



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar yang terdiri atas mono-alkil ester dari *fatty acid* rantai panjang, yang diperoleh dari minyak tumbuhan atau lemak binatang (Soerawidjaja, 2005; National Biodiesel Board - NBB, 2003).

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang diformulasikan khusus untuk mesin diesel dengan berbagai kelebihan antara lain tidak perlu modifikasi mesin, mudah digunakan, ramah lingkungan, tercampurkan dengan minyak diesel (solar), memiliki cetane number tinggi, memiliki daya pelumas yang tinggi, biodegradable, non toksik, serta bebas dari sulfur dan bahan aromatik (Soerawidjaja, 2005; NBB, 2003).

Standar mutu Biodiesel telah dikeluarkan dalam bentuk SNI No. 04-7182-2006, melalui keputusan Kepala Badan standardisasi Nasional (BSN) Nomor 73/KEP/BSN/2/2006 tanggal 15 Maret 2006. Standar mutu biodiesel tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1.

Syarat Mutu Biodiesel SNI 04-7182-2006

No	Parameter	Satuan	Nilai	Metoda Uji
1.	Massa jenis pada 40°C	Kg/m ³	850-890	ASTM D 1298
2.	Viskositas kinematik pada 40°C	Mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	ASTM D 445
3.	Angka setana		Min. 51	ASTM D 613
4.	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	Min. 100	ASTM D 93
5.	Titik kabut	°C	Maks. 18	ASTM D 2500



No	Parameter	Satuan	Nilai	Metoda Uji
6.	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada suhu 50°C)		Maks no. 3	ASTM D 130
7.	Residu karbon - dalam contoh asli - dalam 10% ampas distilasi	%-massa 6	Maks. 0,05 (Maks. 0,3)	ASTM D 4530
8.	Air dan sedimen	%-vol	Maks 0,05	ASTM D 2709 atau ASTM D 1796
9.	Temperatur distilasi 90%	°C	Maks. 360	ASTM D 1160
10.	Abu tersulfatkan	%-massa	Maks. 0,02	ASTM D 874
11.	Belerang	Ppm-m (mg/Kg)	Maks. 100	ASTM D 5453 atau ASTM D 1266
12.	Fosfor	Ppm-m (mg/Kg)	Maks. 10	AOCS Ca 12-55
13.	Angka asam	Mg-KOH/Kg	Maks. 0,8	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664
14.	Gliserol bebas	%-massa	Maks. 0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
15.	Gliserol total	%-massa	Maks. 0,24	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
16.	Kadar ester alkil	%-massa	Min. 96,5	Dihitung *
17.	Angka Iodium	%-massa	Maks. 115	AOCS Cd 1-25
18.	Uji halphen		Negatif	AOCS Cb 1-25

$$* \text{ kadar ester (\% - massa)} = \frac{100(A_s - A_a - 4,57G_{tl})}{A_s}$$

dengan pengertian:

A_s Adalah angka penyabunan yang ditentukan dengan metoda AOCS Cd 3-25, mg KOH/g biodiesel

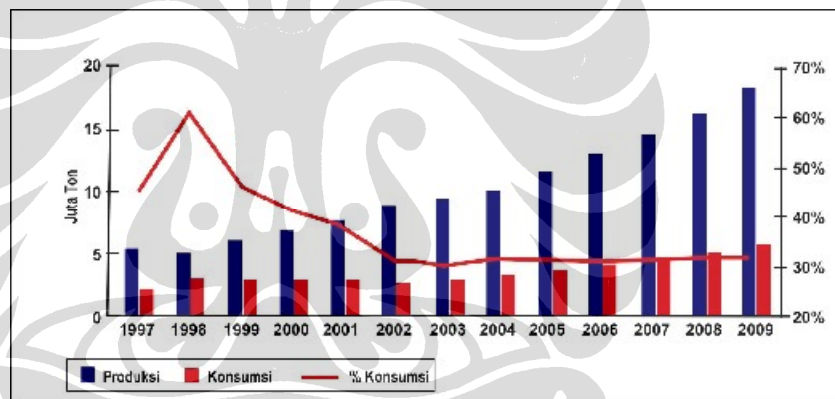
A_a Adalah angka asam yang ditentukan dengan metode AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664, mg KOH/g biodiesel

G_{tl} Adalah kadar gliserol total dalam biodiesel yang ditentukan dengan metoda AOCS Ca 14-56, %-massa



2.2. Potensi minyak sawit sebagai bahan baku biodiesel

Saat ini Indonesia merupakan penghasil minyak sawit (CPO) nomor dua terbesar di dunia setelah Malaysia. Pangsa produksi Indonesia saat ini adalah 36% dari total produksi dunia, sementara Malaysia menguasai 47%. Meskipun demikian, Indonesia memiliki peluang pengembangan produksi CPO lebih besar karena ketersediaan lahan yang masih tinggi. Bahkan, diprediksikan tahun 2008 Indonesia mampu menjadi produsen CPO nomor satu di dunia, melampaui Malaysia (Said, 2006). Dari total CPO yang diproduksi, jumlah konsumsi CPO di dalam negeri kira-kira 30%, sementara sisanya diekspor. Dengan melihat kenyataan ini, potensi pengembangan biodiesel dari minyak sawit sangat terbuka.



Gambar 2.1.

Estimasi Produksi dan Konsumsi CPO Indonesia Tahun 1997-2009

Produksi CPO di Indonesia tersebar di wilayah Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi serta Papua. Tabel 2.2. menampilkan peta sebaran luas area kebun sawit serta produksi CPO di beberapa wilayah pada tahun 2003 (Wirawan, 2006).



Tabel 2.2.

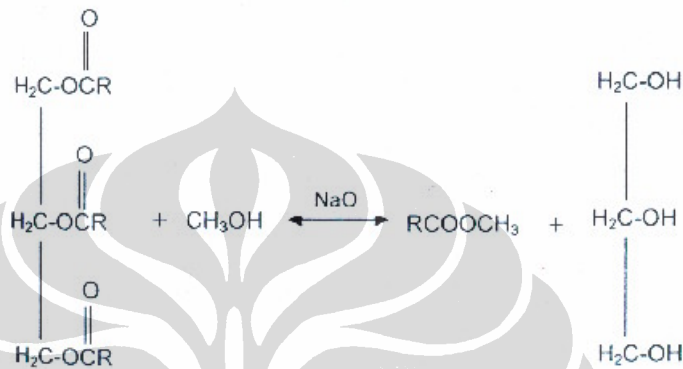
Sebaran produksi Minyak Sawit di Setiap Propinsi
tahun 2003 (Wirawan, 2006)

Wilayah	Luas Area Kebuh Sawit (Ha)	Produksi CPO (ton)
Aceh (NAD)	239.828	282.170
Sumatera Utara	769.452	2.494.770
Sumatera Barat	279.982	695.593
Riau	1.326.023	3.337.151
Jambi	320.892	674.019
Sumatera Selatan	436.662	1.022.899
Bangka Belitung	108.629	294.556
Bengkulu	80.040	149.550
Lampung	151.370	171.470
Sumatera	3.712.878	9.122.178
DKI Jakarta	-	-
Jawa Barat	3.747	4.842
Banten	11.587	26.583
Jawa Tengah	-	-
DI Yogyakarta	-	-
Jawa Timur	-	-
Jawa	15.334	31.425
Bali dan Nusa Tenggara	-	-
Kalimantan Barat	345.273	517.711
Kalimantan Tengah	335.023	316.646
Kalimantan Selatan	163.280	219.969
Kalimantan Timur	159.114	166.511
Kalimantan	1.002.690	1.220.837
Sulawesi Utara	-	-
Gorontalo	-	-
Sulawesi Tengah	55.666	40.054
Sulawesi Selatan	80.136	173.285
Sulawesi Tenggara	1.302	-
Sulawesi	137.104	213.339
Maluku	-	-
Maluku Utara	-	-
Papua	58.074	95.123
Maluku dan Papua	58.074	95.123
Indonesia	4.926.080	10.682.902



2.3. Teknik Produksi Biodiesel

Biodiesel dapat dibuat dari berbagai minyak hayati (minyak nabati atau lemak hewani) melalui proses esterifikasi gliserida atau dikenal dengan proses alkoholisis. Reaksi yang terjadi dapat dituliskan sebagai berikut (Ma, F., 1999; Hariyadi, dkk, 2005).



Gambar 2.2. Mekanisme reaksi produksi biodiesel

Terdapat tiga rute dasar dalam proses alkoholisis untuk menghasilkan biodiesel, atau alkil ester (Ma, F, 1999). Ketiga rute dasar tersebut yaitu:

1. Transesterifikasi minyak dengan alkohol melalui katalisis basa.
2. Esterifikasi minyak dengan methanol melalui katalisis asam secara langsung.
3. Konversi dari minyak ke *fatty acid*, kemudian dari *fatty acid* ke alkyl ester, melalui katalisis asam.

Teknik produksi biodiesel yang dilakukan saat ini pada umumnya mengikuti rute yang pertama, yaitu transesterifikasi minyak dengan alkohol melalui katalisis basa.

Cara ini merupakan teknik yang paling ekonomis karena:

- proses memerlukan temperatur rendah dan tekanan atmosferik (150°F, 20 psi).
- tingkat konversi tinggi (mencapai 98%) dengan waktu reaksi yang cukup singkat dan reaksi samping yang minimal
- konversi langsung ke metil ester (biodiesel) tanpa melalui tahapan intermediate
- tidak diperlukan material dan konstruksi yang rumit.



Proses produksi biodiesel melalui rute diatas, ditunjukkan pada gambar 2.3. Minyak atau lemak direaksikan dengan alkohol, seperti metanol, dengan bantuan katalis. Dari proses ini dihasilkan glicerin dan metil ester (biodiesel). Methanol kemudian di-*recovery*. Katalis yang digunakan umumnya KOH atau NaOH yang tercampurkan secara baik dalam alkohol.

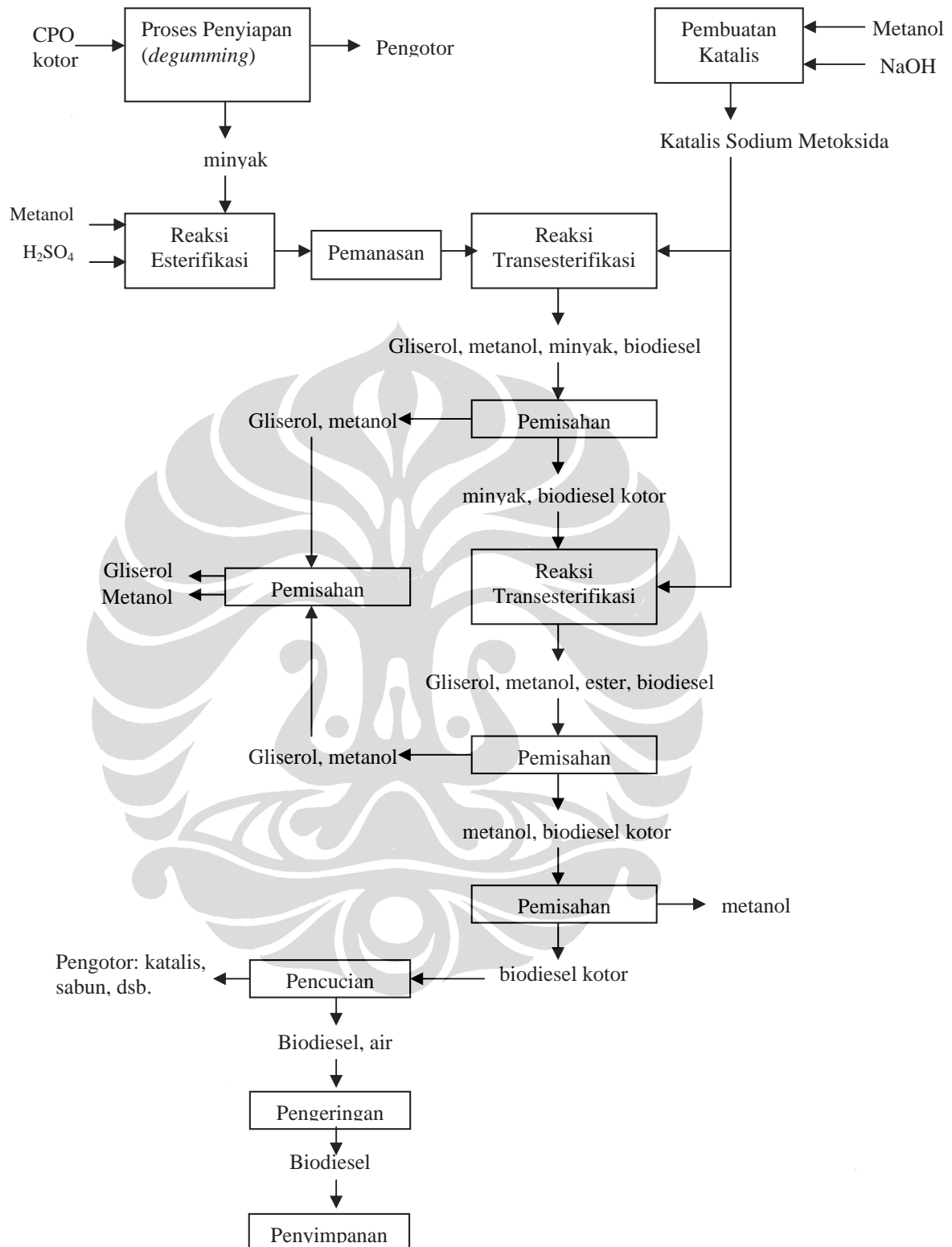
Proses produksi biodiesel yang akan dipaparkan lebih lanjut adalah biodiesel berbahan baku minyak sawit / CPO (*Crude Palm Oil*). Secara garis besar, proses produksi biodiesel berbahan baku minyak sawit / CPO digambarkan pada gambar 2.3. (Hariyadi, dkk, 2005).

Tahapan-tahapan proses produksi biodiesel barbahan baku minyak sawit serta produk sampingnya, meliputi:

(1) Penyiapan bahan baku dan reksi esterifikasi;

Bahan baku berupa minyak sawit kotor / CPO disiapkan untuk mengkondisikan bahan baku serta mengurangi tingkat kesulitan pemurnian produk pada proses selanjutnya. Proses penyiapan bahan baku terdiri dari:

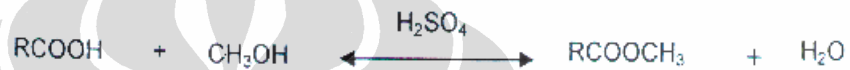
- a. Pemanasan untuk mencairkan CPO sekaligus untuk mencapai temperatur operasi reaksi esterifikasi;
- b. Proses *degumming*, yakni proses penghilangan pengotor berupa zat-zat terlarut atau zat-zat yang bersifat koloidal seperti resin, gum, protein dan fosfatida dalam minyak mentah. Proses *degumming* biasanya dilakukan dengan beberapa cara, yaitu: pemanasan, penambahan asam, penambahan basa, proses hidrasi atau menggunakan reagen khusus.



Gambar 2.3. Diagram alir proses produksi biodiesel dari minyak sawit (Hariyadi, dkk, 2005).



Proses *degumming* dengan menggunakan asam dan pemanasan memiliki kelebihan karena tidak menyebabkan proses penyabunan asam lemak bebas, yang dapat menyerap zat lendir dan sebagian pigmen. Selain itu, dengan cara ini kandungan asam lemak bebas dalam CPO tidak akan hilang, bahkan dalam proses selanjutnya sisa asam tersebut dapat dijadikan katalis pada reaksi esterifikasi asam lemak bebas yang masih utuh menjadi metil ester, sehingga perolehan produk lebih banyak. Reaksi esterifikasi tersebut berlangsung menurut persamaan reaksi berikut ini:



Air yang terbentuk kemudian dihilangkan dengan cara pemanasan hingga 120°C.

(2) Pembuatan katalis sodium metoksida;

Bahan baku pembuatan sodium metoksida adalah metanol dan sodium hidroksida (NaOH). Jumlah katalis yang digunakan biasanya 10%-b berat minyak yang digunakan.

(3) Reaksi transesterifikasi;

Reaksi transesterifikasi berlangsung pada temperatur sekitar 60°C dan dilakukan selama 4-6 jam. Untuk mendapatkan *yield* yang tinggi, reaksi transesterifikasi dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama, katalis yang digunakan sebanyak 2/3 bagian katalis total. Sisanya direaksikan dengan produk hasil reaksi tahap pertama yang telah dipisahkan gliserolnya.

Produk dari reaksi transesterifikasi sempurna didalam reaktor berupa cairan yang terpisah menjadi dua lapisan. Lapisan atas merupakan lapisan metil ester kotor, sedangkan lapisan bawah adalah gliserol kotor. Jika reaksi belum sempurna, akan ada lapisan ketiga ditengah berupa minyak yang tidak terkonversi.



(4) Pemurnian metil ester;

Selanjutnya, metil ester yang diperoleh dimurnikan. Proses ini pada umumnya melalui tahapan *recovery* metanol dan penghilangan pengotor. Lapisan metil ester yang mengandung metanol dipanaskan, kemudian uap metanol dikondensasikan.

Kemudian, metil ester dibersihkan untuk menghilangkan sisa katalis dan kotoran lain seperti sabun. Untuk meningkatkan kemurnian metil ester dilakukan dua tahap pembersihan, yaitu menggunakan gliserol murni dan penetralan diikuti dengan pencucian dengan air. Gliserol disemprotkan ke permukaan metil ester, dan karena lebih berat akan turun melewati metil ester sambil membawa sisa-sisa pengotor. Pada tahap akhir, gliserol dipisahkan kembali dari metil ester.

Pencucian menggunakan air dilakukan dengan beberapa metode sekaligus, dimana diharapkan pencucian berlangsung efektif dan biodiesel yang diperoleh cukup bersih. Metode pencucian tersebut adalah:

1. Menambahkan asam asetat. Dimaksudkan untuk menetralkan biodiesel dan mengeluarkan sisa sodium. Penambahan asam asetat akan mengurangi pemakaian air.
2. Menggunakan percikan air bersih. Air yang dipercikkan di permukaan biodiesel akan turun sepanjang lapisan biodiesel sambil melarutkan sisa-sisa katalis dan kotoran.
3. Menggunakan metode pengadukan mekanis. Pengadukan dilakukan sekitar 50-70 rpm untuk meningkatkan kontak air dengan biodiesel.

Setelah melalui tahap pencucian, metil ester dikeringkan untuk menghilangkan sisa air pencuci dengan dipanaskan sampai suhu 120 °C. Metil ester kering kemudian didinginkan sampai temperatur dibawah 38 °C agar gliserol yang masih tersisa membeku. Selanjutnya metil ester disaring dan dimasukkan ke dalam tangki penyimpanan.



(5) Perolehan kembali metanol dan pemurnian gliserol;

Larutan gliserol kotor hasil pemisahan, dipanaskan untuk memperoleh kembali metanol yang ada di dalamnya. Uap metanol kemudian dikondensasikan dan disalurkan kembali ke tangki metanol.

Gliserol bebas metanol diencerkan dengan menambahkan 2/3 bagian air bersih, dan dipanaskan agar sisa asam lemak bebas hasil hidrolisis tersabunkan oleh sisa NaOH. Ester dari sabun yang terbentuk dikeluarkan dari larutan dengan cara menambahkan sejumlah garam NaCl. Larutan gliserin kemudian ditambahkan H₂SO₄ dan Aluminium hidriksida sampai mencapai pH 4,5. Padatan yang terbentuk kemudian disaring.

Larutan dinetralkan dengan penambahan 50% larutan NaOH, kemudian didistilasi. Gliserol yang telah murni (kemurnian >99,5%) disimpan, dan sebagian dikirim ke unit pembersihan biodiesel.

2.4. Life Cycle Assasement (LCA)

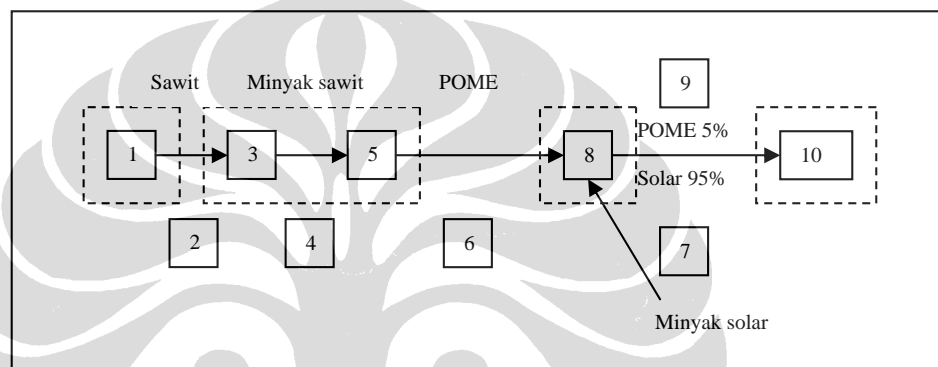
Life cycle Assasement (LCA) adalah suatu alat analisis yang digunakan untuk menghitung secara komprehensif dan menginterpretasikan aliran yang masuk ke dalam lingkungan dan keluar dari lingkungan (US Dept of Energy, 1998). LCA menyangkut emisi udara, air, limbah padat, toksisitas dan produksi/konsumsi energi serta sumber daya lainnya. LCA mencakup keseluruhan dari awal hingga akhir proses (“cradle-to-grave”).

Umumnya, penelitian mengenai LCA *biofuel* difokuskan kepada aspek emisi yang dihasilkan dari proses. Fausto Friere (2001) membuat pemodelan *enviromental life cycle* dari produksi biofuel di Prancis. US Departmen of Energi bekerjasama dengan US Department of Agriculture (1998) melakukan studi untuk membandingkan *life cycle inventory* antara minyak diesel fosil dengan biodiesel



berbahan baku kedelai, yang digunakan pada bus-bus di wilayah perkotaan (*urban bus*).

Rangkaian proses “cradle-to-grave” biodiesel dari bahan baku minyak sawit dimulai dari pertanian sawit, produksi CPO, produksi biodiesel, pencampuran, serta pembakaran. Gambar 2.6. memperlihatkan diagram model *life cycle* biodiesel berbahan baku minyak sawit (Freire, 2001).



Gambar 2.6. Model *life cycle* biodiesel sawit (*palm oil methyl ester, POME*)

Keterangan:

- 1 Pertanian sawit
- 2 Transportasi sawit ke pabrik CPO
- 3 Produksi minyak sawit (CPO)
- 4 Transportasi CPO ke pabrik biodiesel
- 5 Produksi biodiesel (POME)
- 6 Transportasi biodiesel ke tempat pencampuran
- 7 Transportasi minyak solar ke tempat penjualan
- 8 Pencampuran POME – Minyak solar
- 9 Transportasi bahan bakar campuran biodiesel ke tempat penjualan
- 10 Penggunaan bahan bakar

Dalam penelitian ini, analisis *life cycle* dibatasi pada analisis produksi dan konsumsi energi dari proses transportasi CPO dari pabrik, produksi POME, transportasi biodiesel ke tempat pencampuran, serta transportasi campuran biodiesel ke tempat penjualan akhir.



2.5. Keseimbangan Energi *Life Cycle*

LCA memungkinkan untuk menghitung total kebutuhan energi serta efisiensi energi secara *overall* dari suatu proses dan produknya. Efisiensi energi yang dihitung dalam LCA terdiri atas ” efisiensi energi *life cycle*” serta ”rasio energi fosil”. ”Energi efisiensi *life cycle*” berguna untuk menghitung energi feedstock yang hilang serta energi proses yang diperlukan. Sedangkan ”rasio energi fosil” berguna untuk menentukan derajat ke-”renewable”-an produk bahan bakar. Semakin besar energi fosil yang diperlukan untuk memproduksi suatu bahan bakar, maka bahan bakar tersebut dikatakan semakin ”non-renewable” (US Dept. of Energy, 1998)

Energi efisiensi *life cycle* dihitung sebagai:

$$\text{Efisiensi Energi Life Cycle} = \frac{\text{Energi bahan bakar produk}}{\text{Total Energi primer}}$$

Sementara itu, Rasio Energi Fosil (REF) dihitung sebagai:

$$\text{REF} = \frac{\text{Energi bahan bakar produk}}{\text{Energi Fosil yang Masuk}}$$

Jika REF = 0, maka produk dinyatakan ”non renewable mutlak” serta tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar. Jika REF ≤ 1, produk dinyatakan ”non renewable”, REF > 1 ”renewable”, dan jika REF = tak hingga, maka produk dinyatakan ”renewable mutlak”.



Tipe energi input *life cycle* terdiri atas:

- Total energi primer; adalah nilai kumulatif energi yang dikandung oleh seluruh *raw material*. Dalam hal biodiesel berbahan baku CPO, total energi primer adalah energi yang terkandung di dalam CPO dan methanol, dimana keduanya dikonversikan menjadi biodiesel.
- Energi proses; adalah energi yang dikandung oleh *raw material*, yang tidak berkontribusi langsung terhadap energi yang dikandung produk akhir, namun diperlukan di dalam proses. Energi proses berupa energi BBM, listrik, gas, dan sebagainya.
- Energi fosil; merupakan energi yang terkandung di dalam bahan bakar fosil.
- Energi bahan bakar produk; merupakan energi yang terkandung di dalam produk akhir, yang akan digunakan di dalam mesin jika produk digunakan sebagai bahan bakar.