



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti telah diuraikan pada Bab I, analisis *supply-demand* biodiesel di Indonesia dibatasi pada sektor transportasi. Sementara itu, *analisis life cycle* biodiesel berbahan baku CPO dalam penelitian ini dibatasi pada tahap: (1) transportasi CPO dari pabrik CPO ke pabrik biodiesel, (2) proses produksi biodiesel (B-100), (3) transportasi B-100 dari pabrik ke tempat pencampuran (*blending*), dan (4) transportasi B-5 dari tempat pencampuran ke tempat penjualan (SPBU). Dalam bab ini akan diuraikan tingkat kebutuhan CPO dan biodiesel di sektor transportasi tahun 2010, serta aspek-aspek *life cycle* dari setiap tahapan di atas.

4.1. Kebutuhan Biodiesel

Untuk menentukan kebutuhan CPO sebagai bahan baku biodiesel pada sektor transportasi, terlebih dahulu harus diketahui kebutuhan biodiesel untuk sektor transportasi pada tahun 2010. Dalam penelitian ini, ditentukan di empat kota, yaitu: Medan, DKI Jakarta, Bandung, dan Surabaya. Kota-kota tersebut diambil sebagai model dengan asumsi bahwa biodiesel sebagai bahan bakar di sektor transportasi tahun 2010 baru tersedia di kota-kota tersebut.

Untuk menghitung kebutuhan biodiesel di sektor transportasi, dilakukan dengan cara mengidentifikasi jumlah SPBU di kota Medan, DKI Jakarta, Bandung, dan Surabaya. Tercatat di Medan terdapat 42 SPBU, Jakarta 210, Bandung 52, dan Surabaya 74. Data SPBU di empat kota selengkapnya terdapat pada Lampiran.

Berdasarkan pengamatan sampel di beberapa SPBU di Jakarta dan Banten, rata-rata SPBU menjual 15-25 kilo liter minyak Solar per hari, atau rata-rata 20 kilo liter per hari. Dengan asumsi pada tahun 2010 setiap SPBU menjual seluruh bahan bakar diesel (Solar) dalam bentuk B-5, maka kebutuhan biodiesel sebagai bahan campuran B-5 seperti disajikan pada Tabel 4.1.



Tabel 4.1.

Estimasi Kebutuhan Biodiesel sebagai bahan substitusi B-5 di Medan, Jakarta, Bandung dan Surabaya Tahun 2010

Kota	Jumlah SPBU	Kebutuhan bahan bakar diesel (Solar), kl		Kebutuhan Biodiesel (5%) per tahun	
		Per hari	Per tahun	kl	ton
Medan	42	840	306.600	15.330	13,337
Jakarta	210	4.200	1.533.000	76.650	66,686
Bandung	52	1.040	379.600	18.980	16,513
Surabaya	74	1.480	540.200	27.010	23,499
TOTAL	378	7.560	2.759.400	137.970	120,034

Tabel 4.1. di atas menunjukkan bahwa kebutuhan bahan bakar diesel (Solar) di sektor transportasi di empat kota adalah 2,8 milyar liter/tahun. Angka ini setara dengan 15% dari total konsumsi minyak Solar di sektor transportasi tahun 2010 sebesar 18,14 milyar liter.

4.2. Produksi dan Kebutuhan CPO sebagai bahan baku biodiesel.

Saat ini, sekitar 20% produksi CPO nasional dihasilkan oleh PT. Perkebunan Nusantara (PTPN), sebuah Badan Usaha Milik Negara yang bergerak di bidang komoditas perkebunan. Dengan demikian PTPN secara keseluruhan merupakan perusahaan penghasil CPO terbesar di Indonesia. Sejalan dengan komitmen pemerintah untuk menjadikan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif, sementara harga CPO di pasar internasional cenderung terus naik, maka pilihan utama bagi pemerintah dalam memasok CPO bagi industri biodiesel adalah PTPN.

Sebanyak sepuluh PTPN yang bergerak di bidang perkebunan sawit serta industri CPO di seluruh wilayah Indonesia. Kesepuluh PTPN tersebut adalah:



1. PT. Perkebunan Nusantara I – Aceh Timur;
2. PT. Perkebunan Nusantara II – Medan;
3. PT. Perkebunan Nusantara III - Medan;
4. PT. Perkebunan Nusantara IV - Medan;
5. PT. Perkebunan Nusantara V - Riau;
6. PT. Perkebunan Nusantara VI - Jambi;
7. PT. Perkebunan Nusantara VII - Lampung;
8. PT. Perkebunan Nusantara VIII – Bandung;
9. PT. Perkebunan Nusantara XIII - Pontianak; dan
10. PT. Perkebunan Nusantara XIV – Makassar.

Tabel 4.2 menunjukkan daftar PTPN penghasil CPO, jumlah pabrik serta kapasitas produksinya per tahun.

Tabel 4.2.
PT Perkebunan Nusantara (PTPN) penghasil CPO

No	Nama dan alamat Perusahaan	Jumlah Pabrik CPO	Lokasi Pabrik	Kapasitas Produksi (ribu ton/tahun)
1.	PT. Perkebunan Nusantara I	3		96
2.	PT. Perkebunan Nusantara II	Tidak ada data		236
3.	PT. Perkebunan Nusantara III	10	Tapanuli Utara	400
4.	PT. Perkebunan Nusantara IV	16	Labuhan Batu	365
5.	PT. Perkebunan Nusantara V	12	Pelelawan	440
6.	PT. Perkebunan Nusantara VI	3		125
7.	PT. Perkebunan Nusantara VII	7	Rejosari	164
8.	PT. Perkebunan Nusantara VIII	1	Lebak	26
9.	PT. Perkebunan Nusantara XIII	7		214
10.	PT. Perkebunan Nusantara XIV	1		27,5
Total produksi				2.093,5

Sumber: Kantor Pemasaran Bersama PTPN (<http://www.kpbptpn.com>)



Setiap kg biodiesel memerlukan kurang lebih 1 kg CPO (Wirawan, 2005). Literatur lainnya menyebutkan 1,037 kg CPO untuk menghasilkan 1 kg biodiesel (US Dept. of Energy, 1998). Dengan menggunakan data 1,037 kg CPO untuk menghasilkan 1 kg Biodiesel, maka kebutuhan CPO sebagai bahan baku biodiesel di kota-kota Medan, Jakarta, Bandung dan Surabaya seperti yang disajikan dalam tabel 4.3. berikut ini:

Tabel 4.3.
Kebutuhan CPO sebagai bahan baku biodiesel sektor transportasi

Kota	Kebutuhan CPO (ribu ton / tahun)
Medan	13,83
Jakarta	69,15
Bandung	17,13
Surabaya	24,37
Total	124,48

4.3. Produksi Biodiesel Nasional

Tabel 4.4. menyajikan industri biodiesel nasional yang diperkirakan pada tahun 2010 sudah beroperasi. Beberapa diantaranya sudah beroperasi saat ini, baik untuk tujuan riset maupun komersial. Sementara itu, sisanya masih dalam tahap pembangunan.



Tabel 4.4.

Pabrik Biodiesel di Indonesia (sudah beroperasi dan tahap pembangunan)

Perusahaan / Institusi	Lokasi Pabrik	Produksi, 1000 kl/tahun				
		2006	2007	2008	2009	2010
Lemigas	Jakarta	0,04	1,6			
BPPT	Serpong	0,3	1			
BPPT-Pemda Riau	Kampar		3			
PT EAI	Jakarta	0,3				
PT RNI		0,05				
PPKS	Medan	3,3				
PT Bakrie-Rekin	Lampung					100
PT ganesha 77-PTPN IV	Medan		3			
PT Sumi Asih	Bekasi		36			
Depperin-Ekuin A			6			
Depperin-Ekuin B			6			
Depperin-Ekuin C			6			
BPPT-Ekuin	Jambi		0,3			
BPPT-Ekuin	Sumedang		0,3			
BPPT-Ekuin	Solok		0,3			
PT RAP	Jakarta		0,5			
PT-Indofuels-Hiswana	Dumai				150	
PT Eterindo Nusa Graha	Gresik	66				
PT Eterindo Wahana Tama	Cikupa, Tangerang	70				
PT. Asianindo Agungjaya	Marunda				100	
PT. Wahana Abdi Tirtatehnika Sejati	Bogor				30	
PT Sari Dumai Sejati	Bengkalis				100	
PT. Bio Energi Nusantara	Serang			150		
PT. Indobiofuels Energy	Muaro Jambi			16		
PT. DBF Plantation	Morowali				27	
PT. Wilmar Bioenergi Indonesia	Dumai				25	



4.4. Transportasi CPO ke Pabrik Biodiesel

4.4.1. Lokasi Pabrik Biodiesel

Untuk memodelkan sistem transportasi CPO ke pabrik Biodiesel, terlebih dahulu harus ditentukan lokasi pabrik biodiesel. Dalam penelitian ini diambil postulat pabrik biodiesel untuk mensuplai B-5 di kota Medan, Jakarta, Bandung dan Surabaya adalah pabrik biodiesel yang berlokasi paling dekat dengan tempat pencampuran (*blending*) biodiesel di kota-kota tersebut.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, pada tahun 2010 diproyeksikan ada lima pabrik biodiesel yang akan memasok biodiesel di empat kota. Tabel 4.5 memperlihatkan bahwa kebutuhan biodiesel di Medan seluruhnya dapat dipenuhi dari PT. Indofuels Hiswana. Untuk wilayah Jakarta, sebagian dipasok dari PT Eterindo Wahana Tama, dan sebagian lagi dari PT. Asianindo Agungjaya. Untuk wilayah Bandung seluruh kebutuhan dipasok dari PT. Wahana Abdi Tirtatehnika Sejati, dan wilayah Surabaya dipasok dari PT Eterindo Nusa Graha. Untuk wilayah Jakarta dan Surabaya, saat ini pola *supply* biodiesel telah dilakukan oleh PT. Pertamina, dimana kebutuhan untuk wilayah Jakarta dipasok oleh PT Eterindo Wahana Tama dan wilayah Surabaya dipasok oleh PT. Eterindo Nusa Graha (Berita Pertamina, Mei 2006).



Tabel 4.5.

Industri Biodiesel sebagai Pemasok Biodiesel untuk Sektor Transportasi di Medan, Jakarta, Bandung, dan Surabaya

Kota	Nama Pabrik Biodiesel dan Lokasi	Kapasitas Produksi tahun 2010 (kl)	Kebutuhan Biodiesel tahun 2010 (kl)	% kebutuhan thd produksi	Keterangan
Medan	PT. Indofuels Hiswana, Dumai	150.000	15.330	10,22%	prediksi
Jakarta	PT Eterindo Wahana Tama, Cikupa-Tangerang	70.000	76.650	100%	Sudah berlangsung
	PT. Asianindo Agungjaya, Marunda	100.000		6,65%	prediksi
Bandung	PT. Wahana Abdi Tirtatehnika Sejati, Bogor	30.000	18.980	63,27%	prediksi
Surabaya	PT Eterindo Nusa Graha, Gresik	66.000	27.010	40,92%	Sudah berlangsung

4.4.2. Moda Transportasi

CPO yang dihasilkan oleh pabrik, didistribusikan ke pabrik pengolahan biodiesel. Diasumsikan bahwa pabrik biodiesel yang ada akan mengambil pasokan bahan baku CPO dari pabrik CPO yang paling dekat. Alat transportasi yang digunakan adalah truk tangki.

Berdasarkan tabel 4.2. dan 4.3, kebutuhan CPO sebagai bahan baku biodiesel untuk wilayah Medan dipasok oleh Pabrik PTPN V di Pelelawan Riau (15 ribu ton), wilayah Jakarta dipasok oleh PTPN VII di Rejosari Lampung (77



ribu ton), wilayah Bandung dipasok oleh PTPN VII Lebak Banten (19 ribu ton), dan wilayah Surabaya dipasok oleh PTPN VII di Rejosari Lampung (27 ribu ton).

Tabel 4.6. memperlihatkan prediksi jarak antara pabrik CPO dengan pabrik biodiesel di masing-masing kota.

Tabel 4.6.
Jarak dari pabrik CPO ke pabrik biodiesel

Kota	Nama pabrik biodiesel	Lokasi	Lokasi Pabrik CPO	Jarak dari pabrik CPO ke pabrik biodiesel (km)	
Medan	PT. Indofuels Hiswana	Dumai, Riau	Pelelawan, Riau	150	
Jakarta	PT Eterindo Wahana Tama	Cikupa, Tangerang	Rejosari, Lampung	150	Rata-rata
	PT. Asianindo Agungjaya	Marunda	Rejosari, Lampung	200	175
Bandung	PT. Wahana Abdi Tirtatehnika Sejati	Bogor	Lebak, Banten	60	
Surabaya	PT Eterindo Nusa Graha	Gresik	Rejosari, Lampung	1100	

4.4.3. Analisis *Life Cycle* proses transportasi CPO

Analisis *life cycle* pada proses transportasi CPO menyangkut nilai total energi primer, serta energi fosil yang digunakan. Total energi primer dalam tahapan ini didefinisikan sebagai nilai kumulatif energi yang diperlukan dalam proses transportasi. Sedangkan energi fosil adalah energi yang dikandung oleh bahan bakar fosil yang digunakan. Energi yang dibutuhkan untuk proses transportasi terdiri atas energi bahan bakar minyak untuk mobil



pengangkut. Menurut studi US Departement of Energy (1998), untuk transportasi 1 kg minyak kedelai menggunakan truk diperlukan total energi primer sebesar 0,000545 MJ per mile atau 0,00039 MJ per km.

Penghitungan energi fosil dalam proses transportasi CPO ke pabrik biodiesel, dilakukan dalam dua pemodelan, bergantung kepada bahan bakar yang digunakan. Model 1, truk tangki menggunakan bahan bakar 100% solar (selanjutnya disebut B-0); model 2 truk tangki menggunakan bahan bakar Biosolar (B-5). Jika menggunakan B-0, karena seluruh energi yang digunakan adalah energi fosil, maka energi fosil yang diperlukan untuk proses ini adalah 0,00039 MJ/kg/km. Sementara itu, jika menggunakan B-5, maka energi fosil yang dipakai adalah $95\% \times 0,00039 \text{ MJ/kg/km} = 0,00037 \text{ MJ/kg/km}$.

Dengan menggunakan data tersebut, maka konsumsi energi untuk transportasi CPO dari pabrik CPO ke pabrik biodiesel di setiap wilayah, seperti yang disajikan dalam tabel 4.7. berikut:

Tabel 4.7.

Hasil analisis *life cycle* Transportasi CPO per wilayah

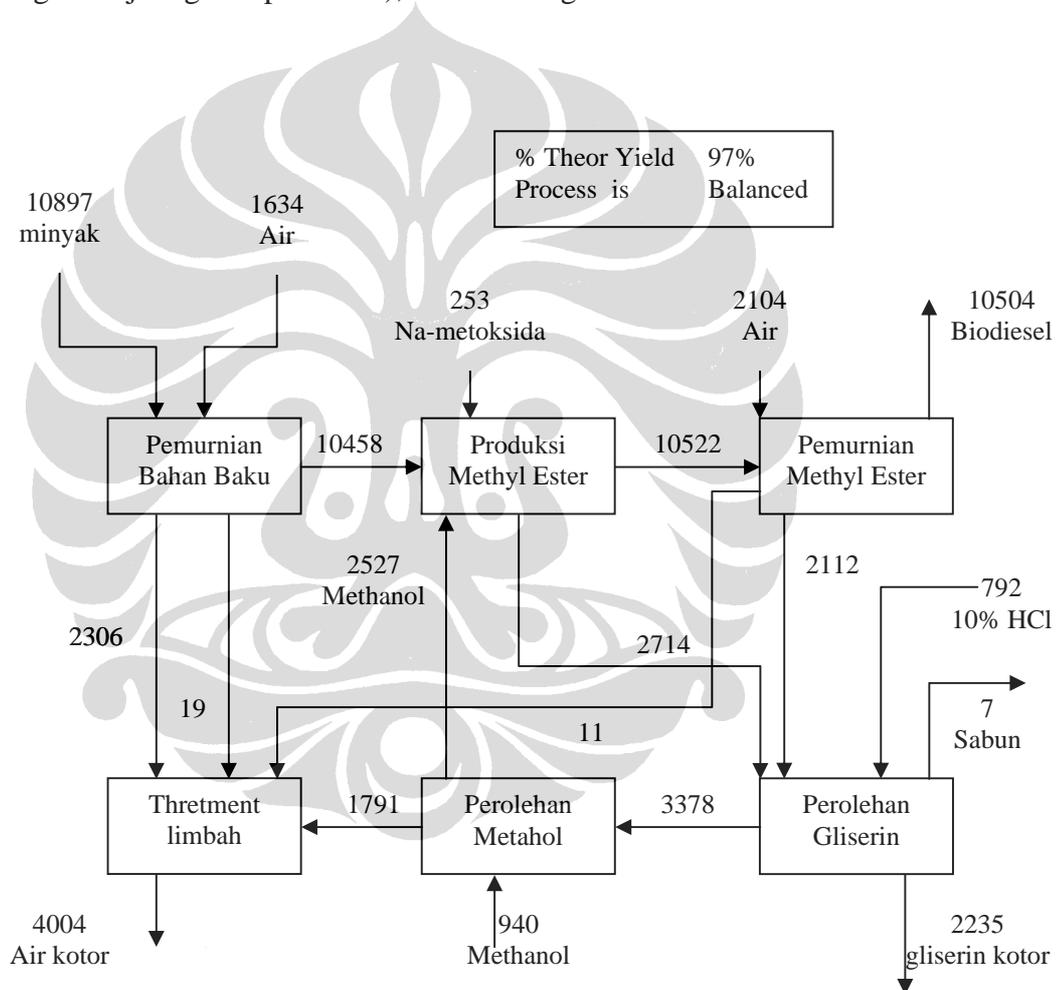
Kota	Jumlah CPO (ribu ton)	Jarak (km)	Total Energi Primer (juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)	
				Model 1	Model 2
Medan	13,83	150	0,81	0,81	0,77
Jakarta	69,15	175	4,72	11,94	11,35
Bandung	17,13	60	0,40	1,40	1,33
Surabaya	24,37	1100	10,45	471,90	448,31
Nasional	124,48	371,25	72,09	860,04	817,04

Dimana jumlah CPO adalah jumlah CPO yang diangkut, dan jarak adalah jarak dari pabrik CPO ke pabrik biodiesel.



4.5. Konversi CPO menjadi Biodiesel

Perhitungan kesetimbangan energi proses pembuatan biodiesel dalam penelitian ini didasarkan kepada hasil penelitian analisis *life cycle* konversi minyak kedelai menjadi biodiesel di Amerika Serikat (Howell 1997; US Dept. of Agriculture 1998). Secara keseluruhan, kesetimbangan massa pada proses konversi minyak menjadi biodiesel pada fasilitas dengan kapasitas produksi 10,504 kg/jam biodiesel (setara dengan 25 juta galon per tahun), adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1. Overview proses konversi minyak menjadi biodiesel
(flow dalam kg/jam)



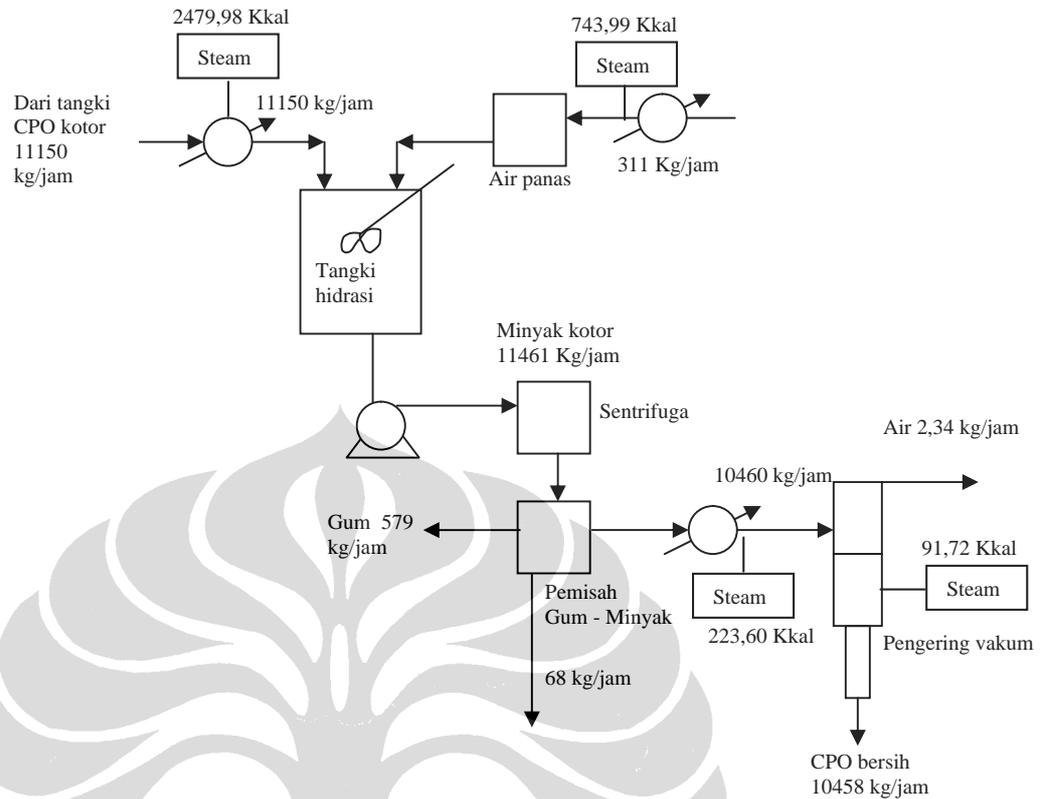
4.5.1. Proses pembuatan biodiesel

(US Dept. of Energy 1998; NBB, 2003; Hariyadi dkk., 2005)

4.5.1.1. Penyiapan bahan baku

Bahan baku berupa minyak sawit kotor / CPO disiapkan terlebih dahulu untuk mengurangi tingkat kesulitan pemurnian produk pada proses selanjutnya. Proses penyiapan bahan baku berupa 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.

Dalam studi ini, model *degumming* yang digunakan adalah dengan proses hidrasi. CPO kotor dari tangki dialirkan kedalam tangki hidrasi, kemudian ditambahkan air panas. Campuran CPO, Air dan Gum kemudian dialirkan ke tangki sentrifuga. Gum dipisahkan dari minyak hasil hidrasi. Selanjutnya air yang masih terkandung di dalam minyak bersih dipisahkan dengan menggunakan pengering vakum.



Gambar 4.2. Proses *degumming* bahan baku CPO

Tabel 4.8. memperlihatkan komposisi akhir CPO setelah proses *degumming*

Tabel 4.8.

Komposisi akhir CPO setelah proses *degumming*

Komponen	Prosentase berat
Trigliserida	97,43%
Asam lemak bebas	0,75%
Komponen tidak tersabunkan	1,50%
Lainnya	0,30%
Gum	0,02%
Total	100,00%



Kebutuhan steam untuk proses degumming 1 ton minyak (CPO) sebagaimana disajikan pada tabel 4.9. berikut ini:

Tabel 4.9.
Kebutuhan steam untuk proses *degumming*
(per ton minyak)

Proses	Steam (kkal)
Pemanasan CPO	25.935,61
Pemanasan air	7.780,68
<i>Pre heater vakum dryer</i>	2.338,37
<i>Vakum dryer</i>	959,21
Total	37.013,87

Total energi primer dalam tahapan ini didefinisikan sebagai nilai kumulatif energi yang diperlukan untuk memproduksi steam. Sedangkan energi fosil adalah energi yang dikandung oleh bahan bakar fosil yang digunakan. Setiap 1 kkal steam memerlukan total energi primer sebesar 4.467 MJ (US. Dept of Energy, 1998). Dengan demikian, pada tahap *degumming* setiap ton minyak memerlukan total energi primer sejumlah $(37.013,87 \text{ kkal} \times 4.467 \text{ MJ/kkal}) = 165.340,96 \text{ MJ}$. Selanjutnya, untuk menghitung energi fosil pada tahapan ini, dilakukan tiga model, bergantung kepada bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi steam. Model pertama, menggunakan bahan bakar 100% solar (B-0); kedua menggunakan Biosolar (B-5); dan ketiga menggunakan B-100, Jika menggunakan B-0, karena seluruh energi yang digunakan adalah energi fosil, maka energi fosil yang diperlukan untuk proses ini adalah 165.340,96 MJ/ton CPO. Jika menggunakan B-5, maka energi fosil yang dipakai adalah $95\% \times 165.340,96 \text{ MJ/ton} = 157.073,91 \text{ MJ/ton}$. Sedangkan, jika menggunakan B-100, energi fosil = 0.

Tabel 4.10 memperlihatkan total energi primer dan energi fosil yang diperlukan pada tahapan *degumming* CPO.



Tabel 4.10.

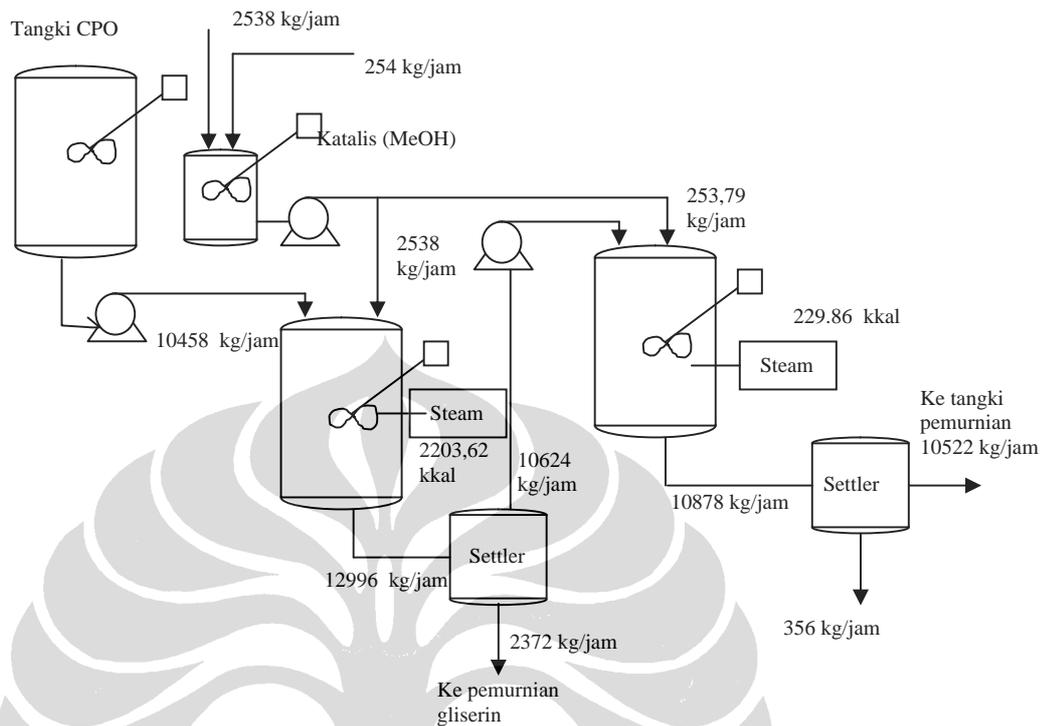
Total energi primer dan energi fosil yang diperlukan pada tahapan *degumming* CPO

Kota	Jumlah CPO (ribu ton)	Total Energi Primer (juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)		
			Model 1	Model 2	Model 3
Medan	13,83	2,29	2,29	2,17	0
Jakarta	69,15	11,43	11,43	10,86	0
Bandung	17,13	2,83	2,83	2,69	0
Surabaya	24,37	4,03	4,03	3,83	0
Nasional	124,48	20,58	20,58	19,55	0

4.5.1.2. 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. Gambar berikut menunjukkan model skema proses transesterifikasi CPO.



Gambar 4.3. Proses transesterifikasi pada produksi biodiesel

Tabel 4.11. menunjukkan total kebutuhan steam pada proses esterifikasi minyak menjadi biodiesel.

Tabel 4.11.

Kebutuhan steam pada proses transesterifikasi
(per ton biodiesel)

Unit	Kebutuhan steam (kkal)
Reaktor transesterifikasi tahap pertama	23.186,46
Reaktor transesterifikasi tahap kedua	2.418,56
Total	25.605,02



Total energi primer dalam tahapan ini didefinisikan sebagai nilai kumulatif energi yang diperlukan untuk memproduksi steam. Sedangkan energi fosil adalah energi yang dikandung oleh bahan bakar fosil yang digunakan. Setiap 1 kkal steam memerlukan total energi primer sebesar 4.467 MJ. Dengan demikian, pada tahap *degumming* setiap ton minyak memerlukan total energi primer sejumlah $(25.605,02 \text{ kkal} \times 4.467 \text{ MJ/kkal}) = 114.377,62 \text{ MJ}$. Selanjutnya, untuk menghitung energi fosil pada tahapan ini, dilakukan tiga model, bergantung kepada bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi steam. Model pertama, menggunakan bahan bakar 100% solar (B-0); kedua menggunakan Biosolar (B-5); dan ketiga menggunakan B-100. Jika menggunakan B-0, karena seluruh energi yang digunakan adalah energi fosil, maka energi fosil yang diperlukan untuk proses ini adalah 114,377,62 MJ/ton CPO. Jika menggunakan B-5, maka energi fosil yang dipakai adalah $95\% \times 114.377,62 \text{ MJ/ton} = 108.658,74 \text{ MJ/ton}$. Sedangkan, jika menggunakan B-100, energi fosil = 0.

Tabel 4.12 memperlihatkan total energi primer dan energi fosil yang diperlukan pada tahapan esterifikasi CPO menjadi biodiesel.

Tabel 4.12.

Total energi primer dan energi fosil yang diperlukan pada tahapan esterifikasi CPO menjadi biodiesel

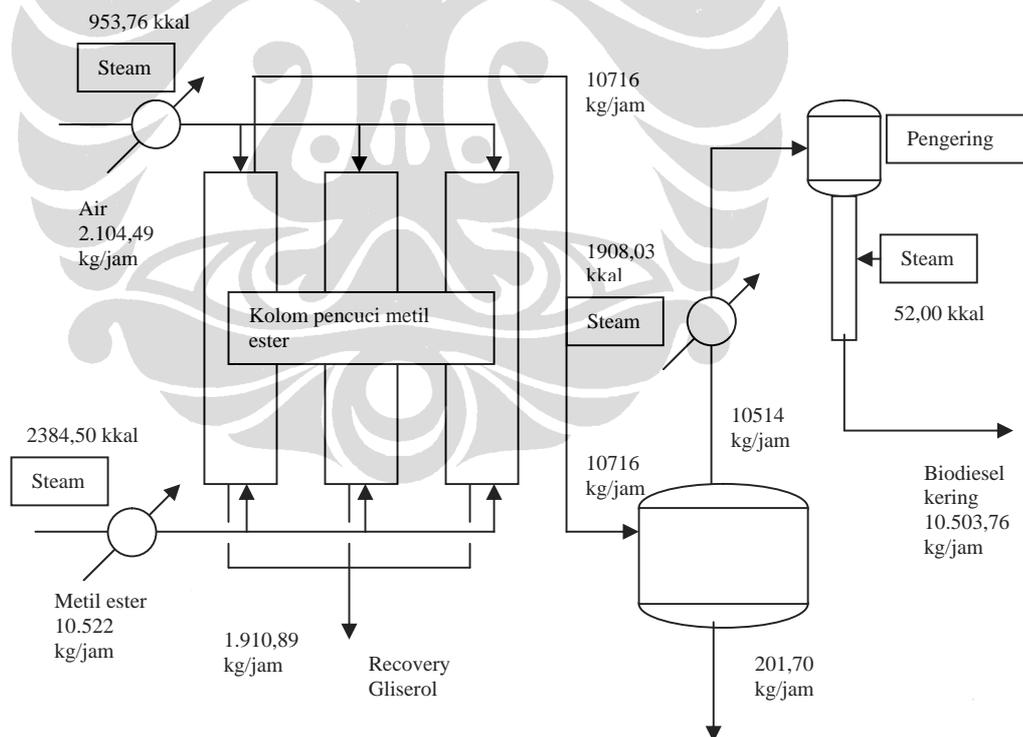
Kota	Jumlah biodiesel (ribu ton)	Total energi primer (juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)		
			Model 1	Model 2	Model 3
Medan	13,34	1,53	1,53	1,45	0
Jakarta	66,69	7,63	7,63	7,25	0
Bandung	16,51	1,89	1,89	1,79	0
Surabaya	23,50	2,69	2,69	2,55	0
Nasional	120,03	13,37	13,37	13,04	0



4.5.1.3. Pemurnian metil ester;

Selanjutnya, metil ester yang diperoleh dimurnikan. Proses ini pada umumnya menggunakan air hangat untuk menghilangkan metanol, gliserol serta pengotor larut air lainnya. Proses ini dilakukan dalam sebuah rangkaian kolom pencuci, dimana air hangat dialirkan dari bagian atas, dan metil ester (biodiesel) dialirkan dari bagian bawah kolom.

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.



Gambar 4.4.

Proses pemurnian methyl ester (biodiesel)



Komposisi produk biodiesel hasil pemurnian seperti ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13.
Komposisi biodiesel hasil pemurnian

Komponen	% berat
Trigliserida	1,00%
Phospatida	0,00%
Komponen tidak tersabunkan	0,02%
Metil ester	98,99%
Total	100,00%

Jumlah steam yang dibutuhkan pada proses pemurnian biodiesel seperti disajikan dalam tabel 4.14. berikut ini:

Tabel 4.14.
Kebutuhan steam pada proses pemurnian biodiesel
(per ton produk biodiesel)

Unit	Steam (Kkal)
Pemanas air	10.017,74
Pemanas metil ester	25.044,34
Pengering	20.040,24
Pengering vakum	546,12
Total	55.648,44



Setiap 1 kkal steam memerlukan total energi primer sebesar 4.467 MJ, Dengan demikian, pada tahap pemurnian biodiesel setiap ton biodiesel memerlukan total energi primer sejumlah $(55.648,44 \text{ kkal} \times 4.467 \text{ MJ/kkal}) = 248.581,58 \text{ MJ}$. Selanjutnya, untuk menghitung energi fosil pada tahapan ini, dilakukan tiga model, bergantung kepada bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi steam. Model pertama, menggunakan bahan bakar 100% solar (B-0); kedua menggunakan Biosolar (B-5); dan ketiga menggunakan B-100. Jika menggunakan B-0, karena seluruh energi yang digunakan adalah energi fosil, maka energi fosil yang diperlukan untuk proses ini adalah 248.581,58 MJ/ton biodiesel. Jika menggunakan B-5, maka energi fosil yang dipakai adalah $95\% \times 248.581,58 \text{ MJ/ton} = 236.152,50 \text{ MJ/ton}$. Sedangkan, jika menggunakan B-100, energi fosil = 0.

Tabel 4.15 memperlihatkan total energi primer dan energi fosil yang diperlukan pada tahapan pemurnian biodiesel.

Tabel 4.15.
Total energi primer dan energi fosil yang diperlukan pada tahapan pemurnian biodiesel

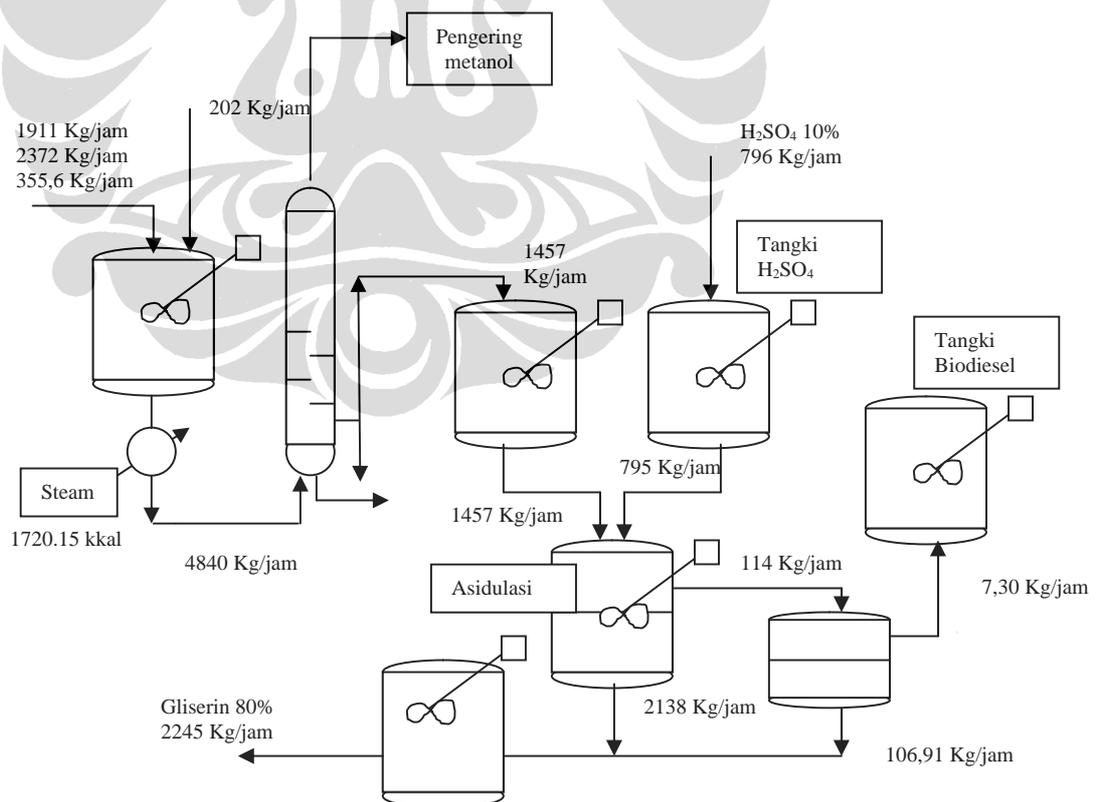
Kota	Jumlah biodiesel (ribu ton)	Total energi primer (juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)		
			Model 1	Model 2	Model 3
Medan	13,34	3,32	3,32	3,15	0
Jakarta	66,69	16,58	16,58	15,75	0
Bandung	16,51	4,10	4,10	3,90	0
Surabaya	23,50	5,84	5,84	5,55	0
Nasional	120,03	29,84	29,84	28,35	0



4.5.1.4. Pemurnian gliserol;

Larutan gliserol kotor yang diperoleh dari settler transesterifikasi, kolom pencucian biodiesel dan kondensat pengeringan, digabung dan didistilasi untuk memperoleh kembali metanol yang ada di dalamnya. Uap metanol kemudian dikondensasikan dan disalurkan kembali ke tangki metanol. Gliserol bebas dan dialirkan ke 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 H_2SO_4 dan Aluminium hidroksida sampai mencapai pH 4,5. Padatan yang terbentuk kemudian disaring.

Larutan dinetralkan dengan penambahan 50% larutan NaOH, kemudian didistilasi. Gliserol yang telah murni (kemurnian $>80\%$) disimpan, dan sebagian dikirim ke unit pembersihan biodiesel.



Gambar 4.5. Proses pemurnian gliserol



Steam yang dibutuhkan untuk memurnikan gliserol dari setiap ton biodiesel yang dihasilkan adalah 18.066,71 kkal. Setiap 1 kkal steam memerlukan total energi primer sebesar 4.467 MJ. Dengan demikian, pada tahap pemurnian gliserol dari setiap ton biodiesel memerlukan total energi primer sejumlah $(18.066,71 \text{ kkal} \times 4.467 \text{ MJ/kkal}) = 80.703,99 \text{ MJ}$. Selanjutnya, untuk menghitung energi fosil pada tahapan ini, dilakukan tiga model, bergantung kepada bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi steam. Model pertama, menggunakan bahan bakar 100% solar (B-0); kedua menggunakan Biosolar (B-5); dan ketiga menggunakan B-100. Jika menggunakan B-0, karena seluruh energi yang digunakan adalah energi fosil, maka energi fosil yang diperlukan untuk proses ini adalah 80.703,99 MJ/ton biodiesel. Jika menggunakan B-5, maka energi fosil yang dipakai adalah $95\% \times 80.703,99 \text{ MJ/ton} = 76.668,80 \text{ MJ/ton}$. Sedangkan, jika menggunakan B-100, energi fosil = 0.

Tabel 4,16 memperlihatkan total energi primer dan energi fosil yang diperlukan pada tahapan pemurnian gliserol.

Tabel 4.16.

Total energi primer dan energi fosil yang diperlukan pada tahapan pemurnian gliserol

Kota	Jumlah biodiesel (ribu ton)	Total Energi Primer (juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)		
			Model 1	Model 2	Model 3
Medan	13,34	1,08	1,08	1,02	0
Jakarta	66,69	5,38	5,38	5,11	0
Bandung	16,51	1,33	1,33	1,27	0
Surabaya	23,50	1,90	1,90	1,80	0
Nasional	120,03	9,69	9,69	9,20	0



4.5.2. Overall input dari fasilitas produksi biodiesel

Pabrik biodiesel memerlukan enam input bahan baku, seperti ditunjukkan pada tabel 4.18. Untuk setiap 1000 kg biodiesel yang dihasilkan, diperlukan 1.037 kg CPO yang telah melalui proses *degumming*, Disamping itu diperlukan 90 kg methanol serta Natrium metoksida dan NaOH sebagai katalis. Asam sulfat diperlukan didalam proses asidulasi gliserol sebagai produk samping.

Tabel 4,17,
Input bahan baku pada pabrik biodiesel

Material	Flow	
	kg/jam	kg/ton biodiesel
CPO	10.896,64	1.037,42
Na-metoksida	252,71	24,06
NaOH (9,5%)	252,09	24,00
H ₂ SO ₄ (10%)	792,26	75,43
Methanol	940,17	89,51
Air	3.738,93	355,97

4.5.3. Overall output dari fasilitas produksi biodiesel

Terdapat dua produk utama dari proses konversi CPO menjadi biodiesel, yaitu biodiesel dan Gliserol. Produk lainnya berupa sejumlah kecil sabun (*soapstock*) yang dihasilkan dari netralisasi asam lemak bebas pada proses perolehan kembali gliserol. Tabel 4.18. menunjukkan jumlah setiap produk yang dihasilkan dari proses ini.



Tabel 4.18.

Produk yang dihasilkan dari pabrik biodiesel

Produk	Flow	
	kg/jam	kg/ton biodiesel
Biodiesel	10.503,55	1.000
Sabun hasil asidulasi	7,27	0,69
Gliserol (90% berat)	2.235,47	212,83
Air	3.738,93	355,97

4.5.4. Analisis *life cycle* konversi CPO menjadi Biodiesel

Total energi primer dalam tahapan konversi CPO menjadi biodiesel didefinisikan sebagai nilai kumulatif energi yang diperlukan untuk memproduksi steam, yang digunakan pada setiap tahapan proses. Sedangkan energi fosil adalah energi yang dikandung oleh bahan bakar fosil yang digunakan. Total energi primer dan energi fosil yang dibutuhkan untuk proses konversi CPO menjadi biodiesel, dengan variasi bahan bakar untuk produksi steam di setiap kota adalah sebagai berikut:

Tabel 4.19.

Hasil analisis *life cycle* konversi CPO menjadi biodiesel

Kota	Total Energi Primer (juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)		
		Model 1	Model 2	Model 3
Medan	8,20	8,20	7,79	0
Jakarta	41,02	41,02	38,97	0
Bandung	10,16	10,16	9,65	0
Surabaya	14,46	14,46	13,37	0
Nasional	73,84	73,84	70,14	0



4.6. Pengangkutan Biodiesel ke Tempat Pencampuran B-5

Biodiesel yang diproduksi di berbagai pabrik biodiesel, diasumsikan dicampur dengan minyak solar menjadi B-5 di depo milik PT. Pertamina di masing-masing kota. Biodiesel dari pabrik diangkut menggunakan truk tangki ke sejumlah depo untuk selanjutnya dilakukan proses pencampuran dengan minyak solar. Untuk itu, diperlukan proses pemuatan (*loading*) dari tangki penyimpanan di Pabrik ke dalam tangki mobil menggunakan pompa listrik, kemudian proses pengangkutan menuju lokasi pencampuran. Setibanya di lokasi, dilakukan proses pencampuran langsung di dalam tangki mobil yang berisi minyak solar dengan jumlah tertentu. Selanjutnya, produk hasil campuran (B-5) diangkut dari depo ke unit-unit SPBU yang telah ditentukan.

Depo BBM PT. Pertamina yang dijadikan model adalah Depo Belawan di Medan, Depo Plumpang di Jakarta, Depo Ujung Berung di Bandung, dan Depo Perak di Surabaya.

4.6.1. Moda transportasi

Tabel 4.20 memperlihatkan jarak yang harus ditempuh oleh truk tangki untuk mengangkut biodiesel dari pabrik biodiesel ke tempat pencampuran.

Tabel 4.20.

Jarak pengangkutan Biodiesel ke tempat pencampuran

Kota	Alamat Depo	Alamat Pabrik CPO	Jarak pabrik CPO ke Depo (km)
Medan	Depo Belawan, Medan	Dumai, Riau	450
Jakarta	Depo Plumpang, Jakarta Utara	Cikupa, Tangerang	50
		Marunda	10
			Rata-rata 30



Kota	Alamat Depo	Alamat Pabrik CPO	Jarak pabrik CPO ke Depo (km)
Bandung	Depo Ujung Berung, Bandung	Bogor	90
Surabaya	Depo Perak, Surabaya	Gresik	25

4.6.2. Analisis *Life cycle* Transportasi Biodiesel ke Tempat Pencampuran.

Total energi primer dalam tahapan ini didefinisikan sebagai nilai kumulatif energi yang diperlukan untuk mengangkut biodiesel. Sedangkan energi fosil adalah energi yang dikandung oleh bahan bakar fosil yang digunakan. Energi yang dibutuhkan untuk proses transportasi terdiri atas energi bahan bakar minyak untuk mobil pengangkut. Menurut studi US Departement of Energy (1998), untuk transportasi 1 kg minyak kedelai menggunakan truk diperlukan total energi primer sebesar 0,000545 MJ per mile atau 0,00039 MJ per km.

Penghitungan energi fosil dalam proses transportasi Biodiesel ke tempat pencampuran, dilakukan dengan dua pemodelan dengan variasi bahan bakar yang digunakan. Model pertama, truk tangki menggunakan bahan bakar 100% solar (B-0); kedua menggunakan Biosolar (B-5). Jika menggunakan B-0, karena seluruh energi yang digunakan adalah energi fosil, maka energi fosil yang diperlukan untuk proses ini adalah 0,00039 MJ/kg/km. Sementara itu, jika menggunakan B-5, maka energi fosil yang dipakai adalah $95\% \times 0,00039 \text{ MJ/kg/km} = 0,00037 \text{ MJ/kg/km}$.

Dengan menggunakan data tersebut, maka konsumsi energi untuk transportasi Biodiesel dari pabrik biodiesel ke tempat pencampuran di setiap wilayah, seperti yang disajikan dalam tabel 4.22. berikut:



Tabel 4.22.

Hasil analisis *life cycle* Transportasi Biodiesel per wilayah

Kota	Jumlah biodiesel (ribu ton)	Jarak (km)	Total Energi Primer (juta MJ)	Total Energi Fosil (MJ)	
				Model 1	Model 2
Medan	13,34	450,00	2,34	2,34	2,22
Jakarta	66,69	30,00	0,78	0,78	0,74
Bandung	16,51	90,00	0,58	0,58	0,55
Surabaya	23,50	25,00	0,23	0,23	0,22
Nasional	120,03	148,75	0,03	0,03	0,03

4.7. Transportasi B-5 ke SPBU

Setelah biodiesel dicampur dengan minyak Solar menjadi B-5, selanjutnya didistribusikan ke SPBU-SPBU.

4.7.1. Moda Transportasi

Pengangkutan bahan bakar biodiesel B-5 dari Depo ke SPBU menggunakan truk tangki milik PT. Pertamina.

Pada tahun 2010, diasumsikan sejumlah 378 SPBU di Medan, Jakarta, Bandung dan Surabaya yang akan menjadi tempat penjualan bahan bakar biodiesel B-5. Untuk menganalisis proses distribusi Biodiesel dari tempat pencampuran ke SPBU-SPBU diperlukan data jarak dari tempat pencampuran ke SPBU. Perhitungan jarak dari Depo ke SPBU dilakukan dengan melalui pembacaan peta di wilayah Medan, Jakarta, Bandung dan Surabaya. Tabel 4.25. menunjukkan jumlah SPBU di setiap kota dan jarak total dari Depo ke SPBU.



Berikut ini disajikan kebutuhan energi untuk keseluruhan proses transportasi biodiesel sejak dari pabrik sampai tempat penjualan akhir (SPBU).

Tabel 4.23.
Jumlah SPBU serta jarak rata-rata dari Depo

Kota	Jumlah SPBU	Jarak total dari depo (km)
Medan	42	336
Jakarta	210	2.995
Bandung	52	416
Surabaya	74	435
TOTAL	378	4.182

4.7.2. Analisis *Life cycle* Transportasi B-5 ke SPBU.

Total energi primer dalam tahapan ini didefinisikan sebagai nilai kumulatif energi yang diperlukan untuk mengangkut B-5. Sedangkan energi fosil adalah energi yang dikandung oleh bahan bakar fosil yang digunakan. Dengan metode penghitungan yang sama dengan yang diterapkan pada analisis *life cycle* transportasi CPO maupun biodiesel, diperoleh hasil analisis *life cycle* transportasi campuran biodiesel B-5 sebagaimana disajikan pada tabel 4.24. berikut ini.



Tabel 4.24.

Hasil analisis *life cycle* Transportasi Biodiesel per wilayah

Kota	Total Energi Primer (juta MJ)	Total Energi Fosil (juta MJ)	
		B-0	B-5
Medan	0,04	0,04	0,04
Jakarta	0,37	0,37	0,35
Bandung	0,05	0,05	0,05
Surabaya	0,05	0,05	0,05
Nasional	0,42	0,42	0,40

4.8. Perhitungan Efisiensi Energi *Life Cycle* dan Rasio Energi Fosil (REF)

4.8.1. Efisiensi Energi *Life Cycle*

Efisiensi Energi *Life Cycle* dihitung sebagai:

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

Dimana total energi primer didefinisikan sebagai nilai kumulatif energi yang dikandung oleh seluruh material yang terlibat. Sedangkan energi fosil adalah energi yang dikandung oleh bahan bakar fosil yang digunakan.

Dari keseluruhan proses *life cycle* biodiesel berbahan baku CPO yang telah dibahas sebelumnya, diperoleh data total energi primer sebagai berikut:



Tabel 4.25.

Rekapitulasi Total Energi Primer dari seluruh tahapan *life cycle* di setiap wilayah

(dalam juta MJ)

Tahapan	Medan	Jakarta	Bandung	Surabaya	Nasional
Transportasi CPO	0,81	4,72	0,40	10,45	72,09
Konversi CPO menjadi Biodiesel	8,20	41,02	10,16	14,46	73,84
Transportasi Biodiesel	2,34	0,78	0,58	0,23	0,92
Transportasi B-5	0,04	0,37	0,05	0,05	0,42
Total per wilayah	11,40	46,89	11,19	25,19	147,28

Energi bahan bakar (*fuel energy*) adalah energi yang terkandung di dalam produk akhir, yang akan digunakan di dalam mesin jika produk digunakan sebagai bahan bakar. Energi bahan bakar produk biodiesel adalah 117.093 btu/gal (US Dept. of Energy, 1998). Nilai ini setara dengan 221.183 MJ/kl biodiesel. Dengan demikian, nilai Efisiensi Energi *life cycle* di setiap wilayah adalah sebagai berikut:



Tabel 4.26.

Nilai Efisiensi Energi *Life Cycle* di setiap wilayah

Wilayah	Jumlah CPO (ribu kl)	Energi bahan bakar (juta MJ)	Total Energi Primer (juta MJ)	Efisiensi Energi <i>Life Cycle</i>
Medan	13,337	2,95	11,40	0,26
Jakarta	66,686	14,75	46,89	0,32
Bandung	16,513	3,65	11,19	0,33
Surabaya	23,499	5,20	25,19	0,21
Nasional	120,034	26,55	147,28	0,27

4.8.2. Rasio Energi Fosil (REF)

Rasio Energi Fosil dihitung sebagai:

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

Dalam menghitung REF, dibuat tiga model dengan variabel jenis bahan bakar yang digunakan dalam proses transportasi dan proses pembuatan biodiesel. Ketiga model tersebut adalah:

- 1). Model 1: Bahan bakar yang digunakan baik dalam proses transportasi maupun dalam proses produksi steam pada pembuatan biodiesel seluruhnya adalah 100% solar (B-0),
- 2). Model 2: Bahan bakar yang digunakan baik dalam proses transportasi maupun dalam proses produksi steam pada pembuatan biodiesel seluruhnya adalah campuran 95% solar dengan 5% biodiesel (B-5),
- 3). Model 3: Bahan bakar yang digunakan dalam proses transportasi adalah campuran 95% solar dengan 5% biodiesel (B-5), sedangkan dalam



proses produksi steam pada pembuatan biodiesel adalah 100% biodiesel (B-100).

4.8.2.1. Perhitungan REF Model 1.

Dari keseluruhan proses *life cycle* biodiesel berbahan baku CPO yang telah dibahas sebelumnya, jika seluruh proses menggunakan B-0, diperoleh data total energi fosil yang diperlukan sebagai berikut:

Tabel 4.27.

Rekapitulasi energi fosil yang digunakan pada setiap tahapan *life cycle* di setiap wilayah, dengan model 1.

(dalam juta MJ)

Tahapan	Medan	Jakarta	Bandung	Surabaya	Nasional
Transportasi CPO	0,81	11,94	1,40	471,90	486,06
Konversi CPO menjadi Biodiesel	8,20	41,02	10,16	14,46	73,84
Transportasi Biodiesel	2,34	0,78	0,58	0,23	3,93
Transportasi B-5	0,04	0,37	0,05	0,05	0,52
Total per wilayah	11,40	54,11	12,19	486,64	564,34

Berdasarkan data diatas, dengan memasukkan nilai energi bahan bakar (*fuel energy*) produk biodiesel 221.183 MJ/kl biodiesel, maka diperoleh nilai REF untuk setiap wilayah, adalah sebagai berikut:



Tabel 4.28.

Nilai Rasio Energi Fosil per wilayah dengan model 1

Wilayah	Energi bahan bakar (Juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)	Rasio Energi Fosil
Medan	2,95	11,40	0,26
Jakarta	14,75	54,11	0,27
Bandung	3,65	12,19	0,30
Surabaya	5,20	486,64	0,01
Nasional	26,55	564,34	0,05

4.8.2.2. Penghitungan REF dengan model 2.

Jika seluruh proses menggunakan B-5, diperoleh data total energi fosil yang diperlukan serta nilai rasio energi fosil adalah sebagai berikut:

Tabel 4.29.

Rekapitulasi energi fosil yang digunakan pada setiap tahapan *life cycle* di setiap wilayah, dengan model 2.

(dalam juta MJ)

Tahapan	Medan	Jakarta	Bandung	Surabaya	Nasional
Transportasi CPO	0,77	11,35	1,33	448,31	461,75
Konversi CPO menjadi Biodiesel	7,79	38,97	9,65	13,73	70,14
Transportasi Biodiesel	2,22	0,74	0,55	0,22	3,73
Transportasi B-5	0,04	0,35	0,05	0,05	0,49
Total per wilayah	10,83	51,41	11,58	462,31	536,12



Tabel 4.30

Nilai Rasio Energi Fosil per wilayah dengan model 2

Wilayah	Energi bahan bakar (Juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)	Rasio Energi Fosil
Medan	2,95	10,83	0,27
Jakarta	14,75	51,41	0,29
Bandung	3,65	11,58	0,32
Surabaya	5,20	462,31	0,01
Nasional	26,55	536,12	0,05

4.8.2.3. Penghitungan REF Model 3.

Jika seluruh proses transportasi menggunakan B-5 sedangkan proses pembuatan biodiesel menggunakan B-100, diperoleh data total energi fosil yang diperlukan serta nilai rasio energi fosil adalah sebagai berikut:

Tabel 4.31.

Rekapitulasi energi fosil yang digunakan pada setiap tahapan *life cycle* di setiap wilayah dengan model 3.

(dalam juta MJ)

Tahapan	Medan	Jakarta	Bandung	Surabaya	Nasional
Transportasi CPO	0,77	11,35	1,33	448,31	461,75
Konversi CPO menjadi Biodiesel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transportasi Biodiesel	2,22	0,74	0,55	0,22	3,73
Transportasi B-5	0,04	0,35	0,05	0,05	0,49
Total per wilayah	3,03	12,44	1,93	448,58	465,97



Tabel 4.32

Nilai Rasio Energi Fosil per wilayah dengan Model 3

Wilayah	Energi bahan bakar (Juta MJ)	Energi Fosil (juta MJ)	Rasio Energi Fosil
Medan	2,95	3,03	0,97
Jakarta	14,75	12,44	1,19
Bandung	3,65	1,93	1,89
Surabaya	5,20	448,58	0,01
Nasional	26,55	465,97	0,06