia fisika biodiesel telah diidentifikasi memiliki korelasi dengan kandungan emisi gas buang, diantaranya bilangan iodine (kandungan rantai tak jenuh), panjang rantai hidrokarbon, densitas, bilangan setana, viskositas, kandungan oksigen.

Bilangan Iodine

Emisi NO_x dikenal meningkat secara linier jika kandungan ikatan rangkap (bilangan iodine) meningkat. Kandungan ikatan rangkap biodiesel dari minyak sawit (BI= <50) dikenal termasuk yang paling rendah dibandingkan biodiesel dari minyak kedelai (BI=>100), kanola (BI= >100) dan minyak jarak (BI=>50). Sehingga diprediksi emisi NO_x dari biodiesel sawit lebih rendah dibanding biodiesel berbahan baku lainnya. Sementara itu kandungan ikatan rangkat tidak terlalu berpengaruh terhadap kandungan emisi partikulat, demikian pula dengan emisi CO dan hidrokarbon.

Panjang Rantai Hidrokarbon

Telah diketahui bahwa memperpendek rantai karbon akan menurunkan titik didih, viskositas dan sifat lainnya. Dari pengujian biodiesel berbahan baku laurat (C12), palmitat (C16) dan stearat (C18) terbukti bahwa emisi NO_x semakin tinggi jika rantai hidrokarbon semakin pendek. Namun demikian emisi NO_x hasil pembakaran biodiesel laurat (C12) masih sama atau lebih rendah dari pembakaran minyak diesel mineral. Oleh karena itu memperpendek rantai hidrokarbon merupakan strategi yang digunakan untuk meningkatkan kualitas biodiesel.

Seperti dengan kandungan rantai rangkap, panjang rantai hidrokarbon juga tidak berpengaruh terhadap emisi partikel, CO dan hidrokarbon.

Densitas

Densitas biodiesel dipengaruhi oleh kandungan ikatan rangkap dan panjang rantai hidrokarbon. Secara umum telah dibuktikan bahwa semakin tinggi densitas semakin tinggi pula kadar emisi gas NO_x dan emisi partikel juga tidak terlalu dipengaruhi oleh densitas. Namun demikian untuk densitas yang terlalu tinggi (>890 kg/m³) emisi partikel meningkat secara tajam. Hal ini karena bahan bakar dengan densitas terlalu tinggi akan menyulitkan aliran dan memperburuk atomisasi.

Bilangan Setana

Bilangan setana dipengaruhi oleh komposisi asam lemak penyusun biodiesel, oleh karena itu juga dipengaruhi oleh panjang rantai hidrokarbon dan kandungan rantai rangkap juga. Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi bilangan setanas semakin rendah kadar emisi NO_x maupun partikel (demikian pula dengan CO dan hidrokarbon)

Kandungan Oksigen

Kandungan oksigen sangat penting dalam menentukan kadar emisi gas buang. Kandungan biodiesel murni (B100) memiliki rentang antara 9-12%. Namun untuk campuran biodiesel-solar, rentang kandungan oksigen menjadi lebar mulai dari 0% untuk B0 dan 12% untuk B100. Telah dibuktikan bahwa semakin tinggi kandungan oksigen dalam campuran biodiesel semakin sempurna pembakarannya sehingga semakin rendah emisi NO_x, partikulat, CO dan hidrokarbon.

2.5.3 Efek Kualitas Biodiesel Terhadap Pembakaran Mesin

Kandungan kalori dalam biodiesel sekitar 10% lebih rendah dibanding minyak diesel mineral. Biodiesel mengandung sekitar 37 Megajoule per kg dimanan minyak diesel mineral mengandung 42 megajoule per kg. Meskipun demikian biodiesel memiliki efisiensi pembakaran yang lebih bagus sekitar 7% dibanding minyak diesel mineral, sehingga power dan torsi yang dihasilkan mesin

sedikit lebih rendah yaitu sekitar 5%. Dalam praktek, perbedaan dalam power dan torsi ini tidak terlalu dirasakan oleh pengemudi kendaraan.

Bilangan setana biodiesel berkisar antara 50 dan 60, tergantung dari bahan baku yang digunakan. Biodiesel berbahan baku dari lemak jenuh seperti, minyak hewan dan minyak goreng bekas akan memiliki bilangan setane yang lebih tinggi dari yang berbahan baku lemak tidak jenuh (kelapa sawit, kedelai, jagung dll). Efek dari biodiesel yang mempunyai bilangan setana tinggi adalah mempersingkat waktu penyalaan setelah dilakukan penyemprotan bahan bakar. Hal ini akan memperlambat kenaikan temperatur dalam ruang bakar dan mengurangi kebisingan mesin. Hasil penelitian Lemigas mengenai kebisingan secara umum dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar B30 tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kebisingan mesin.

2.5.4 Efek Biodiesel Terhadap Pelumasan

Menurut penelitian, penambahan biodiesel sebanyak 0,4-5% kedalam minyak diesel mineral akan meningkatkan pelumasan bahan bakar dan mesin. Komponen dalam pompa bahan bakar memerlukan sulfur yang terkandung dalam minyak diesel mineral sebagai pelumas. Namun demikian, jika sulfur terbakar dalam mesin akan menghasilkan sulfur dioksida (SO_2) yang merupakan komponen utama hujan asam. Regulasi bahan bakar internasional (Amerika, Eropa dan Jepang) telah membatasi kandungan sulfur dalam minyak diesel mineral. Oleh karena itu peran sulfur dapat digantikan oleh biodiesel (methyl ester dalam mempertahankan daya pelumasan bahan bakar).

Hasil penelitian pada tahun 1980-an tentang pengaruh penggunaan biodiesel pada pelumas mesin menunjukkan bahwa pelumas mesin akan sedikit mengalami penurunan viskositas. Namun demikian hal ini tidak memperburuk kondisi pelumas maupun kondisi/tingkat keausan mesin. Beberapa penelitian justru terlalu melaporkan hal yang sebaliknya dimana tingkat keausan mesin lebih rendah, hal ini karena biodiesel sendiri merupakan pelumas yang bagus. Selain itu mesin diesel produksi mulai tahun 1990-an sudah dilengkapi ring piston yang dapat mengontrol jumlah kelarutan bahan bakar kedalam oli. Hasil penelitian tentang

penggunaan biodiesel sawit pada mesin melaporkan adanya penurunan jumlah partikel soot dalam oli dan tingkat keausan logam besi (Fe). Sebagian besar peneliti berpendapat bahwa jika menggunakan biodiesel sebaiknya periode penggantian oli dikurangi dari biasanya hal ini untuk mencegah efek penurunan viskositas

2.5.5 Emisi Kendaraan Bermotor

Pada tanggal 23 September 2003 Menteri Negara Lingkungan Hidup mengeluarkan keputusan yang menetapkan bahwa kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan yang sedang diproduksi harus mengalami uji emisi dengan prosedur uji yang baru dan harus memenuhi ambang batas yang lebih ketat (KEP-141). Keputusan tersebut rencananya diberlakukan mulai tahun 2005. Tabel 4.7 memuat ambang batas emisi yang harus dipenuhi kendaraan bermotor kategori M dan N untuk penggerak motor bakar kompresi (diesel). Nilai ambang batas tersebut mengacu pada KEP-141 dimana metode uji yang digunakan adalah ECE R 83-04 atau lebih dikenal dengan Euro 2.

Tabel 2.16 Batas Emisi Gas Buang untuk Penggerak Motor Bakar Diesel Kategori M

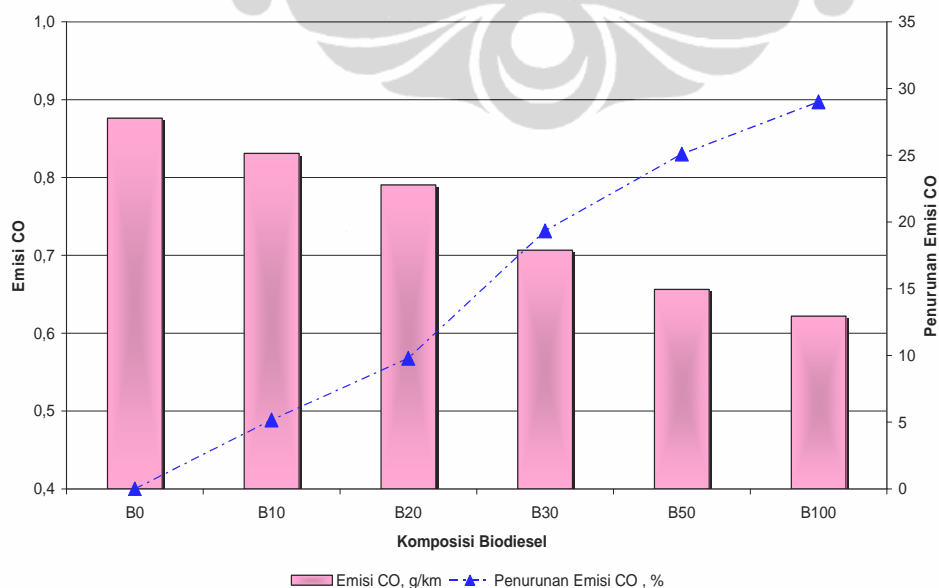
No	Kategori	Parameter	Nilai ambang batas ECE R 83-04
			Metode uji ECE R 83-04
1	M1, GVW \leq 2,5 ton, tempat duduk \leq 5 tidak termasuk pengemudi	CO HC+NO _x PM	1,0 gram/km 0,7 (0,9) gram/km 0,08 (0,1) gram/km
2	M1, Tempat duduk 6-8 tidak termasuk pengemudi, GVW > 2,5 ton atau N1, GVW \leq 3,5 ton a. Kelas I, RM \leq 1250 kg	CO	1,0 gram/km
		HC+NO _x	0,7 (0,9) gram/km
		PM	0,08 (0,1) gram/km
	b. Kelas II, 1250 kg < RM \leq 1700 kg	CO	1,25 gram/km
		HC+NO _x	1,0 (1,3) gram/km
		PM	0,12 (0,14) gram/km
	c. Kelas III, RM >1700 kg	CO	1,5 gram/km
		HC+NO _x	1,2 (1,6) gram/km
		PM	0,17 (0,12) gram/km

GVW: *Gross Vehicle Weight*=jumlah berat yang diperbolehkan; RM: Reference Mass=berat kosong kendaraan ditambah 100 kg

Dalam KEP 141 juga ditetapkan bahwa dalam pengujian wajib digunakan bahan bakar dengan spesifikasi menurut *Economic Commission for Europe* (ECE). Salah satu parameter dalam spesifikasi bahan bakar tersebut misalnya kandungan sulfur dalam minyak diesel tidak boleh melebihi 500 ppm dan kandungan PAH (Poly Aromatic Hydrocarbon) maksimum 6% (m/m).

Efek Campuran Biodiesel terhadap Emisi CO

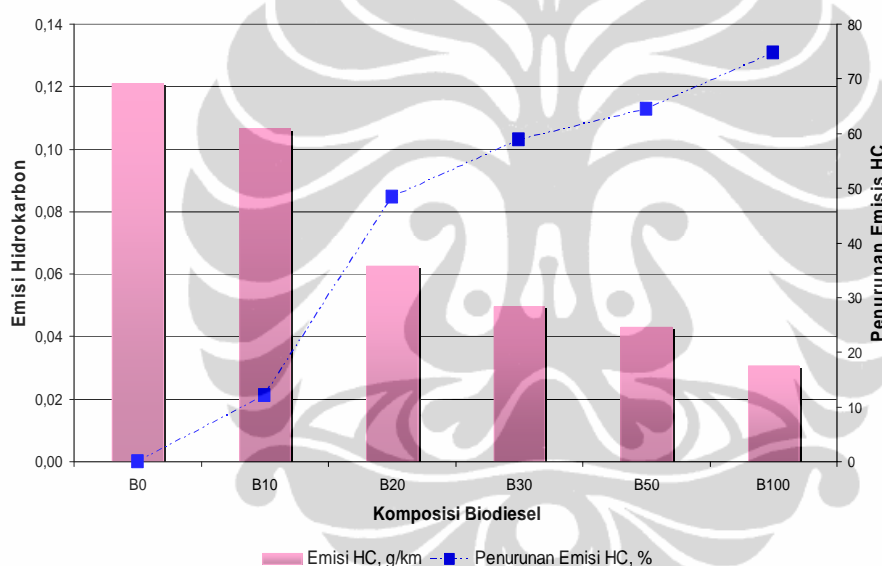
Pengukuran emisi gas buang kendaraan uji dilakukan menggunakan bahan bakar B0 Pertamina, campuran biodiesel sebesar 10, 20, 30 50% kedalam B0 Pertamina dan biodiesel murni (B100). Gambar 2.10 berikut merupakan hasil pengujian gas CO terhadap perubahan campuran biodiesel (B0, B10, B20, B30, B50 dan B100). Gas CO terbentuk karena adanya reaksi pembakaran yang tidak sempurna. Pencampuran biodiesel kedalam minyak disel mineral berarti menambah kadar oksigen dan hal ini menjadikan pembakaran menjadi lebih sempurna. Jika biodiesel murni B100 mengandung sekitar 10% oksigen maka dalam bahan bakar B10, B20, B30 dan B50 kira-kira terdapat 1%, 2%, 3% dan 5% oksigen. Sebagai akibat pembakaran yang lebih sempurna maka emisi CO akan menurun mengikuti jumlah penambahan biodiesel atau oksigen. Besar penurunan emisi CO terhadap penambahan biodiesel untuk B10, B20, B30, B50 dan B100 adalah berturut-turut 5%, 10%, 19%, 25% dan 29%.



Gambar 2.10 Efek campuran biodiesel terhadap emisi CO

Efek Campuran Biodiesel terhadap Emisi HC

Emisi HC terbentuk karena ada porsi bahan bakar yang tidak terbakar sebagai akibat terbentuknya campuran bahan bakar/udara terlalu miskin (terlalu banyak udara) untuk dapat terjadinya penyalan sendiri (*auto-ignition*). Atau hal yang sebaliknya terjadi yaitu terbentuknya campuran bahan bakar/udara yang terlalu kaya terlalu banyak (bahan bakar) untuk dapat terjadinya *auto-ignition*. Rantai karbon yang lebih panjang dan tidak mengandung aromatik menyebabkan bilangan setana dari biodiesel lebih tinggi dari B0. Oleh karena itu pencampuran biodiesel kedalam B0 akan meningkatkan bilangan setana dan akan memperbaiki kualitas pembakaran sehingga dapat menurunkan emisi HC.



Gambar 2.11 Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi HC

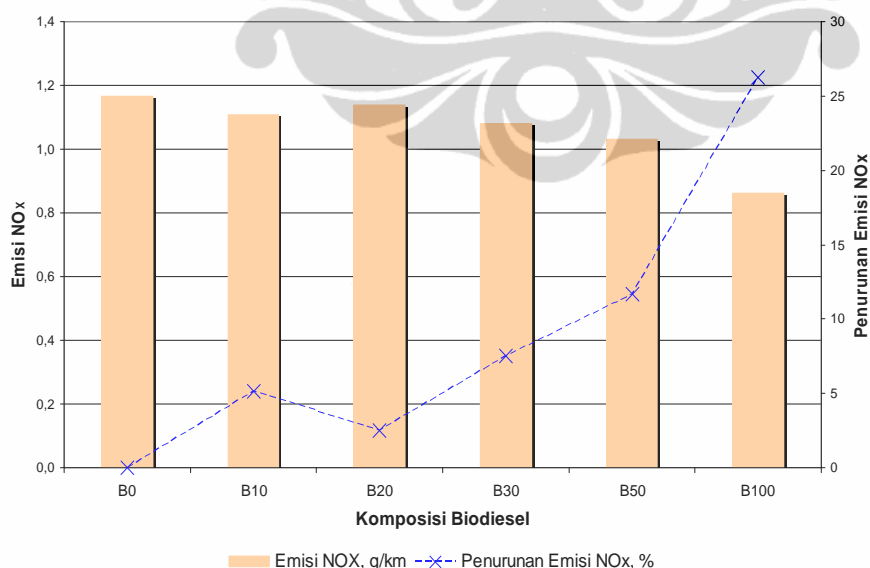
Gambar 2.11 memperlihatkan hasil pengujian emisi HC terhadap perubahan komposisi biodiesel. Emisi HC menurun secara konsisten dengan penambahan biodiesel. Tingkat penurunan emisi HC cukup signifikan untuk bahan bakar B10, B20, B30, B50 dan B100 adalah berturut-turut 12%, 48%, 59%, 62% dan 75%.

Efek Campuran Biodiesel terhadap Emisi NO_x

Terbentuknya emisi NO_x tergantung pada temperatur pembakaran dan kadar oksigen dalam campuran hasil pembakaran. Campuran biodiesel memiliki kemampuan penyalan yang lebih cepat sehingga menyebabkan waktu penyalan

yang lebih dulu/cepat. Hal ini mengakibatkan peningkatan temperatur dan tekanan ruang bakar yang pada akhirnya akan menstimulasi pembentukan NO_x . Hasil pembakaran biodiesel biasanya menghasilkan emisi NO_x yang lebih tinggi. Sifat kimia fisika seperti densitas dan bilangan setana juga turut menentukan kadar emisi NO_x . Emisi NO_x cenderung meningkat dengan kenaikan densitas dan menurunnya bilangan setana.

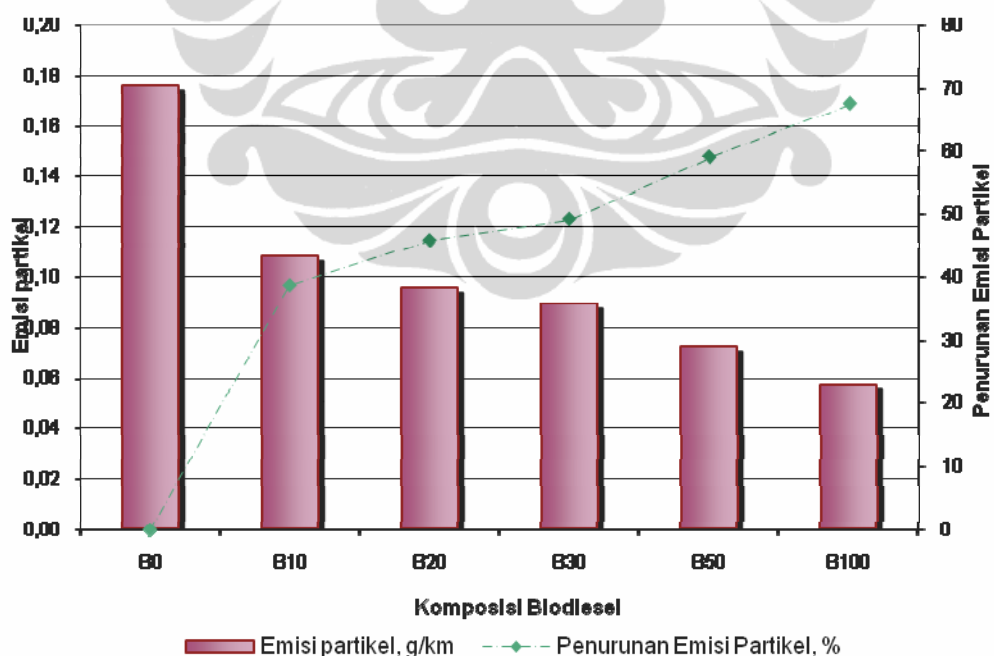
Hasil pengujian pada gambar 2.12 menunjukkan bahwa penambahan biodiesel kedalam B0 telah menyebabkan sedikit penurunan emisi NO_x . Selain dari faktor bahan bakar, emisi NO_x juga ditentukan oleh jenis (teknologi) mesin yang digunakan dan siklus pengujian. Mesin uji yang digunakan pada penelitian ini adalah berteknologi modern (*common rail*) sementara itu pada pengujian sebelumnya yang juga menghasilkan penurunan emisi NO_x dengan bahan bakar B30, menggunakan mesin *non common rail*. Secara umum pembentukan NO_x sangat kompleks, dipengaruhi oleh faktor bahan bakar, teknologi mesin dan siklus pengujian. Pengujian biodiesel dari CPO menggunakan siklus EURO 2 menyebabkan penurunan emisi NO_x pada teknologi mesin *common rail*. Penurunan emisi NO_x (gambar 2.12) hasil pengujian dari bahan bakar B10, B20, B30, B50 dan B100 adalah berturut-turut 5%, 2.5%, 7.5%, 12% dan 26%.



Gambar 2.12 Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi NO_x

Efek Campuran Biodiesel terhadap Emisi Partikel (PM)

Biodiesel telah diketahui sangat signifikan dalam menurunkan emisi partikel. Ada beberapa mekanisme yang menyebabkan penurunan partikel. Pertama adalah pencampuran biodiesel kedalam minyak diesel mineral akan menurunkan kadar senyawa aromatik. Senyawa aromatik merupakan penyusun minyak diesel (sekitar 30%) dan merupakan pembentuk utama partikel. Pencampuran biodiesel juga menurunkan kadar sulfur sehingga senyawa sulfat (penyusun partikel) yang terbentuk dari proses pembakaran juga berkurang, demikian pula dengan air yang menyerapnya. Kandungan oksigen dalam biodiesel juga membatasi pembentukan soot karena oksigen akan mengoksidasi daerah yang kaya bahan bakar. Namun demikian, biodiesel termasuk senyawa dengan tingkat penguapan yang kecil sehingga mudah terkondensasi dan akan meningkatkan kadar SOF (Soluble Organic Fraction) dalam partikel. Biodiesel akan meningkatkan komponen yang mudah menguap tetapi menurunkan komponen yang tidak menguap (soot) dari partikel. Secara keseluruhan penggunaan biodiesel akan menurunkan emisi partikel.



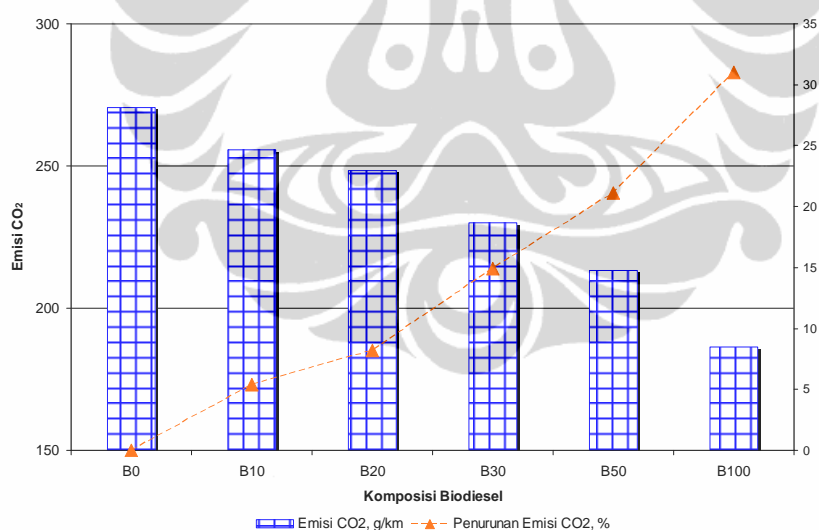
Gambar 2.13 Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi Partikel

Hasil pengukuran emisi partikel (Gambar 2.13) dari berbagai campuran biodiesel menunjukkan bahwa penambahan 10% biodiesel sudah menurunkan

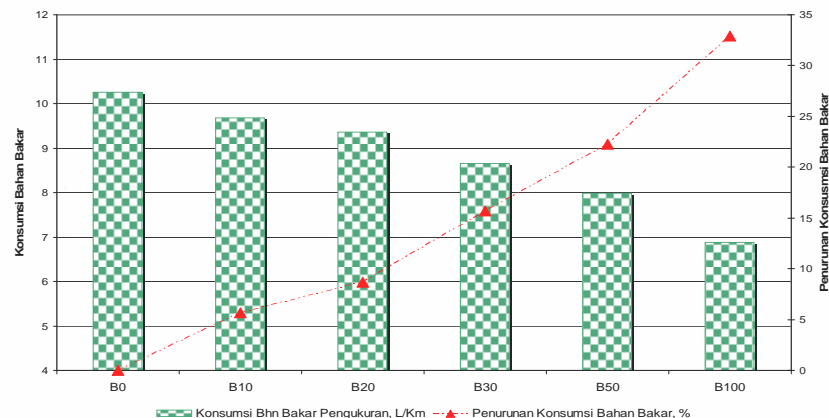
tingkat partikel yang signifikan (39%). Penambahan biodiesel hingga 100% tetap akan memberi efek penurunan hingga sekitar 68%. Hasil ini juga memberikan indikasi bahwa penurunan partikel akan lebih efektif jika bahan bakar solar yang digunakan berkualitas rendah (menghasilkan partikel yang tinggi) atau mengandung aromatik dan sulfur yang tinggi.

Efek Campuran Biodiesel terhadap Emisi CO₂ & Konsumsi Bahan Bakar

Emisi CO₂ terbentuk akibat pembakaran bahan bakar secara sempurna. Semakin tinggi emisi CO₂ per km atau per siklus semakin tinggi pula konsumsi bahan bakar. Biodiesel tidak hanya dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena menghasilkan emisi CO, HC, partikel dan NO_x yang lebih rendah tetapi juga merupakan bahan bakar yang efisien karena menghasilkan emisi CO₂ atau konsumsi bahan bakar yang lebih rendah. Gambar 2.14 dan 2.15 menyajikan efek penggunaan biodiesel terhadap penurunan emisi CO₂ dan konsumsi bahan bakar.



Gambar 2.14 Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi CO₂



Gambar 2.15 Efek Campuran Biodiesel Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Penurunan emisi CO₂ hasil pengujian dari bahan bakar B10, B20, B30, B50 dan B100 adalah berturut-turut 5%, 8%, 15%, 21% dan 31%. Sedangkan penurunan konsumsi bahan bakar adalah berturut-turut 6%, 9%, 16%, 22% dan 33%.

2.6 LIFE CYCLE ASSESSMENT

Life Cycle Assessment (LCA) dikenal sebagai suatu metode analisis aspek lingkungan dan kemungkinan dampak lingkungan yang berhubungan dengan sebuah produk, proses, atau jasa.

2.6.1 Karakteristik Umum dari LCA

Pada bagian ini akan dibahas mengenai definisi LCA, aplikasi dari LCA serta batasan-batasannya.

2.6.1.1 Definisi LCA

ISO 14040 mendefinisikan LCA sebagai kumpulan dan evaluasi dari *input* dan *output* serta potensi dampak lingkungan dari siklus hidup sebuah sistem produk. LCA merupakan alat bantu untuk menganalisis efek pada lingkungan dari setiap tahap dalam siklus hidup sebuah produk, mulai dari ekstraksi sumber daya, produksi material, produksi komponen, hingga produksi produk akhir tersebut, dan kegunaan produk bagi manajemen setelah produk tersebut sudah selesai diproduksi, entah dengan digunakan kembali, didaur ulang atau dibuang (berlaku dari *cradle* hingga *grave*). Keseluruhan sistem dari unit yang diproses yang termasuk dalam siklus hidup sebuah produk disebut sistem produk. Produk dapat berupa barang fisik dan jasa.

Efek lingkungan mencakup berbagai jenis dari dampak bagi lingkungan, termasuk ekstraksi dari berbagai jenis sumber daya, emisi bahan berbahaya dan penggunaan lahan dengan tipe yang berbeda. LCA harus diusahakan untuk memiliki nilai kuantitatif, sehingga semua dampak lingkungan yang dihasilkan dapat dilaporkan selengkap mungkin.

Analisis *cradle to grave* menggunakan sebuah pendekatan holistik (Analisis secara keseluruhan), dimana Analisis ini akan mendeteksi dampak-dampak yang telah terjadi atau akan terjadi di mana pun dan kapan pun. Selain itu, dengan Analisis *cradle to grave* ini, akan menghindari terjadinya *problem shifting*. Di dalam *eco-design*, memindahkan masalah ke tahap lain dalam siklus hidup produk, bukanlah merupakan solusi dari suatu masalah lingkungan.

Beberapa aplikasi utama dari LCA adalah untuk

- MengAnalisis sumber masalah yang berkaitan dengan produk tertentu
- Membandingkan rencana perbaikan dari sebuah produk
- Merancang produk baru
- Memilih produk terbaik di antara beberapa produk setara

Aplikasi yang sama dapat digunakan dalam level yang berkaitan dengan kebijakan pemerintah dan strategi bisnis.

2.6.1.2 Batasan dari LCA

Karakteristik utama dari LCA adalah sifat Analisis secara keseluruhannya, yang menjadi kekuatan utama dan juga pada waktu yang bersamaan, merupakan keterbatasannya. Jangkauan yang luas dalam melaksanakan LCA yang lengkap dari sebuah produk hanya dapat dicapai dengan menyederhanakan aspek lainnya.

LCA tidak dapat mengukur suatu dampak lokal. LCA tidak menyediakan kerangka untuk sebuah studi penilaian resiko lokal yang mengidentifikasi dampak mana yang dihasilkan oleh fungsi dari sebuah fasilitas di tempat yang spesifik. Begitu pula dengan aspek waktu, LCA secara khas merupakan keadaan yang tetap, dan bukan sebuah pendekatan dinamis, maksudnya adalah untuk studi selama batasan waktu, semua kondisi termasuk teknologi dianggap tetap dan tidak berkembang.

Model LCA berfokus pada karakteristik fisik dari aktivitas industri dan proses ekonomi lainnya, dan tidak termasuk mekanisme pasar, atau efek lain

dalam pengembangan teknologi. Secara umum, LCA menganggap semua proses bersifat linear, baik dalam ekonomi dan dalam lingkungan. LCA merupakan sebuah alat bantu berdasarkan pemodelan linear.

LCA berfokus pada aspek lingkungan dari produk dan tidak berkaitan dengan karakteristik ekonomi, sosial dan lainnya. Dampak lingkungan sering didefinisikan sebagai dampak yang potensial, karena dampak lingkungan tidak ditetapkan dalam waktu dan tempat dan berkaitan dengan satuan fungsional yang telah didefinisikan.

Meskipun LCA bertujuan untuk menjadi dasar yang bersifat ilmu pengetahuan, LCA tetap menggunakan beberapa asumsi yang bersifat teknis dan terpilih. Proses standarisasi ISO dalam melaksanakan LCA ini dilakukan untuk mencegah terjadinya kesewenangan. Tujuan penting adalah untuk menggunakan asumsi dan pilihan ini setransparan mungkin.

Yang terakhir, sebuah karakteristik yang sangat penting dan berkaitan dengan sifat dasar dari LCA sebagai sebuah alat analitis. LCA membantu menyediakan informasi untuk mendukung keputusan namun LCA tidak dapat menggantikan proses pengambilan keputusan itu sendiri.

2.6.2 Metodologi

Metodologi dalam LCA terdiri atas empat fase utama:

- Pendefinisian Tujuan dan Lingkup
- Analisis Inventori
- Pengukuran Dampak
- Interpretasi

2.6.2.1 Pendefinisian Tujuan dan Lingkup

Pendefinisian tujuan dan lingkup merupakan suatu fase untuk menentukan sebuah rencana kerja dari keseluruhan LCA. Fase ini terdiri atas tiga tahap :

- tahap pendefinisian tujuan,
- tahap pendefinisian lingkup, pendefinisian fungsi,
- tahap pendefinisian fungsi, unit fungsional, alternatif, dan aliran referensi.

Tahap pendefinisian tujuan terdiri atas penancangan dan penyesuaian tujuan dari LCA, penjelasan tujuan dari studi dan penentuan penggunaan hasil oleh inisiator, praktisi, pemegang saham serta penentuan target dari hasil studi.

Pada tahap pendefinisian lingkup, ditetapkan karakteristik utama dari studi LCA yang mencakup masalah seperti batasan temporal, geografis, dan teknologi, jenis dari Analisis dan level keseluruhan dari kecanggihan dari studi ini.

Tahap terakhir dalam fase ini adalah pendefinisian fungsi, unit fungsional, alternatif dan aliran referensi. Unit fungsional mendeskripsikan fungsi utama dari sebuah sistem produk. Contoh sebuah fungsi adalah pengecatan dinding. Contoh unit fungsional sebuah pengecatan dinding dapat didefinisikan dalam bentuk :

- luas area yang harus dicat
- tipe dari dinding
- kualitas hasil cat.

Dalam dunia nyata, unit fungsional dari sebuah pengecatan dinding dapat berupa “pengecatan dinding seluas 20m² dengan ketahanan termal sebesar 2 m² K/W, dengan kualitas warna permukaan 98%, dan tidak membutuhkan pengecatan untuk 5 tahun ke depan.”

Berdasar dari unit fungsional tersebut, dapat disusun beberapa alternatif dari sistem produk yang ekuivalen. Alternatif ini dapat berupa berbagai pilihan cara atau bahan yang digunakan untuk dapat memenuhi fungsi dan unit fungsional yang telah ditetapkan. Setelah disusun alternatif, kemudian disusun aliran referensi untuk sistem-sistem ini. Aliran referensi merupakan sebuah ukuran dari *output* yang dihasilkan oleh proses dalam setiap alternatif sistem produk, yang dibutuhkan untuk memenuhi fungsi yang ditunjukkan oleh unit fungsional.

2.6.2.2 Analisis Inventori

Analisis inventori merupakan fase dimana sistem produk didefinisikan. Fase ini terdiri atas beberapa tahap:

- Pendefinisian batasan sistem ekonomi dan lingkungan
- Pendefinisian diagram aliran
- Penentuan format dan kategori data
- Pengumpulan data
- Validasi data

- Penyiapan dan estimasi data
- Pengambilan keputusan berkaitan dengan *multifunctionality* dan alokasi
- Perhitungan

Dalam LCA, semua masukan dan keluaran ekonomi pada semua aliran diterjemahkan menjadi intervensi lingkungan. Intervensi lingkungan berhubungan dengan aliran yang memasuki sistem produk yang terlihat dari lingkungan tanpa transformasi manusia atau aliran material yang meninggalkan sistem produk yang dibuang ke lingkungan tanpa transformasi manusia. Untuk membuat batasan yang jelas mengenai sistem produk dan lingkungan dan antara aliran utama dan aliran lainnya, batasan ekonomi dan lingkungan harus didefinisikan secara eksplisit.

Kegiatan pendefinisian diagram aliran menggambarkan garis besar dari semua proses unit utama yang dimodelkan termasuk hubungannya. Hal ini sangat membantu dalam memahami dan menyelesaikan sebuah sistem untuk mendeskripsikan sistem dengan menggunakan diagram aliran proses.

Kunci utama dalam fase inventori adalah pengumpulan data. Hal ini biasanya berkaitan dengan jumlah data sekunder. Untuk menterjemahkan perbandingan ini secara konsisten, sebuah format data standar harus dikembangkan. Pengumpulan data sesuai dengan format yang sudah ditentukan, dilakukan untuk mengkuantifikasikan semua aliran yang berkaitan dengan proses. Proses ini dilanjutkan dengan pengecekan validitas dari data yang telah dikumpulkan. Berbagai alat bantu seperti keseimbangan masa, keseimbangan energi dan perbandingan data dari sumber lain dapat digunakan.

Pada prinsipnya, sebuah LCA harus menelusuri semua proses yang berkaitan dalam siklus hidup pada sistem produk yang diberikan, dari *cradle to grave*. Namun pada praktiknya, hal ini nampaknya tidak mungkin, bagaimana pun juga, biasanya beberapa aliran ditiadakan dan diabaikan karena kurangnya tersedianya data yang siap diakses.

Pada umumnya, proses industri bersifat *multifunctional*, dimana output yang dihasilkan secara umum terdiri dari lebih dari 1 produk dan ada kemungkinan salah satu input bahan baku yang terdiri atas produk buangan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu keputusan untuk menentukan aliran ekonomi dan intervensi lingkungan mana yang akan dihubungkan dengan sistem produk.

Pada tahap terakhir, dilakukan proses perhitungan sebagai sebuah tindakan yang secara kuantitatif menghubungkan proses satu sama lain.

2.6.2.3 Pengukuran Dampak

Pada fase pengukuran dampak, hasil dari Analisis inventori diproses dan diinterpretasikan dalam rangka dampak lingkungan. Pada fase ini terdiri atas tujuh tahap sebagai berikut:

- Pemilihan kategori dampak
- Pemilihan metode karakterisasi: indikator kategori, model karakterisasi, dan faktor karakterisasi
- Klasifikasi
- Karakterisasi
- Normalisasi
- Pengelompokan
- Pembobotan

Pada fase pengukuran dampak, hasil dari Analisis inventori diterjemahkan pada kontribusi bagi kategori dampak yang relevan seperti penipisan sumber daya abiotik, perubahan iklim, pengasaman, dan seterusnya. Ada tiga kelompok kategori dampak yang berbeda yang dapat dipilih berdasarkan kepentingan atas lingkungan dalam hubungannya dengan LCA dan ketersediaan metode karakterisasi. Pada kelompok pertama, kategori dampak dasar / *baseline impact categories*, terdiri atas 11 dampak:

- Penipisan sumber daya alam
- Dampak dari penggunaan lahan (persaingan lahan)
- Perubahan iklim/*Climate change*
- Penipisan lapisan ozon stratosfer/*Stratospheric ozone depletion*
- Dampak bahan beracun pada manusia/*Human Toxicity*
- Dampak bahan beracun pada ekosistem/*Ecotoxicity* (3 dampak)

Terdiri atas 3 dampak, yaitu dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar/*freshwater aquatic ecotoxicity*, dampak bahan beracun pada ekosistem air laut/*marine aquatic ecotoxicity*, dampak bahan beracun pada terestrial/*terrestrial ecotoxicity*.

- Pembentukan *photo-oxidant*
- Pengasaman/*acidification*
- *Eutrophication*

Pada kelompok kedua, kategori dampak yang spesifik sesuai pembelajaran / *study-specific impact categories*, terdiri atas 9 dampak, yaitu

- Dampak dari penggunaan lahan (Kerugian atas fungsi pendukung kehidupan, kerugian keanekaragaman hewan dan tumbuhan)
- Dampak bahan beracun pada ekosistem/*Ecotoxicity*
Terdiri atas 2 bagian, dampak bahan beracun pada endapan di ekosistem air tawar dan air laut
- Dampak dari radiasi ion
- Bau (*Maladouruos air*)
- Kebisingan
- Pemborosan energi panas
- Hubungan sebab akibat

Pada kelompok ketiga, kelompok kategori lainnya, terdiri atas tiga dampak dan dapat ditambahkan sesuai keperluan:

- Penipisan sumber daya biotik
- Pengawetan melalui proses pengeringan
- Bau (*Maladouruous water*)

Intervensi yang dicatat pada hasil analisis inventori dikuantifikasikan dalam indikator umum. Untuk sebuah kategori dampak, sebuah metode karakterisasi terdiri atas sebuah indikator kategori, model karakterisasi, dan faktor karakterisasi.

Berikut adalah metode karakterisasi dasar yang dikembangkan oleh Guinee et al. (2001) yang digunakan pada semua kategori pada *baseline impact categories* adalah sebagai berikut:

- Penipisan sumber daya abiotik / *Depletion of abiotic resources*

Sumber daya abiotik adalah sumber daya alam (termasuk sumber daya energi) seperti bijih besi, minyak mentah, dan energi angin, yang tergolong tidak hidup. Penipisan sumber daya abiotik merupakan salah satu dari kategori dampak yang paling sering didiskusikan dan tersedia

banyak variasi metode yang dapat digunakan untuk mengkarakteristikan kontribusi pada kategori ini.

Tabel 2.17 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik

Kategori dampak:	Penipisan sumber daya abiotik
Hasil LCI:	Ekstraksi mineral dan minyak bumi (dalam kg)
Model Karakterisasi:	<i>Concentration-based reserves</i> dan pendekatan <i>rate of de-accumulation</i>
Indikator Kategori:	Penipisan dari cadangan terakhir berkaitan dengan penggunaan tahunan
Faktor Karakterisasi:	<i>Abiotic Depletion Potential (ADP)</i> untuk setiap ekstraksi dari mineral dan bahan bakar fosil (dalam kg antimony eq/kg ekstraksi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (antimony eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Dampak dari penggunaan lahan (persaingan lahan) / *Impacts of land use (land competition)*

Kategori ini berhubungan dengan berkurangnya lahan/ kawasan sebagai sumber daya alam, sehingga untuk sementara waktu tidak dapat digunakan. Bisa juga diartikan adanya perubahan penggunaan tata ruang atau lahan. Contoh: kawasan hutan lindung dijadikan perkebunan.

Tabel 2.18 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Persaingan Lahan

Kategori dampak:	Persaingan lahan
Hasil LCI:	Penggunaan lahan (dalam m ² .yr)
Model Karakterisasi:	Pengumpulan tanpa pembobotan / <i>Unweighted aggregation</i>
Indikator Kategori:	Penggunaan lahan
Faktor Karakterisasi:	1 (tanpa dimensi)
Satuan dari hasil indikator:	m ² .yr

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Perubahan iklim

Perubahan iklim didefinisikan sebagai dampak dari emisi manusia pada *radiative forcing* (contoh: penyerapan radiasi panas) pada atmosfer. Kebanyakan dari emisi ini meningkatkan *radiative forcing* dan

meningkatkan suhu permukaan bumi. Hal ini dikenal sebagai efek gas rumah kaca.

Tabel 2.19 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Perubahan Iklim

Kategori dampak:	Perubahan iklim
Hasil LCI:	Emisi gas rumah kaca ke udara (dalam kg)
Model Karakterisasi:	Model yang dikembangkan oleh <i>Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)</i> yang mendefinisikan potensi pemanasan global dari gas rumah kaca yang berbeda
Indikator Kategori:	<i>Infrared radiative forcing (W/m²)</i>
Faktor Karakterisasi:	Potensi pemanasan global untuk jangka waktu 100 tahun mendatang (GWP100) untuk setiap emisi gas rumah kaca ke udara (dalam kg CO ₂ eq/kg emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (CO ₂ eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Penipisan lapisan ozon stratosfer

Penipisan lapisan ozon stratosfer ini berkaitan pada penipisan lapisan ozon stratosfer sebagai hasil dari emisi yang disebabkan oleh manusia/*anthropogenic*. Hal ini menyebabkan semakin besarnya fraksi dari radiasi solar UV-B yang mencapai permukaan bumi, ini berpotensi pada dampak buruk pada kesehatan manusia, kesehatan hewan, ekosistem terrestrial, ekosistem aquatic, siklus biokimia, dan material.

Tabel 2.20 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Lapisan Ozon Stratosfer

Kategori dampak:	Penipisan lapisan ozon stratosfer
Hasil LCI:	Emisi gas yang berdampak pada penipisan ozon ke udara
Model Karakterisasi:	Model yang dikembangkan oleh <i>World Meteorological Organization (WMO)</i> , yang mendefinisikan potensi penipisan ozon dari beberapa gas berbeda
Indikator Kategori:	Perusakan lapisan ozon
Faktor Karakterisasi:	Potensi penipisan ozon di keadaan tetap (ODP steady state) untuk setiap emisi ke udara (dalam kg CFC-11 equivalent/kg emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (CFC-11 eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Dampak bahan beracun pada manusia / *Human Toxicity*

Kategori dampak ini berkaitan dengan dampak pada kesehatan manusia dari bahan-bahan berbahaya yang ada pada lingkungan.

Tabel 2.21 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Manusia

Kategori dampak:	Dampak bahan beracun pada manusia
Hasil LCI:	Emisi bahan berbahaya ke udara, air, dan tanah (dalam kg)
Model Karakterisasi:	USES 2.0 model yang dikembangkan pada RVIM, yang mendeskripsikan <i>fate</i> , <i>exposure</i> , dan efek dari zat berbahaya, yang diadaptasikan untuk LCA
Indikator Kategori:	Penyerapan harian bahan beracun yang dapat diterima
Faktor Karakterisasi:	Potensi <i>Human toxicity</i> (HTP) untuk setiap emisi dari bahan beracun ke udara, air, dan atau tanah (dalam kg 1,4-dichlorobenzene eq/kg emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (1,4-dichlorobenzene eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Dampak bahan beracun pada ekosistem

Kategori ini berhubungan dengan dampak dari bahan berbahaya pada ekosistem air tawar, air laut, dan terestrial. Area yang dilindungi adalah lingkungan dan sumber daya alam. Berikut adalah metode karakterisasi dasar untuk dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar

Tabel 2.22 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar

Kategori dampak:	Dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar
Hasil LCI:	Emisi dari bahan beracun pada udara, air, dan tanah(kg)
Model Karakterisasi:	USES 2.0 model yang dikembangkan pada RVIM, yang mendeskripsikan <i>fate</i> , <i>exposure</i> , dan efek dari substances berbahaya, yang diadaptasikan untuk LCA
Indikator Kategori:	Prediksi konsentrasi lingkungan / Prediksi konsentrasi yang tidak berefek
Faktor Karakterisasi:	<i>Freshwater aquatic ecotoxicity potential (FAETP)</i> untuk setiap emisi dari bahan beracun ke udara, air, dan tanah (dalam kg 1,4-dichlorobenzene eq/kg emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (1,4-dichlorobenzene eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

Tabel berikut menunjukkan metode karakterisasi dasar untuk dampak bahan beracun pada ekosistem air laut

Tabel 2.23 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut

Kategori dampak:	Dampak bahan beracun pada ekosistem air laut
Hasil LCI:	Emisi dari bahan beracun pada udara, air, dan tanah(kg)
Model Karakterisasi:	USES 2.0 model yang dikembangkan pada RVIM, yang mendeskripsikan <i>fate</i> , <i>exposure</i> , dan efek dari substances berbahaya, yang diadaptasikan untuk LCA
Indikator Kategori:	Prediksi konsentrasi lingkungan / Prediksi konsentrasi yang tidak berefek
Faktor Karakterisasi:	<i>Marine aquatic ecotoxicity potential</i> (MAETP) untuk setiap emisi dari bahan beracun ke udara, air, dan tanah (dalam kg 1,4-dichlorobenzene eq/kg emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (1,4-dichlorobenzene eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

Tabel berikut menunjukkan metode karakterisasi dasar untuk dampak bahan beracun pada ekosistem terestrial

Tabel 2.24 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Terestrial

Kategori dampak:	Dampak bahan beracun pada ekosistem terestrial
Hasil LCI:	Emisi dari bahan beracun pada udara, air, dan tanah(kg)
Model Karakterisasi:	USES 2.0 model yang dikembangkan pada RVIM, yang mendeskripsikan <i>fate</i> , <i>exposure</i> , dan efek dari substances berbahaya, yang diadaptasikan untuk LCA
Indikator Kategori:	Prediksi konsentrasi lingkungan / Prediksi konsentrasi yang tidak berefek
Faktor Karakterisasi:	<i>Terrestrial ecotoxicity potential</i> (TETP) untuk setiap emisi dari bahan beracun ke udara, air, dan tanah (dalam kg 1,4-dichlorobenzene eq/kg emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (1,4-dichlorobenzene eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Pembentukan *photo-oxidant*

Pembentukan *photo-oxidant* adalah pembentukan dari senyawa kimia reaktif (seperti ozon) akibat sinar matahari, dengan sumber utama yaitu polusi udara primer tertentu. Senyawa reaktif ini dapat melukai

manusia dan ekosistem dan dapat membahayakan tanaman pangan. *Photo-oxidant* dapat terbentuk pada lapisan troposfer dalam pengaruh sinar ultraviolet melalui proses oksidasi *photochemical* dari *Volatile Organic Compounds (VOCs)* dan karbon monoksida (CO) dengan adanya nitrogen oksida (NO_x).

Tabel 2.25 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Pembentukan Photo-Oxidant

Kategori dampak:	Pembentukan <i>photo-oxidant</i>
Hasil LCI:	Emisi dari zat (VOC,CO) ke udara (dalam kg)
Model Karakterisasi:	Model <i>UNECE Trajectory</i>
Indikator Kategori:	Pembentukan lapisan ozon troposfer
Faktor Karakterisasi:	<i>Photochemical ozone creation potential (POCP)</i> untuk setiap emisi dari VOC atau CO ke udara (dalam kg <i>ethylene eq./kg</i> emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (<i>ethylene eq</i>)

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Pengasaman/ *Acidification*

Polusi yang bersifat mengasamkan memiliki banyak dampak pada tanah, air bawah tanah, air di permukaan tanah, organisme biologi, ekosistem, dan material. Polusi yang bersifat mengasamkan yang paling utama adalah SO₂, NO_x, dan NH_x.

Tabel 2.26 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Pengasaman

Kategori dampak:	Pengasaman
Hasil LCI:	Emisi dari polusi yang mengasamkan ke udara (dalam kg)
Model Karakterisasi:	<i>RAINS10 model</i> , yang dikembangkan pada IIASA, yang mendeskripsikan <i>fate, deposition</i> dari zat yang bersifat mengasamkan yang diadaptasikan untuk LCA
Indikator Kategori:	Beban kritis pengasaman
Faktor Karakterisasi:	<i>Acidification potential (AP)</i> untuk setiap emisi yang bersifat mengasamkan ke udara (dalam kg SO ₂ eq./kg emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (SO ₂ eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

- *Eutrophication*

Eutrophication mencakup semua dampak yang potensial pada tingkat nutrisi makro lingkungan yang berlebihan, seperti nitrogen (N) dan fosforus (P). Jumlah nutrisi yang berlebihan dapat menyebabkan pertukaran komposisi spesies yang tidak diinginkan dan peningkatan produksi biomass pada ekosistem air dan terestrial. Konsentrasi nutrisi yang tinggi dapat menyebabkan air di permukaan tidak dapat digunakan sebagai sumber air minum. Pada ekosistem air, peningkatan produksi biomasa dapat berakibat pada tingkat oksigen yang rendah, karena adanya tambahan konsumsi oksigen dalam dekomposisi biomasa (yang diukur sebagai BOD, *biological oxygen demand*).

Tabel 2.27 Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak *Eutrophication*

Kategori dampak:	<i>Eutrophication</i>
Hasil LCI:	Emisi dari bahan gizi ke udara, air, dan tanah (dalam kg)
Model Karakterisasi:	Prosedur stoikiometri, yang mengidentifikasi keseimbangan antara N dan P untuk sistem terestrial dan akuatik
Indikator Kategori:	Endapan / Keseimbangan N/P dalam biomasa
Faktor Karakterisasi:	<i>Eutrophication potential (EP)</i> untuk setiap <i>eutrophying emissions</i> ke udara, air dan tanah (dalam kg PO ₄ ³⁻ eq/kg emisi)
Satuan dari hasil indikator:	kg (PO ₄ ³⁻ eq)

(sumber: Guinee et al., 2001)

Pada tahap klasifikasi, hasil Analisis inventori diklasifikasikan pada kategori dampak yang sesuai. Pada tahap karakterisasi, dilakukan perhitungan antara setiap hasil inventori dengan faktor karakterisasi yang sesuai pada kategori tersebut, dan kemudian perhitungan diolah untuk menghasilkan sebuah skor: hasil indikator. Sebuah kumpulan yang lengkap dari hasil kategori indikator menghasilkan sebuah profil lingkungan.

ISO 14042 mendefinisikan normalisasi sebagai perhitungandari besarnya hasil indikator relatif terhadap informasi referensi. Tujuan utama dari menormalkan hasil kategori indikator adalah untuk pemahaman yang lebih baik mengenai kepentingan relatif dan besarnya hasil kepentingan terhadap setiap sistem produk dalam studi ini.

Dua tahap terakhir dalam fase ini, yaitu tahap pengelompokan dan pembobotan merupakan tahap yang optional. Tahap pengelompokan merupakan sebuah tahap yang menyatukan kategori dampak menjadi satu atau lebih kelompok, sedangkan tahap pembobotan menentukan faktor numerikal untuk setiap kategori dampak yang dinilai menurut kepentingan relatifnya.

2.6.2.4 Interpretasi

Elemen utama dari fase ini adalah evaluasi hasil dan formulasi dari kesimpulan dan rekomendasi dari studi ini. Fase ini terdiri dari beberapa tahap:

- pengecekan mengenai konsistensi, dengan tujuan untuk menentukan apakah asumsi, metode, model dan data konsisten terhadap tujuan dan lingkup studi, mengenai siklus hidup produk dan opsi lainnya
- pengecekan mengenai kelengkapan, dengan tujuan untuk memastikan semua informasi yang relevan dan data yang dibutuhkan untuk fase interpretasi sudah tersedia dan lengkap
- Analisis kontribusi, dimana terjadi perhitungan kontribusi keseluruhan pada hasil dari berbagai faktor. Analisis ini menjawab pertanyaan tentang kontribusi dari aliran lingkungan, proses, dan dampak yang spesifik terhadap nilai akhir
- Analisis gangguan, yang mempelajari efek dari perubahan kecil di dalam sistem dari hasil LCA
- Analisis sensitivitas dan ketidakpastian

Elemen ini menilai pengaruh dari hasil variasi dalam data proses, pemilihan model, dan variabel lainnya.

- penarikan kesimpulan dan rekomendasi, dilakukan berdasarkan hasil dari langkah-langkah sebelumnya dari fase interpretasi

2.7 STOIKIOMETRI

Stoikiometri merupakan bidang ilmu kimia yang mempelajari hubungan kuantitatif antara zat-zat yang terlibat reaksi kimia, baik sebagai pereaksi maupun sebagai hasil reaksi. Stoikiometri juga mempelajari perbandingan massa dan jumlah mol antar unsur-unsur dalam suatu rumus kimia.

2.7.1 Massa Atom

Nilai massa atom relatif (A_r) diperoleh dengan membandingkan suatu atom dengan massa atom yang lain. Sebagai pembanding, ditetapkan sebesar $1/12$ dari massa satu atom C-12.

Berikut adalah beberapa massa atom relatif dari beberapa unsur

Tabel 2.28 Tabel Massa Atom Relatif

Unsur	A_r (gram/mol)
S	32.064
N	14.0067
H	1.00797
O	15.9994
P	30.9738
Ca	40.08
K	39.102
Mg	24.312
B	10.811
Cl	35.452
C	12.01115
Na	22.9898

(sumber: Tabel Periodik Unsur Kimia, n.d.)

2.7.2 Massa Molekul

Nilai massa molekul (M_r) merupakan perbandingan massa molekul zat dengan $1/12$ massa 1 atom C-12. Massa molekul relatif suatu zat sama dengan jumlah massa atom relatif atom-atom penyusun molekul zat tersebut.

2.7.3 Rumus Empiris

Rumus empiris atau rumus sederhana menyatakan perbandingan mol unsur-unsur dalam suatu senyawa.