

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab 3 terdiri atas dua tahap utama yaitu pengumpulan data dan pengolahan data. Pada bagian pengumpulan data, akan dipaparkan data-data utama untuk perhitungan serta data pelengkap untuk mendukung proses konversi. Pada bagian pengolahan data, akan ditunjukkan metode pengolahan data serta hasil pengolahan data yang akan dibahas pada bab selanjutnya.

3.1 PENGUMPULAN DATA

Tahap pengumpulan data merupakan fase kedua dalam metodologi *life cycle assessment*, dimana sistem produk didefinisikan. Di dalam LCA, setiap aliran masuk dan keluar dari sistem ditranslasikan menjadi intervensi lingkungan. Ekstraksi dan konsumsi sumber daya alam dan emisi, dan juga proses pertukaran dalam lingkungan pada setiap fase yang relevan dalam siklus hidup produk dikompilasi. Kompilasi dari semua ini disebut *Life Cycle Inventory* (LCI). LCI digunakan untuk dapat menginterpretasikan indikator dari dampak lingkungan yang potensial. Pengumpulan data dilakukan untuk enam unit bisnis yang dibahas pada rantai suplai industri biodiesel ini, yaitu Perkebunan, *CPO Mill*, Pabrik Biodiesel, *Blending Plant/ Pool* Pertamina, Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU), dan Transportasi kendaraan pengguna biodiesel. Data merupakan data sekunder yang dikumpulkan dari jurnal, hasil penelitian, serta buku yang berkaitan. Data akan dikumpulkan meliputi *life cycle inventory* pada perkebunan, *CPO Mil*, pabrik Biodiesel, *Blending Plant*, SPBU, dan Transportasi.

3.1.1 Pengumpulan Data pada Unit Bisnis Perkebunan

Seperti telah ditampilkan data perkebunan kelapa sawit di Indonesia, bahwa tahun 2010 ini diperkirakan luas perkebunan sudah hampir mencapai 8 juta hektar, dengan produksi CPO sebesar 20 juta ton dan KPO 4 juta ton per tahun. Pada unit perkebunan, dikumpulkan data umum input-output seperti, data pupuk, data emisi, data produktivitas lahan, serta data unsur hara dalam pupuk.

3.1.1.1 Data Umum Perkebunan

Sebuah studi pada *The Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE)”* dengan judul “*Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective*” oleh Somporn Pleanjai, Shabbir H. Gheewala and Savitri Garivait di Thailand tahun 2004 mengkompilasi sebuah inventori dari input dan output yang relevan dari produksi biodiesel berbahan baku minyak kelapa sawit, dan menyajikannya sebagai *database* dalam melakukan Analisis LCA. Data dikumpulkan dengan pengukuran langsung, laporan pabrik, dan tinjauan pustaka. Pada tabel input dan output, material dan energi dinormalisasikan untuk 1 ton produk. Data untuk perkebunan kelapa sawit ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Tabel Input Output Perkebunan Kelapa Sawit per ton TBS

Input		Output		
Benih		FFB (TBS)	1	ton
Pupuk		Emisi		
N (dari amonium sulfat)	44-50 kg			
P (dari <i>ground rock</i> fosfat)	12-14 kg			
K (dari potasium klorida)	31-35 kg			
Mg (dari kieserite 26% MgO)	8-9 kg			
B	0.5-1 kg			
Air	1100-1400 m ³			
Herbisida				
Paraquat	0.1-0.2 kg			
<i>Glyphosate</i>	0.2-0.4 kg			
Diesel	0.33 liter			

(sumber: Pleanjai, Gheewala & Garivait, 2004)

Selain data di atas, buku “Panduan Lengkap kelapa Sawit” memberikan contoh aplikasi dosis pemupukan sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Kebutuhan Pemupukan Awal dengan Lahan 10.000 ha

Pupuk	Kuantitas (kg)
<i>Starter dose</i> NPK 15:15:6:4	30
Dolomite	400
Urea	15
RP	158

(sumber: Pahan, 2008)

Tabel 3.3 Kebutuhan Pupuk untuk Berbagai Usia Tanaman

Tahun	Pupuk							
	Urea	MOP	Rock Phosphate	CuSO ₄	ZnSO ₄	LSD	Kieserite	HGFB
	(kg/pokok)							
1	0.7	0.5	0.45	0.1	0.015	1.75	0.25	0.03
2	1	1.2	0.9	0.075	0.05	0.5	0.5	0.06
3	2	2	2	0	0	0	1	0.06
4-7	2.4	2.5	1.1	0	0	0	1	0.06
8-14	2.2	3	1.1	0	0	0	0.6	0.06
15-25	2.4	2.3	1.2	0	0	0	1.2	0.06

(sumber: Pahan, 2008)

Dari buku “Budi Daya dan Pengelolaan Kebun Kelapa Sawit Dengan Sistem Kemitraan”, (Sunarko, 2009) juga memberikan panduan tata cara untuk pemupukan mulai dari benih, pembibitan, tanaman belum menghasilkan (TBM), sampai tanaman menghasilkan (TM) dalam beberapa tabel berikut.

Tabel 3.4 Kebutuhan Benih dan Pembibitan

Luas Areal yang akan ditanami (Ha)	Kebutuhan Benih (Kecambah)	Luas Pembibitan Awal / PN (Ha)	Luas Pembibitan Utama / MN (Batang)	Luas Pembibitan Utama (Ha)	Bibit Siap ditanam ke Lapangan (Batang)
500	90.000	0,2	81.000	6	68.850
1.000	180.000	0,4	162.000	12	137.700
1.500	270.000	0,5	243.000	17	206.550
2.000	360.000	0,7	342.000	23	275.400
2.500	450.000	0,9	405.000	29	344.250
3.000	540.000	1,0	486.000	35	413.100

(sumber : publikasi PPKS,LPP, 2009)

Tabel 3.5 Pemupukan Bibit Kelapa Sawit di *Main Nursery* (gram per bibit)

Umur (Minggu ke-)	Pupuk N-P-K-Mg	Pupuk N-P-K-Mg	Kieserite
14 dan 15	02,5		
16 dan 17	05,0		
18 dan 20	07,5		
22 dan 24	10,0		
26 dan 30		10,0	
28 dan 32		10,0	05,0
34 dan 38		15,0	
36 dan 40		15,0	07,5
42 dan 46 dan 50		20,0	
44 dan 48 dan 52		20,0	10,0

(sumber : publikasi PPKS, 2009)

Tabel 3. 6 Pedoman Pemupukan Kelapa Sawit TBM (143 pohon/hektar)

Umur (bulan)	Pupuk	Gram / Pohon	Kg / Hektare
16	N	270	39
	P	375	54
	K	75	11
	Mg	115	16
		935	120
20	N	285	41
	P	400	57
	K	285	41
	Mg	75	11
		1.045	150
24	N	355	51
	P	500	72
	K	355	51
	Mg	95	14
		1.305	188
27	N	535	77
	P	750	107
	K	150	22
	Mg	230	33
		1665	239
30	N	430	62
	P	600	86
	K	425	61
	Mg	115	16
		1570	225

(sumber : publikasi PPKS, 2009)

Tabel 3. 7 Dosis Pupuk dan Jenis Pupuk yang Selama Observasi

Perlakuan	Dosis/ Pohon (dalam setahun)			
	Urea (kg)	NRP (kg)	MOP (kg)	Kieserite (kg)
1. Kontrol	2	1,5	2,5	1
2. ½ N	1	1,5	2,5	1
3. 2 N	4	1,5	2,5	1
4. ½ P	2	0,75	2,5	1
5. 2 P	2	3	2,5	1
6. ½ K	2	1,5	1,25	1
7. K	2	1,5	5,0	1
8. ½ Mg	2	1,5	2,5	0,5
9. 2 Mg	2	1,5	2,5	2

(sumber : publikasi PPKS, 2009)

Keterangan :

TBM = tanaman belum menghasilkan

K = kalium (misalnya pupuk ZK, MOP/KCI)

N = nitrogen (misalnya pupuk Za, urea)

Mg = magnesium (misalnya Kieserite)

P = fosfor (misalnya pupuk RP, TSP, SP 36)

Bo = boron (misalnya pupuk HGF Borate)

Tabel 3. 8 Pedoman Pemupukan Kelapa Sawit TM (143 pohon/hektare)

Umur (tahun)	Pupuk	Gram / Pohon	kg / hektare
3	N	380	54
	P	500	72
	K	1.000	143
	Mg	500	72
	Bo	25	3,6
			1.405
4-6	N	750	107
	P	1.000	143
	K	2.000	286
	Mg	1.000	143
	Bo	50	7,2
			4.800
7-9	N	1.000	143
	P	1.000	143
	K	2.500	358
	Mg	1.000	143
	Bo	50	7,2
			5.550
10-14	N	1.250	179
	P	1.000	143
	K	3.000	429
	Mg	1.000	143
	Bo	50	7,2
			6.300
15-18	N	1.000	143
	P	1.000	143
	K	2.000	286
	Mg	1.000	143
	Bo	50	7,2
			5.050
19-25	N	1.000	143
	P	1.000	143
	K	1.500	215
	Mg	750	107
			4.250

(sumber : Publikasi PPKS dan LPP, 2009)

3.1.1.2 Data Emisi

Dalam menjalani LCA, data emisi sangatlah dibutuhkan untuk dapat menganalisis dampak yang dihasilkan melalui output yang dapat berdampak buruk pada lingkungan. Sebuah jurnal *Scencedirect* berjudul “*Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gas*” oleh L. Reijnders dan M.A.J. Huijbregts, tahun 2006, memberikan informasi mengenai emisi dalam CO_2 equivalent pada praktik perkebunan.

Tabel 3. 9 Emisi CO₂ pada Praktik Perkebunan

Lahan Gambut / Non Gambut	Emisi dalam ton CO ₂ equivalent per ton CPO
Emisi <i>biogenic</i> CO ₂ berkaitan dengan praktik perkebunan pada tanah selain gambut	1.5-5.8
Emisi <i>biogenic</i> CO ₂ berkaitan dengan praktik perkebunan pada <i>peatland</i>	9-17

(sumber: Reijnders & Huijbregts, 2006)

Dalam jurnal tersebut, juga disebutkan bahwa dalam studi mengenai emisi dari *peatland* oleh Inubishi et al. menemukan bahwa untuk setiap 1 kg CO₂ yang dilepaskan, juga terdapat emisi sebanyak 1 g CH₄.

Lembaga *Greenpeace* USA, dalam artikel "*CO₂ emission*" mengatakan bahwa dua sumber utama emisi CO₂ di udara yang disebabkan oleh manusia adalah pembakaran dari bahan bakar fosil untuk produksi energi dan transportasi dan pembakaran hutan. Sebagai salah satu teknik pembukaan lahan, pembakaran hutan menghasilkan emisi CO₂ yang berkontribusi signifikan terhadap dampak perubahan iklim. Total emisi CO₂ sebanyak 2.000 juta ton berasal dari lahan gambut berkontribusi sebanyak 2/3 dari total emisi CO₂ di Indonesia (Agus & Noordwijk, 2007). Hal ini menyebabkan kita harus tidak mungkin mengabaikan perhitungan emisi pembukaan lahan dengan cara pembakaran hutan.

Sebuah jurnal Elsevier, dengan judul "*Biomass consumption and CO₂, CO and main hydrocarbon gas emissions in an Amazonian forest clearing fire*" oleh T.G. Soares Neto, et al. (2008), mengatakan bahwa 1 hektar dari lahan hutan yang dibakar, akan melepaskan 117,000 kg CO₂, 8100 kg CO, 675 kg CH₄, 407 kg NMHC and 354 kg of PM_{2.5}. Sebuah artikel "*CO₂ emissions depend on two letters*" oleh Fahmuddin Agus (*Indonesian Soil Research Institute*) dan Meine van Noordwijk (*World Agroforestry Centre*) tahun 2007, menyebutkan bahwa pembakaran 1 hektar hutan gambut akan melepaskan 950.000 kg of CO₂. Kedua sumber tersebut menyampaikan informasi emisi pembakaran hutan antara lahan hutan dan lahan gambut, namun kelengkapan emisi antara keduanya tidak dapat dibandingkan, karena untuk emisi pembakaran hutan gambut, belum ada informasi mengenai CO, CH₄, dan NMHC. Pada jurnal *Sciencedirect* berjudul "*Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gas*" oleh L. Reijnders

dan M.A.J. Huijbregts, tahun 2006, didapatkan data bahwa ketika terjadi pembakaran tumbuh-tumbuhan, untuk setiap ton CO₂, juga akan dilepaskan 1.5 kg CH₄, 46 kg CO dan 1.6 kg NMVOC.

Dengan demikian, keduanya dapat diperbandingkan dan hasilnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. 10 Emisi Pembakaran Lahan per Hektar

Jenis Emisi	Emisi Pembakaran Lahan per hektar	
	Hutan gambut (<i>peatland</i>)	Hutan pada umumnya (<i>forestland</i>)
CO ₂	950 ton	117 ton
CO	43700 kg	8100 kg
CH ₄	1425 kg	675 kg
NMVOC / NMHC	1520 kg	407 kg

(sumber: Agus&Noordwijk (2007), Neto et al. (2008), Reijnders&Huijbregts (2006))

NMVOC (*Non-Methane Volatile Organic Compounds*) diperbandingkan secara langsung dengan NMHC (*Non-Methane Hydrocarbons*) dengan informasi bahwa penggunaan keduanya seringkali digunakan sebagai sinonim. (Kuhlmann, Rofl von, 2001) meskipun sebenarnya NMHC digunakan untuk menyatakan senyawa yang belum teroksidasi, dan NMVOC digunakan untuk menyatakan senyawa yang teroksidasi.

Sebuah studi "*N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels*" oleh P. J. Crutzen et al. pada tahun 2007, menyatakan bahwa dari pupuk yang mengandung unsur hara N akan menghasilkan N₂O sebanyak 4±1% dari input N.

3.1.1.3 Data Produktivitas Lahan

Data produktivitas lahan yang digunakan adalah data yang diambil dari buku buku "Panduan Lengkap Pengelolaan Kebun dan Pabrik Kelapa Sawi", (Marulu Pardamean, 2008), dan "Budi Daya dan Pengelolaan Kebun Kelapa Sawit Dengan Sistem Kemitraan", (Sunarko, 2009) yang disajikan dalam beberapa tabel berikut.

Tabel 3. 11 Produktivitas Kelapa Sawit Varietas Tenera

Umur (Tahun)	Kelas S1			Kelas S2			Kelas S3		
	T	RBT	TBS	T	RBT	TBS	T	RBT	TBS
3	22	3.2	9	18	3.0	7	17	3.0	7
4	19	6.0	15	18	6.0	14	17	5.0	12
5	19	7.5	18	17	7.0	16	16	7.0	14
6	16	10.0	21	15	9.4	18	15	8.5	17
7	16	12.5	26	15	11.8	23	15	11.1	22
8	15	15.1	30	15	13.2	26	15	13.0	25
9	14	17.0	31	13	16.5	28	13	15.5	26
10	13	18.5	31	12	17.5	28	13	16.0	26
11	12	19.6	31	12	18.5	28	12	17.0	26
12	12	20.5	31	11	19.5	28	11	18.5	26
13	11	21.0	31	11	20.0	28	10	20.0	26
14	10	22.5	30	10	21.8	27	10	20.0	25
15	9	23.0	28	9	23.1	26	9	21.0	25
16	8	24.5	27	8	23.1	25	8	22.0	24
17	8	25.0	26	8	24.1	25	7	23.0	22
18	7	26.0	25	7	25.2	24	7	24.0	21
19	7	27.5	24	7	26.4	22	6	25.0	20
20	6	28.5	23	6	27.8	22	5	27.0	19
21	6	29.0	22	6	28.6	22	5	27.0	18
22	5	30.0	20	5	29.4	19	5	28.0	17
23	5	30.5	19	5	30.1	18	4	29.0	26
24	4	31.9	18	4	31.0	17	4	30.0	15
25	4	32.4	17	4	32.0	16	4	31.0	14
Total	248	482	553	236	465	507	227	442	462
Rata-rata	11	21	24	10	20	22	10	19	20

(sumber : publikasi PPKS,LPP, 2009)

Tabel 3. 12 Potensi Produksi Berdasarkan Kelas Lahan

Umur (thn)	Produksi tandan (ton/ha/thn)			Rendemen (%)		Produksi minyak (ton/ha/thn)			Produksi Inti (ton/ha/thn)		
	I	II	III	Minyak Inti		I	II	III	I	II	III
3	9,0	8,0	7,0	15,0	4,5	1,4	1,2	1,1	0,4	0,4	0,3
4	17,0	16,0	14,0	17,0	4,8	2,9	2,7	2,4	0,8	0,8	0,7
5	22,5	21,0	18,0	19,0	5,1	4,3	4,0	3,4	1,1	1,1	0,9
6	27,0	24,5	21,0	21,0	5,4	5,7	5,1	4,4	1,5	1,3	1,1
7	29,0	27,0	24,5	23,0	5,7	6,8	6,2	5,6	1,7	1,5	1,4
8	31,5	28,0	26,5	24,0	6,0	7,6	7,1	6,4	1,9	1,8	1,6
9	32,0	30,0	27,0	24,0	6,0	7,7	7,2	6,5	1,9	1,8	1,6
10	32,0	30,0	27,0	24,0	6,0	7,7	7,2	6,5	1,9	1,8	1,6
11	32,0	30,0	27,0	24,0	6,0	7,7	7,2	6,5	1,9	1,8	1,6
12	32,0	30,0	27,0	24,0	6,0	7,7	7,2	6,5	1,9	1,8	1,6
13	31,5	29,5	26,5	24,0	6,0	7,6	7,1	6,4	1,9	1,8	1,6
14	31,5	28,5	25,5	24,0	6,0	7,6	6,8	6,1	1,9	1,7	1,5
15	30,0	27,5	25,0	24,0	6,0	7,2	6,6	6,0	1,8	1,7	1,5
16	29,0	26,5	24,0	24,0	6,0	7,0	6,4	5,8	1,7	1,6	1,4
17	28,0	26,0	23,0	24,0	6,0	6,7	6,2	5,5	1,7	1,6	1,4
18	27,0	24,5	22,5	24,0	6,0	6,5	5,9	5,4	1,6	1,5	1,4
19	26,0	23,5	21,0	24,0	6,0	6,2	5,6	5,0	1,6	1,4	1,3
20	25,0	22,5	20,5	24,0	6,0	6,0	5,4	4,9	1,5	1,4	1,2
21	23,5	21,5	19,5	24,0	6,0	5,6	5,2	4,7	1,4	1,3	1,2
22	22,0	20,5	18,5	24,0	6,0	5,3	4,9	4,4	1,3	1,2	1,1
23	21,0	19,5	17,5	24,0	6,0	5,0	4,7	4,2	1,3	1,2	1,1
24	19,5	18,5	17,0	24,0	6,0	4,7	4,4	4,1	1,2	1,1	1,0
25	18,5	17,5	16,5	24,0	6,0	4,4	4,2	4,0	1,1	1,1	1,0

(sumber : publikasi PPKS,LPP, 2009)

3.1.1.4 Data Unsur Hara dalam Pupuk

Lihat Tabel 2.9 pada Bab 2, yang memberikan informasi data pupuk, tipe, serta kandungan hara dan persentase kuantitasnya.

3.1.1.5 Data Herbisida

Berikut merupakan rumus kimia dari herbisida yang digunakan sesuai pada input yang dibutuhkan pada tabel 3.1

- Paraquat : $C_{12}H_{14}N_2Cl_2$
- Glyphosate : $C_3H_8NO_5P$

3.1.2 Pengumpulan Data pada Unit Bisnis CPO Mill

Berdasarkan studi pada *The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)"* dengan judul "*Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective*" oleh Somporn Pleanjai, Shabbir H. Gheewala dan Savitri Garivait di Thailand tahun 2004, data yang terkompilasi untuk *CPO mill* ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Material dan energi dinormalisasikan untuk 1 ton produk. Teknologi yang digunakan pada pabrik *CPO mill* merupakan teknologi konvensional dengan tahapan proses produksi yang sudah dijelaskan pada bagian tinjauan pustaka.

Tabel 3. 13 Tabel Input dan Output pada Mill CPO (MKS) per 1 ton CPO (MKS)

Input		Output	
FFB (TBS)	5.26-6.25 ton	CPO (MKS)	1 ton
Air	2.2-4.6 m ³	Air Limbah	2.6-3.3 m ³
Diesel	3-9 liter	<i>Fibre</i>	1.42-2.06 ton
Listrik	60-100 kWh	<i>Shell</i>	0.26-0.44 ton
Uap	1.6-3.0 m ³	<i>Decanter cake</i>	0.05-0.31 ton
		<i>EFB</i>	1.42-1.88 ton
		<i>Ash</i>	0.02-0.06 ton
		Kernel	0.26-0.38 ton
		Emisi	
		Partikel	3.9-8.7 kg
		NO ₂	1.7-3.1 kg
		CO	1.4-3.8 kg

(sumber: Pleanjai, Gheewala & Garivait, 2004)

Yield CPO merupakan persentase output CPO per input FFB (TBS). Berdasarkan tabel di atas, yield CPO(MKS) berkisar antara 16 - 19.05%, namun berdasarkan buku panduan lengkap kelapa sawit, yield CPO(MKS) memiliki rata-rata sebesar 23.5%.

Sebuah jurnal *Sciencedirect* berjudul "*Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gas*" oleh L. Reijnders dan M.A.J. Huijbregts, 2006, memberikan informasi mengenai emisi CH₄ yang berkaitan dengan konversi anaerobik dari *palm oil mill effluent* sebesar 0.16-0.24 ton CO₂ eq/ ton palm oil.

Tabel 3. 14 Parameter Estimasi Emisi CH₄ dari POME

Parameter	Nilai	Unit
Yield TBS	24	ton TBS / hektar.tahun
Yield CPO	0,24	ton CPO / ton TBS
Yield POME dari produksi CPO	3,86	m ³ POME / ton CPO
Yield Biogas dari POME	16,8	m ³ Biogas / m ³ POME
Fraksi CH ₄ dari biogas	0,62	m ³ CH ₄ / m ³ Biogas
Densitas CH ₄	0,00071	ton CH ₄ / m ³ CH ₄
GWP CH ₄	21	-

(sumber : PREGA, Chazaro, 2004)

Studi kelayakan yang dilakukan oleh Energy Efficiency and Greenhouse Gas Abatement (PREGA) Indonesia pada tahun 2004, melaporkan hasil penelitiannya limbah cair pabrik kelapa sawit atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME) yang menyatakan bahwa dampak yang ditimbulkan oleh limbah POME sebesar (2.500 – 4.000) (kg CO₂-eq/ha.yr) atau (625 – 1.467) (kg CO₂-eq/ton CPO). Kehilangan karbon karena emisi CH₄ dari POME sebesar 0,67 (ton C-eq/ha.yr) untuk rata-ratanya sedangkan untuk lahan gambut sebesar 0,759 (ton C-eq/ha.yr).

3.1.3 Pengumpulan Data pada Unit Bisnis Pabrik Biodiesel

Berdasarkan studi pada *The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)"* dengan judul "*Environmental Evaluation of Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective*" oleh Somporn Pleanjai, Shabbir H. Gheewala and Savitri Garivait di Thailand tahun 2004, data yang terkompilasi untuk pabrik biodiesel ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Material dan energi dinormalisasikan untuk 1 ton produk. Teknologi yang digunakan pada pabrik biodiesel merupakan teknologi generasi pertama yang menggunakan teknologi konvensional. Kemudian pada tabel berikutnya akan diberikan daftar inventori produksi 1 ton biodiesel.

Tabel 3. 15 Tabel Input dan Output pada Pabrik Biodiesel per 1 ton Biodiesel

Input			Output		
CPO	1.14	ton	Biodiesel	1	ton
Air	0.2	m ³	Gliserol	0.3	ton
Metanol	0.15	ton	Air Limbah		
Sodium Hidroksida	10	kg	Emisi		
Listrik	256.5	kWh			

(sumber: Plenjai, Gheewala & Garivait, 2004)

Tabel 3. 16 Tabel Daftar Inventori Produksi 1 ton Biodiesel

Parameter	Quantity	Parameter	Quantity
Raw. Mat		Energy	
Fertilizer (kg)		Steam (m ³)	1.8-3.5
N	265-340	Electricity (kWh)	360-380
P	74-95	Air Emissions	
K	190-240	Particulate (kg)	4.2-9.4
Mg	48-61	NO ₂ (kg)	1.8-3.3
B	4-5	CO (kg)	1.5-4.1
Paraquat (kg)	0.5-0.9	Wastewater (m ³)	3-4
Glyphos (kg)	1.4-2.2	Solid waste	
FFB (ton)	6-7	Fibre (t)	1.6-2.4
NaOH (kg)	6-10	Shell (t)	0.3-0.5
Methanol (t)	0.15	Decater cake (t)	0.06-0.14
Diesel (L)	5-13	EFB (t)	1.6-2.1
Water (m ³)	6,500-10,000	Ash (t)	0.02-0.7
		Output	
		Biodiesel (t)	1.0
		Glyserol (t)	0.32

(sumber: Plenjai, Gheewala & Garivait, 2004)

Sebuah jurnal “*Is it better to import palm oil from Thailand to produce biodiesel in Ireland than to produce biodiesel from indigenous Irish rape seed*” oleh T. Thamsiroj dan J.D. Murphy pada tahun 2008, menyatakan bahwa total emisi proses CO₂ untuk biodiesel berbahan baku minyak kelapa sawit dari perkebunan hingga produksi biodiesel adalah 35.21 kg CO₂/GJ fuel, dan 6.47 kg CO₂/GJ fuel dihasilkan di pabrik biodiesel.

Jurnal “*Full chain energy analysis of biodiesel producyion from palm oil in Thailand*, oleh Somporn Pleanjai, Shabbir H. Gheewala di Thailand pada 2009, memberikan tabel input output energi pada siklus produksi biodiesel.

Tabel 3. 17 Tabel Input Output Energi dalam Sistem Biodiesel

Siklus Produksi Biodieselv	Per ton PME	MJ/kg PME
Input		
<i>Oil palm plantation</i>		
N-fertilizer (kg)	54.01	3.10
P2O5-fertilizer (kg)	0.35	0.0024
K2O-fertilizer (kg)	99.90	0.68
Glyphosate (kg)	1.94	0.54
Paraquat (kg)	0.69	0.18
Seed (kg)	67.77	0.07
Diesel used (for transport FFB) (kg)	69.16	2.89
(a) Sub-total		7.45
<i>Crude palm oil extraction</i>		
Electricity (MJ)	22.58	0.02
Diesel used (for starting turbin) (kg)	5.25	0.22
(b) Sub-total		0.24
<i>Palm oil refining</i>		
Electricity (MJ)	12.20	0.01
Diesel used (for transport RPO) (kg)	49.16	2.06
(c) Sub-total		2.07
<i>Biodiesel production</i>		
MeOH (kg)	180.00	5.45
NaOH (kg)	10.00	0.18
Electricity (MJ)	297.00	0.30
Diesel used (for transport PME) (kg)	1.23	0.05
(d) Sub-total		5.98
Total (a + b + c + d)		15.75
Output		
Palm methyl ester (PME) (kg)	1000.00	38.07
Glycerol (kg)	180.00	3.42
Palm kernel (kg)	374.38	6.36
Shell (kg)	456.58	8.45
Total		56.30

(sumber: Plenjai, Gheewala, 2009)

Sebuah jurnal “*Life cycle energy efficiency and potentials of biodiesel production from palm oil in Thailand*” oleh Seksan Papong, Tassaneewan Chom-In, Soottiwan Noksa-nga, Pomthong Malakul pada tahun 2010, menyatakan bahwa minyak diesel yang dipakai untuk proses sebesar 0,068 liter per ton TBS untuk menggerakkan generator dan mekanikal dalam pabrik. Sebagai informasi

tambahan, biogas yang dihasilkan dari POME sebesar 19,6 m³ per ton TBS. Selanjutnya pada tabel di bawah ini ditampilkan inventori dalam sistem biodiesel.

Tabel 3. 18 Tabel Input Output Energi dalam Sistem Biodiesel (PME)

Siklus Produksi Biodiesel	Per kg PME
<i>Oil palm plantation</i>	
Input	
Urea (kg)	0.04
DAP (kg)	0.05
K2O-fertilizer (kg)	0.12
Glyphosate (kg)	0.57
Paraquat (kg)	0.26
Output	
FFB(<i>Fresh Fruit Bunches</i>) (kg)	4.17
<i>CPO production</i>	
Input	
FFB(<i>Fresh Fruit Bunches</i>) (kg)	4.17
Electricity (kWh)	0.08
Diesel (kg)	2.96E-03
Fiber (kg)	1.08
Output	
CPO (<i>Crude Palm Oil</i>)	0.92
PKS (<i>Palm kernel shell</i>) (kg)	0.23
EFB (<i>Empty fruit bunches</i>) (kg)	1.08
Biogas (m ³)	0.082
<i>CPO refining</i>	
Input	
Fiber (g)	8,70
EFB (<i>Empty fruit bunches</i>) (kg)	8,70
PKS (<i>Palm kernel shell</i>) (kg)	12,10
Output	
PS (<i>Palm stearin</i>) (kg)	0.43
<i>Biodiesel production</i>	
Input	
Methanol (kg)	0.18
NaOH (kg)	5.86E-03
Electricity (kWh)	5.00E-04
Fuel oil (kg)	0.03
Palm stearin (kg)	0.43
Output	
PME (<i>Palm methyl ester</i>) (kg)	1.00
Crude Glyserin (kg)	0.21

(sumber: Papong, Chom-In, 2010)

3.1.4 Blending Plant / Pool Bahan Bakar Minyak (Pertamina)

Seperti yang sudah dijelaskan pada teori di Bab 2 bahwa pencampuran biodiesel dengan minyak solar bisa ada empat macam, yaitu *Splash Blending*, *In-Tank Blending*, *In-Line Blending*, *In-Rack Blending*. Pada tesis ini diasumsikan memakai *In-Tank Blending*, dengan alasan merupakan teknik yang sederhana dan itulah yang saat ini juga diterapkan di *Pool* Pertamina. Yang diperlukan adalah ada tangki pencampur, pompa sirkulasi dan motor pengaduk. Maka dibawah ini disajikan data untuk perhitungan standar kebutuhan listrik yang dipakai dan asumsi kebutuhan untuk keperluan transportasi pengambilan biodiesel dari pabrik serta BBM Solar dari *refinery plant*. Data yang diperlukan meliputi kebutuhan untuk perhitungan di transportasi dan perhitungan kebutuhan energi listrik. Merk pompa, kapasitas, dsb. Transport, jenis, kapasitas, liter/km, dsb.

Tabel 3. 19 Data Pompa Sirkulasi *Untuk Blending Plant*

CNP Southern Pumps Circulation pump		CNP Southern Pumps Centrifugal pump	
TD65-66/2		CDL85-30	
Q (m ³ /h)	100	Q (m ³ /h)	100
H (m)	49	H (m)	55
kW	22	kW	22

(sumber : CNP Southern Pumps, 2009)

Sebuah jurnal “*Is it better to import palm oil from Thailand to produce biodiesel in Ireland than to produce biodiesel from indigenous Irish rape seed*” oleh T. Thamsiriroj dan J.D. Murphy pada tahun 2008, memberikan spesifikasi kendaraan transportasi dalam studi yang dilakukannya.

Tabel 3. 20 Spesifikasi Alat Transportasi Biodiesel/ BBM

Transport PME dari <i>Biodiesel Plant</i> ke <i>Blending Plant</i> / Transport ADO dari <i>Refinery Oil</i> ke <i>Pool</i> Pertamina		
10-wheel truck kapasitas 15 ton	26 liter/100km	3,85 km/liter
Tanker truck kapasitas 28 ton	31 liter/100km	3,23 km/liter
Tanker ship kapasitas 2400 ton	0,3 MJ/t/km	0,010 liter/t/km

(sumber : Thamsiriroj, 2009)

3.1.5 Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU)

Kegiatan SPBU adalah sebagai transit bahan bakar dari *Pool Pertamina/ Blending Plant* kepada para pengguna biodiesel di kendaraan bermotor. Data yang akan disajikan merupakan keperluan transportasi dari *Blending Plant/ Pool Pertamina* ke SPBU (mengacu pada Tabel 3.21), dan kebutuhan listrik untuk menjalankan pompa/ dispenser pengisian bahan bakar biodiesel ke kendaraan.

Tabel 3. 21 Spesifikasi Dispenser SPBU

Model Tatsuno Dispencer GDB / GSB :
Speed 70 liter/menit = 3,75 ton/jam
Flow Meter Standar Kalibrasi
Counter LCD by Remote Control
Ketepatan Pengukuran : 0,25%
Motor 750 watt = 0,750 kW

(sumber : Tatsuno, 2010)

3.1.6 Transportasi Kendaraan Pengguna Biodiesel

Data yang dibutuhkan di sini adalah data kendaraan bermotor pengguna biodiesel, kebutuhan bahan bakar, dan data spesifikasi emisi yang sesuai. Sesuai dengan kebutuhan skenario roadmap biodiesel, maka diperlukan data mulai dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2025. Sumber data diantaranya diperoleh dari BPS, BTMP-BPPT, Studi Markal-BPPT, serta disertasi Soni S. Wirawan.

Tabel 3. 22 Data Kendaraan di Indonesia

Tahun	Mbl Penumpang	Bus	Truk	Sepeda Motor	Jumlah
2000	3.038.913	666.280	1.707.134	13.563.017	18.975.344
2001	3.261.807	687.770	1.759.547	15.492.148	21.201.272
2002	3.403.433	714.222	1.865.398	17.002.140	22.985.193
2003	3.885.228	798.079	2.047.022	19.976.376	26.706.705
2004	4.464.281	933.199	2.315.779	23.055.834	30.769.093
2005	5.494.034	1.184.918	2.920.828	28.556.498	38.156.278
2006	6.615.104	1.511.129	3.541.800	33.413.222	45.081.255
2007	8.864.961	2.103.423	4.845.937	41.955.128	57.769.449
2008	9.859.926	2.583.170	5.146.674	47.683.681	65.273.451
Prtmbhn (%)	11,49	11,58	10,45	13,33	12,76

(sumber : BPS, 2010)

Tabel 3. 23 Data Koefisien Emisi (BTMP)

Tabel Koefisien Emisi dalam (gram/liter) – Maksimum dari versi BTMP							
Versi	Jenis BB	SO2	NOx	HC	PM	CO	CO2
BTMP	B0	16,119	9,292	11,125	2,383	36,852	2.013,025
	B5	15,360	9,292	10,619	2,351	35,651	1.959,739
	B10	14,475	9,229	9,924	2,301	34,513	1.900,533
	B15	13,780	9,166	9,418	2,174	33,375	1.876,850
	B20	12,895	9,102	8,913	2,054	32,364	1.847,247
	B30	11,315	9,039	8,091	1,947	29,583	1.758,437
	B50	8,091	8,850	6,384	1,726	24,083	1.586,738
	B100	-	8,407	3,603	1,315	19,090	1.385,435

(sumber : BTMP-BPPT, 2010)

Tabel 3. 24 Data Koefisien Emisi (Collection)

Tabel Koefisien Emisi dalam (gram/liter) – Maksimum dari versi COLLECTION							
Versi	Jenis BB	SO2	NOx	HC	PM	CO	CO2
COLLECTION	B0	16,119	111,884	43,956	8,850	53,097	2.013,025
	B5	15,360	111,568	41,758	8,723	51,454	1.959,739
	B10	14,475	111,062	39,560	8,534	49,810	1.900,533
	B15	13,780	110,619	37,532	8,154	48,293	1.876,850
	B20	12,895	110,177	35,418	7,649	46,650	1.847,247
	B30	11,315	109,039	32,037	7,206	43,869	1.758,437
	B50	8,091	106,827	25,190	6,384	38,306	1.586,738
	B100	-	101,770	14,286	4,867	27,560	1.385,435

(sumber : Soni S. Wirawan, 2009)

Tabel 3. 25 Konsumsi BB Kendaraan

Tabel Konsumsi BB berbagai jenis Kendaraan		
Tipe Kendaraan	liter/100km	km/liter
Passanger car	11,36	8,80
Med/small bus/truck	11,83	8,45
Big bus	16,89	5,92
Big truck	15,82	6,32

(sumber : Soni S. Wirawan, 2009)

3.2 PENGOLAHAN DATA

Perlu diingat bahwa pada rantai suplai ini semua TBS yang dihasilkan dari perkebunan kelapa sawit akan disalurkan pada pabrik CPO untuk diolah menjadi CPO, begitu juga dengan semua CPO yang dihasilkan akan diolah menjadi biodiesel di pabrik pengolahan biodiesel.

Pada hasil pengumpulan data, dapat dilihat ada beberapa data yang tersedia untuk variabel yang sama seperti pada komposisi pupuk yang dipakai, dan *yield* CPO. Perbedaannya terletak pada perbedaan sumber, dan dalam proses pengolahan data akan dikaji untuk masing-masing sumber dengan dilakukan konsultasi dan komunikasi pada pihak yang terkait untuk disesuaikan dengan kondisi yang paling sesuai di Indonesia.

Input utama yang dibutuhkan untuk pengolahan data, diperlukan :

- Skenario roadmap biodiesel Nasional (2000-2025)
- Data jumlah dan jenis mobil solar di Indonesia (2000-2025)
- Jumlah kebutuhan BB solar transportasi di Indonesia (2000-2025)
- Kebutuhan lahan kebun kelapa sawit sebagai bahan baku biodiesel
- Simulasi proses dari kebun sampai distribusi biodiesel transportasi

dan untuk proses pengolahan data di ba sebagai input *baseline* akan digunakan pembukaan lahan sebesar 200.000 ha (dengan pembukaan lahan 30.000 ha pada tahun pertama, 30.000 ha pada tahun kedua, 40.000 ha pada tahun ketiga, 30.000 pada tahun ke empat, 30.000 pada tahun ke lima, dan 40.000 pada tahun ke enam) dengan kelas lahan 1, jenis lahan lahan gambut, serta teknik pembukaan lahan yaitu teknik tebang dan bakar. Sisa kekurangan lahan untuk memenuhi roadmap biodiesel dipakai/ diambil dari lahan yang sudah ada (*existing*).

Hasil pengolahan data untuk pengukuran dampak akan ditunjukkan dalam periode waktu dari tahun 0 hingga 25 tahun atau tahun 2000 sampai tahun 2025 dan dikelompokkan berdasarkan unit bisnis yaitu perkebunan, *CPO Mill*, pabrik biodiesel, blending plant, SPBU, dan transportasi.

Pada bagian akhir akan dipaparkan hasil pengolahan data untuk skenario input lainnya, yaitu :

- *Roadmap* Biodiesel Nasional Tahun 2000 – 2025
- *Roadmap* Biodiesel Tanpa Buka Lahan Baru

- Transportasi Tanpa Menggunakan Biodiesel
- Besaran Emisi Pada Kendaraan Transportasi
- Pengaruh Campuran Biodiesel Terhadap Emisi
- Strategi Pelaksanaan *Roadmap* Biodiesel Nasional

3.2.1 Tabel Input dan Output

Berdasarkan tabel input dan output yang tersedia pada bagian pengumpulan data, dapat bahwa terdapat informasi yang dalam bentuk *range*. Untuk pengolahan data, akan digunakan angka yang terbesar untuk masing-masing zat. Hal ini dilakukan agar model dapat mengakomodasi skenario terburuk yang mungkin terjadi. Penggunaan input yang semakin besar dapat berdampak pada penipisan sumber daya alam yang lebih cepat pula. Hal ini juga berlaku untuk emisi, karena semakin besar emisi, maka dampak pada lingkungan semakin besar pula.

Pada bagian di bawah ini, akan dilakukan penyesuaian tabel input dan output untuk bagian unit perkebunan.

Tabel 3. 26 Tabel Input dan Output pada Perkebunan sebelum Penyesuaian

Input		Output		
Benih		FFB (TBS)	1	ton
Pupuk		Emisi		
N (dari amonium sulfat)	44-50 kg			
P (dari <i>ground rock</i> fosfat)	12-14 kg			
K (dari potasium klorida)	31-35 kg			
Mg (dari kieserite 26% MgO)	8-9 kg			
B	0.5-1 kg			
Air	1100-1400 m ³			
Herbisida				
Paraquat	0.1-0.2 kg			
<i>Glyphosate</i>	0.2-0.4 kg			
Diesel	0.33 liter			

(sumber: Plenjai, Gheewala & Garivait, 2004)

Data emisi CO₂ yang didapatkan data dengan satuan ton CO₂/ton CPO yaitu maksimum 17 ton CO₂/ton CPO. Untuk perhitungan emisi CO₂ dalam satuan ton CO₂/ton TBS, dilakukan konversi sederhana dengan rumus berikut:

$$\text{emisi CO}_2 \left(\frac{\text{ton}}{\text{ton FFB}} \right) = 5.8 \frac{\text{ton}}{\text{ton CPO}} \times \frac{1 \text{ ton CPO}}{6.25 \text{ ton FFB}} \quad (3.1)$$

Data konversi 1 ton CPO per 6.25 ton FFB, didapatkan dari tabel input dan output pada *CPO Mill* dan dengan memilih angka terbesar dari data yang disediakan pada jumlah TBS yang digunakan untuk dapat memproduksi 1 ton CPO.

Dari hasil penyesuaian dan konversi di atas maka tabel input dan output perkebunan yang akan digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut

Tabel 3. 27 Tabel Input dan Output pada Perkebunan Setelah Penyesuaian

Input		Output	
Benih	15,5 kg	FFB (TBS)	1 ton
Pupuk		Emisi	
N (dari amonium sulfat)	11,4 kg	CO ₂	2.72 ton
P (dari <i>ground rock</i> fosfat)	11,4 kg		
K (dari potasium klorida)	23,2 kg		
Mg (dari kieserite 26% MgO)	10 kg		
B	0,4 kg		
Air	1400 m ³		
Herbisida			
Paraquat	0.1 kg		
<i>Glyphosate</i>	0.2 kg		
Diesel	0.33 liter		

(sumber: Plenjai (2004 dan 2009), Papong (2010), Sunarko (2009) “telah diolah kembali”)

Pada unit *Mill CPO*, tabel input dan output awal tampak sebagai berikut:

Tabel 3. 28 Tabel Input dan Output *Mill CPO* Sebelum Penyesuaian

Input		Output	
FFB (TBS)	5.26-6.25 ton	CPO (MKS)	1 ton
Air	2.2-4.6 m ³	Air Limbah	2.6-3.3 m ³
Diesel	3-9 liter	<i>Fibre</i>	1.42-2.06 ton
Listrik	60-100 kWh	<i>Shell</i>	0.26-0.44 ton
Uap	1.6-3.0 m ³	<i>Decanter cake</i>	0.05-0.31 ton
		<i>EFB</i>	1.42-1.88 ton
		<i>Ash</i>	0.02-0.06 ton
		Kernel	0.26-0.38 ton
		Emisi	
		Partikel	3.9-8.7 kg
		NO ₂	1.7-3.1 kg
		CO	1.4-3.8 kg

(sumber: Plenjai, Gheewala & Garivait, 2004)

dan terdapat informasi tambahan mengenai emisi CO₂ yang dihasilkan dari POME sebesar maks 0.24 ton CO₂ per ton CPO (MKS).

Setelah dilakukan penyesuaian maka tabel input dan output yang akan digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 29 Tabel Input dan Output *Mill* CPO Setelah Penyesuaian

Input		Output	
FFB (TBS)	4,2 ton	CPO (MKS)	1 ton
Air	4.6 m ³	Air Limbah	3,86 m ³
Diesel	4 liter	<i>Fibre</i>	2.06 ton
Listrik	87 kWh	<i>Shell</i>	0.44 ton
Uap	3 m ³	<i>Decanter cake</i>	0.31 ton
		EFB	1.88 ton
		Ash	0.06 ton
		Kernel	0.38 ton
		Emisi	
		Partikel	8.7 kg
		NO ₂	3.1 kg
		CO	3.8 kg
		CO ₂	1,467 ton

(sumber: Plenjai (2004 dan 2009), Papong (2010), Sunarko (2009) “telah diolah kembali”)

Pada unit pabrik biodiesel, tampak tabel input dan output awal seperti tabel di bawah ini

Tabel 3. 30 Tabel Input dan Output Pabrik Biodiesel Sebelum Penyesuaian

Input			Output		
CPO	1.14	ton	Biodiesel	1	ton
Air	0.2	m ³	Glyserol	0.3	ton
Methanol	0.15	ton	Air Limbah		
Sodium Hidroksida	10	kg	Emisi		
Listrik	256.5	kWh			

(sumber: Plenjai, Gheewala & Garivait, 2004)

dan informasi tambahan mengenai emisi CO₂ 6.47 kg CO₂/GJ fuel, dikonversi dengan menggunakan energi dari biodiesel yang berbahan baku minyak kelapa sawit yaitu 37.8 GJ fuel/ton biodiesel dan akan menghasilkan 244.56 kg CO₂/ton biodiesel atau 0.24 ton CO₂/ton biodiesel. Hasil tabel input dan output yang baru adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 31 Tabel Input dan Output Pabrik Biodiesel Setelah Penyesuaian

Input		Output	
CPO	1,02 ton	Biodiesel	1 ton
Air	0.2 m ³	Glyserol	0,21 ton
Methanol	0,18 ton	Air Limbah	0,23 m ³
Sodium Hidroksida	6 kg	Emisi CO ₂	0,252 ton
Listrik	5 kWh		

(sumber: Plenjai (2004 dan 2009), Papong (2010), Sunarko (2009) “telah diolah kembali”)

Pada unit *Blending Plant* yang saat ini berada di Pool Pengisian BBM Pertamina, input output dari hasil perhitungan adalah meliputi kebutuhan listrik untuk pompa/ pengaduk, kebutuhan BBM untuk transportasi, serta dampak emisi (CO₂) dari sistem pembangkit listrik dan pembakaran BBM transportasi. Semua input dan output terangkum dalam tabel di bawah ini :

Tabel 3. 32 Tabel Input dan Output *Blending Plant*

CNP Southern Pumps			
TD65-66/2 (Pompa Sirkulasi)		CDL85-30 (Pompa Pengaduk)	
Q (m ³ /h)	100	Q (m ³ /h)	100
kW	22	kW	22
kWh / ton	0,25	kWh / ton	0,25
Transport PME dari Pabrik Biodiesel ke <i>Blending Plant</i> / Transport ADO dari <i>Refinery Oil</i> ke <i>Pool Pertamina</i>			
10-wheel truck kapasitas 15 ton (500km)	26 liter/100km	8,7 liter/ton	
Tanker truck kapasitas 28 ton (1.000km)	31 liter/100km	11 liter/ton	
Tanker ship kapasitas 2400 ton (15.000km)	0,3 MJ/t/km	15 liter/ton	

Electricity = 0,6385 (kg CO₂ / kWh)

Electricity = 6,385 E-4 (ton CO₂ / kWh)

Pada unit SPBU, input output dari hasil perhitungan adalah meliputi kebutuhan listrik untuk dispenser, kebutuhan BBM untuk transportasi, serta dampak emisi (CO₂) dari sistem pembangkit listrik dan pembakaran BBM transportasi. Semua input dan output terangkum dalam tabel di bawah ini :

Tabel 3. 33 Tabel Input dan Output SPBU

TATSUNO Dispenser GDB / GSB :		
TD65-66/2		
Q (ton/h)		3,75
kW		0,750
kWh / ton		0,2

Transport Campuran Biodiesel dari <i>Blending Plant</i> ke SPBU/ Transport ADO dari <i>Pool</i> Pertamina ke SPBU		
10-wheel truck kapasitas 15 ton (50km)	26 liter/100km	0,8 liter/ton
Tanker truck kapasitas 28 ton (100km)	31 liter/100km	1,1 liter/ton
Tanker ship kapasitas 2400 ton (200km)	0,3 MJ/t/km	2,2 liter/ton

Electricity = 0,6365 (kg CO₂ / kWh)

Electricity = 6,365 E-4 (ton CO₂ / kWh)

Pada pemakaian biodiesel di kendaraan diesel, input biodiesel dan output emisi sesuai jenis/ kategori kendaraan adalah seperti pada tabel berikut :

Tabel 3. 34 Tabel Input dan Output Kendaraan Diesel

Tabel Koefisien Emisi dalam (ton/kilo liter) – BTMP							
Tipe Kendaraan	Jenis BB	SO ₂	NO _x	HC	PM	CO	CO ₂
Passanger car	B0	0,01109	0,00643	0,00845	0,00141	0,02526	1,22359
	B5	0,01065	0,00634	0,00810	0,00132	0,02438	1,18838
	B10	0,00995	0,00634	0,00748	0,00132	0,02368	1,15317
	B15	0,00951	0,00625	0,00722	0,00132	0,02298	1,14437
	B20	0,00889	0,00625	0,00678	0,00123	0,02218	1,11796
	B100	0	0,00581	0,00273	0,00070	0,01312	0,84507
Med/small bus/truck	B0	0,01445	0,00828	0,01090	0,00178	0,03297	1,90194
	B5	0,01386	0,00828	0,01048	0,00178	0,03187	1,85123
	B10	0,01302	0,00828	0,00981	0,00178	0,03085	1,79205
	B15	0,01234	0,00820	0,00947	0,00169	0,02984	1,77515
	B20	0,01158	0,00811	0,00879	0,00161	0,02891	1,74979
	B100	0	0,00752	0,00355	0,00093	0,01708	1,31023
Big bus	B0	0,01374	0,00787	0,01042	0,00172	0,03126	2,01303
	B5	0,01314	0,00787	0,00989	0,00172	0,03025	1,95974
	B10	0,01231	0,00782	0,00930	0,00166	0,02931	1,90053
	B15	0,01172	0,00782	0,00882	0,00160	0,02830	1,87685
	B20	0,01095	0,00776	0,00835	0,00148	0,02747	1,84725
	B100	0	0,00716	0,00337	0,00095	0,01622	1,38544
Big truck	B0	0,01612	0,00929	0,01113	0,00238	0,03685	1,70670
	B5	0,01536	0,00929	0,01062	0,00235	0,03565	1,66245
	B10	0,01448	0,00923	0,00992	0,00230	0,03451	1,61188
	B15	0,01378	0,00917	0,00942	0,00217	0,03338	1,59292
	B20	0,01290	0,00910	0,00891	0,00205	0,03236	1,56764
	B100	0	0,00841	0,00360	0,00131	0,01909	1,17573

Setelah tabel input dan output selesai dibuat pada enam unit bisnis tersebut, maka tahap selanjutnya adalah memetakan tabel input dan output selama 25 tahun. Dasar perhitungan pada unit perkebunan adalah input dan output per 1 ton TBS yang dihasilkan dan emisi pembukaan lahan. Dasar perhitungan pada input dan output pada unit *mill* CPO adalah input dan output per 1 ton CPO. Dasar perhitungan pada unit perkebunan adalah input dan output per 1 ton biodiesel yang dihasilkan.

Untuk dapat memetakan tabel input dan output, perlu dilakukan pemetaan lahan produktif dan produksi TBS mengingat perbedaan umur tanaman yang disebabkan oleh perbedaan periode pembukaan lahannya akan menghasilkan produktivitas yang berbeda.

Dalam membuat simulasi memakai skenario roadmap biodiesel yang pertamakali dilakukan adalah mengetahui potensi lahan perkebunan sawit sebagai bahan baku biodiesel, dan selanjutnya mencari tahu kebutuhan biodiesel tiap tahun untuk membuat pemetaan kebutuhan bahan baku dengan menghitung kebutuhan lahan tiap tahunnya. Dari kebutuhan lahan inilah diproses dari kebun sampai dengan transportasi kendaraan biodiesel, berdasarkan tabel input output yang telah dibahas sebelumnya.

Tabel berikut menunjukkan potensi lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia, sebagai dasar kebijakan untuk menerapkan roadmap biodiesel di Indonesia.

Tabel 3. 35 Data Kebun Kelapa sawit di Indonesia

Tahun	Luas Area (ha)	Produksi (CPO)	Produksi (KPO)
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	5.283.557	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

(sumber: Dirjen Perkebunan, 2010)

Tabel berikut menunjukkan kebutuhan bahan bakar solar transportasi (ADO) di Indonesia, sebagai acuan memenuhi kebutuhan biodiesel sesuai roadmap.

Tabel 3. 36 Kebutuhan Solar (ADO) Transportasi di Indonesia

ROADMAP KEBUTUHAN SOLAR UNTUK TRANSPORTASI (KILO LITER)						TON
Tahun	Passanger car	Med/small bus/truck	Big bus	Big truck	Total Kbthn Solar	SOLAR
2000	760.350	3.463.328	322.648	462.907	5.009.233	4.307.940
2001	797.982	3.601.638	331.789	481.931	5.213.341	4.483.473
2002	851.554	3.777.864	345.864	505.822	5.481.104	4.713.750
2003	972.102	4.152.466	386.472	555.071	6.066.111	5.216.856
2004	1.116.983	4.712.001	451.905	627.947	6.908.836	5.941.599
2005	1.374.632	5.946.850	573.800	792.012	8.687.294	7.471.073
2006	1.537.280	6.416.741	632.443	852.682	9.439.145	8.117.665
2007	1.699.532	6.889.785	693.269	913.502	10.196.089	8.768.636
2008	1.869.224	7.355.541	755.831	973.002	10.953.598	9.420.094
2009	2.046.218	7.815.515	819.975	1.031.424	11.713.132	10.073.294
2010	2.230.419	8.271.401	885.568	1.089.036	12.476.424	10.729.724
2011	2.421.778	8.724.961	952.494	1.146.115	13.245.348	11.390.999
2012	2.620.292	9.177.952	1.020.663	1.202.932	14.021.840	12.058.782
2013	2.826.007	9.632.076	1.090.001	1.259.748	14.807.832	12.734.736
2014	3.039.014	10.088.948	1.160.458	1.316.807	15.605.228	13.420.496
2015	3.259.453	10.550.088	1.231.996	1.374.339	16.415.875	14.117.653
2016	3.487.506	11.016.909	1.304.599	1.432.552	17.241.567	14.827.748
2017	3.723.401	11.490.727	1.378.263	1.491.643	18.084.034	15.552.269
2018	3.967.405	11.972.762	1.452.999	1.551.787	18.944.953	16.292.659
2019	4.219.828	12.464.146	1.528.827	1.613.149	19.825.951	17.050.318
2020	4.481.015	12.965.937	1.605.783	1.675.880	20.728.614	17.826.608
2021	4.751.349	13.479.123	1.683.907	1.740.118	21.654.497	18.622.867
2022	5.031.247	14.004.635	1.763.249	1.805.994	22.605.125	19.440.408
2023	5.321.163	14.543.352	1.843.867	1.873.628	23.582.011	20.280.529
2024	5.621.579	15.096.114	1.925.824	1.943.135	24.586.652	21.144.521
2025	5.933.012	15.663.723	2.009.188	2.014.623	25.620.547	22.033.670
Total	75.960.327	243.274.584	28.151.683	31.727.787	379.114.380	326.038.367

(sumber: Agus Sugiono, Markal-BPPT, 2010)

Tabel berikut menunjukkan kebutuhan lahan perkebunan kelapa sawit sebagai bahan baku biodiesel yang telah menyesuaikan sesuai kebutuhan roadmap. Dari sinilah awal pengolahan data untuk melakukan life cycle analisis biodiesel sawit.

Tabel 3. 37 Kebutuhan Lahan Disesuaikan Roadmap Biodiesel

Roadmap Kebutuhan Solar Transportasi			BX	PME	LAHAN
Tahun	KL	ton	%	ton	ha
2.000	5.009.233	4.307.940	B5	215.397	43.079
2.001	5.213.341	4.483.473	B5	224.174	44.835
2.002	5.481.104	4.713.749	B5	235.687	47.137
2.003	6.066.111	5.216.855	B5	260.843	52.169
2.004	6.908.836	5.941.599	B5	297.080	59.416
2.005	8.687.294	7.471.073	B10	747.107	149.421
2.006	9.439.145	8.117.665	B10	811.766	162.353
2.007	10.196.089	8.768.637	B10	876.864	175.373
2.008	10.953.598	9.420.094	B10	942.009	188.402
2.009	11.713.132	10.073.294	B10	1.007.329	201.466
2.010	12.476.424	10.729.725	B10	1.072.972	214.594
2.011	13.245.348	11.390.999	B15	1.708.650	341.730
2.012	14.021.840	12.058.782	B15	1.808.817	361.763
2.013	14.807.832	12.734.736	B15	1.910.210	382.042
2.014	15.605.228	13.420.496	B15	2.013.074	402.615
2.015	16.415.875	14.117.653	B15	2.117.648	423.530
2.016	17.241.567	14.827.748	B20	2.965.550	593.110
2.017	18.084.034	15.552.269	B20	3.110.454	622.091
2.018	18.944.953	16.292.660	B20	3.258.532	651.706
2.019	19.825.951	17.050.318	B20	3.410.064	682.013
2.020	20.728.614	17.826.608	B20	3.565.322	713.064
2.021	21.654.497	18.622.867	B20	3.724.573	744.915
2.022	22.605.125	19.440.408	B20	3.888.082	777.616
2.023	23.582.011	20.280.529	B20	4.056.106	811.221
2.024	24.586.652	21.144.521	B20	4.228.904	845.781
2.025	25.620.547	22.033.670	B20	4.406.734	881.347
Total	379.114.381	326.038.368		52.863.949	

Dengan asumsi membuka lahan seluas 200.000 hektar selama 6 tahun untuk mendukung program biodiesel nasional, meskipun sudah ada dan tersedia lahan berlebih di Indonesia. Simulasi ini untuk mengkaji dampak pembukaan lahan.

Tabel 3. 38 Tabel Pemetaan Lahan Kelapa Sawit

Tabel Pemetaan Lahan Produktif Kelapa Sawit								
Tahun	Pembukaan ke (ha)						Existing	Roadmap
	1	2	3	4	5	6	Dipakai	Transportasi
2000	-	-	-	-	-	-	43.079	43.079
2001	-	-	-	-	-	-	44.835	44.835
2002	-	-	-	-	-	-	47.137	47.137
2003	30.000	-	-	-	-	-	22.169	52.169
2004	30.000	30.000	-	-	-	-	-	59.416
2005	30.000	30.000	40.000	-	-	-	49.421	149.421
2006	30.000	30.000	40.000	30.000	-	-	32.353	162.353
2007	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	-	15.373	175.373
2008	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	-	188.402
2009	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	1.466	201.466
2010	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	14.594	214.594
2011	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	141.730	341.730
2012	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	161.763	361.763
2013	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	182.042	382.042
2014	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	202.615	402.615
2015	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	223.530	423.530
2016	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	393.110	593.110
2017	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	422.091	622.091
2018	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	451.706	651.706
2019	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	482.013	682.013
2020	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	513.064	713.064
2021	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	544.915	744.915
2022	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	577.616	777.616
2023	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	611.221	811.221
2024	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	645.781	845.781
2025	30.000	30.000	40.000	30.000	30.000	40.000	681.347	881.347

Selanjutnya ditampilkan tabel pemupukan diambil data pada tiap tahunnya mulai dari tahap pembibitan, TBM, dan TM (diambil contoh untuk pupuk N).

Tabel 3.39 Tabel Kebutuhan Pupuk N, P, K, Mg, B untuk Simulasi di Perkebunan Kelapa Sawit

Tabel Pemupukan per ha per th						Tabel Pemupukan Sesuai Enam Tahapan Pembukaan Lahan								
Tahun	Satuan kg per hektar perth					Tahun	Tahapan Pemupukan Lahan untuk N (kg)						Existing	Total
	N	P	K	Mg	B		1	2	3	4	5	6		
0	12	12	14	5	-	0	360.000	-	-	-	-	-	15.422.282	15.782.282
1	131	183	103	41	-	1	3.930.000	360.000	-	-	-	-	16.050.930	20.340.930
2	139	193	83	49	-	2	4.170.000	3.930.000	480.000	-	-	-	16.875.046	25.455.046
3	108	144	286	144	7	3	3.240.000	4.170.000	5.240.000	360.000	-	-	7.936.502	20.946.502
4	214	286	572	286	14	4	6.420.000	3.240.000	5.560.000	3.930.000	360.000	-	-	19.510.000
5	214	286	572	286	14	5	6.420.000	6.420.000	4.320.000	4.170.000	3.930.000	480.000	17.692.718	43.432.718
6	214	286	572	286	14	6	6.420.000	6.420.000	8.560.000	3.240.000	4.170.000	5.240.000	11.582.374	45.632.374
7	286	286	716	286	14	7	8.580.000	6.420.000	8.560.000	6.420.000	3.240.000	5.560.000	5.503.534	44.283.534
8	286	286	716	286	14	8	8.580.000	8.580.000	8.560.000	6.420.000	6.420.000	4.320.000	-	42.880.000
9	286	286	716	286	14	9	8.580.000	8.580.000	11.440.000	6.420.000	6.420.000	8.560.000	524.828	50.524.828
10	358	286	858	286	14	10	10.740.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	6.420.000	8.560.000	5.224.652	59.544.652
11	358	286	858	286	14	11	10.740.000	10.740.000	11.440.000	8.580.000	8.580.000	8.560.000	50.739.340	109.379.340
12	358	286	858	286	14	12	10.740.000	10.740.000	14.320.000	8.580.000	8.580.000	11.440.000	57.911.154	122.311.154
13	358	286	858	286	14	13	10.740.000	10.740.000	14.320.000	10.740.000	8.580.000	11.440.000	65.171.036	131.731.036
14	358	286	858	286	14	14	10.740.000	10.740.000	14.320.000	10.740.000	10.740.000	11.440.000	72.536.170	141.256.170
15	286	286	572	286	14	15	8.580.000	10.740.000	14.320.000	10.740.000	10.740.000	14.320.000	80.023.740	149.463.740
16	286	286	572	286	14	16	8.580.000	8.580.000	14.320.000	10.740.000	10.740.000	14.320.000	140.733.380	208.013.380
17	286	286	572	286	14	17	8.580.000	8.580.000	11.440.000	10.740.000	10.740.000	14.320.000	151.108.578	215.508.578
18	286	286	572	286	14	18	8.580.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	10.740.000	14.320.000	161.710.748	223.950.748
19	286	286	430	214	-	19	8.580.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	8.580.000	14.320.000	172.560.654	232.640.654
20	286	286	430	214	-	20	8.580.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	8.580.000	11.440.000	183.676.912	240.876.912
21	286	286	430	214	-	21	8.580.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	8.580.000	11.440.000	195.079.570	252.279.570
22	286	286	430	214	-	22	8.580.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	8.580.000	11.440.000	206.786.528	263.986.528
23	286	286	430	214	-	23	8.580.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	8.580.000	11.440.000	218.817.118	276.017.118
24	286	286	430	214	-	24	8.580.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	8.580.000	11.440.000	231.189.598	288.389.598
25	286	286	430	214	-	25	8.580.000	8.580.000	11.440.000	8.580.000	8.580.000	11.440.000	243.922.226	301.122.226

Tabel 3. 40 Tabel Produktifitas Kebun Kelapa Sawit Sesuai Kelas Lahan

Tabel Potensi Produksi Kelapa Sawit Berdasarkan Kelas Lahan Selama 25 Tahun											
Tahun	Produksi Kebun Kelapa Sawit Sesuai Kelas Lahan										
	Prod TBS (ton/ha/tahun)			Rendemen (%)		Prod CPO (ton/ha/tahun)			Prod PKO (ton/ha/tahun)		
	I	II	III	CPO	PKO	I	II	III	I	II	III
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	9,00	8,00	7,00	15,00	4,50	1,35	1,20	1,05	0,41	0,36	0,32
4	17,00	16,00	14,00	17,00	4,80	2,89	2,72	2,38	0,82	0,77	0,67
5	22,50	21,00	18,00	19,00	5,10	4,28	3,99	3,42	1,15	1,07	0,92
6	27,00	24,50	21,00	21,00	5,40	5,67	5,15	4,41	1,46	1,32	1,13
7	29,00	27,00	24,50	23,00	5,70	6,67	6,21	5,64	1,65	1,54	1,40
8	31,50	28,00	26,50	24,00	6,00	7,56	6,72	6,36	1,89	1,68	1,59
9	32,00	30,00	27,00	24,00	6,00	7,68	7,20	6,48	1,92	1,80	1,62
10	32,00	30,00	27,00	24,00	6,00	7,68	7,20	6,48	1,92	1,80	1,62
11	32,00	30,00	27,00	24,00	6,00	7,68	7,20	6,48	1,92	1,80	1,62
12	32,00	30,00	27,00	24,00	6,00	7,68	7,20	6,48	1,92	1,80	1,62
13	31,50	29,50	26,50	24,00	6,00	7,56	7,08	6,36	1,89	1,77	1,59
14	31,50	28,50	25,50	24,00	6,00	7,56	6,84	6,12	1,89	1,71	1,53
15	30,00	27,50	25,00	24,00	6,00	7,20	6,60	6,00	1,80	1,65	1,50
16	29,00	26,50	24,00	24,00	6,00	6,96	6,36	5,76	1,74	1,59	1,44
17	28,00	26,00	23,00	24,00	6,00	6,72	6,24	5,52	1,68	1,56	1,38
18	27,00	24,50	22,50	24,00	6,00	6,48	5,88	5,40	1,62	1,47	1,35
19	26,00	23,50	21,00	24,00	6,00	6,24	5,64	5,04	1,56	1,41	1,26
20	25,00	22,50	20,50	24,00	6,00	6,00	5,40	4,92	1,50	1,35	1,23
21	23,50	21,50	19,50	24,00	6,00	5,64	5,16	4,68	1,41	1,29	1,17
22	22,00	20,50	18,50	24,00	6,00	5,28	4,92	4,44	1,32	1,23	1,11
23	21,00	19,50	17,50	24,00	6,00	5,04	4,68	4,20	1,26	1,17	1,05
24	19,50	18,50	17,00	24,00	6,00	4,68	4,44	4,08	1,17	1,11	1,02
25	18,50	17,50	16,00	24,00	6,00	4,44	4,20	3,84	1,11	1,05	0,96
Total	596,50	550,50	495,50	527,00	133,50	138,94	128,23	115,54	35,00	32,30	29,10

Tabel 3. 41 Tabel Pemetaan Produksi Tandan Buah Segar (TBS)

Tabel Pemetaan Produksi Tandan Buah Segar (TBS)								
Tahun	Pembukaan ke (ha)						Existing Dipakai	Tot /th (ton)
	1	2	3	4	5	6		
0	-	-	-	-	-	-	923.130	923.130
1	-	-	-	-	-	-	960.744	960.744
2	-	-	-	-	-	-	1.010.089	1.010.089
3	270.000	-	-	-	-	-	847.898	1.117.898
4	510.000	270.000	-	-	-	-	493.200	1.273.200
5	675.000	510.000	360.000	-	-	-	1.656.888	3.201.888
6	810.000	675.000	680.000	270.000	-	-	1.043.999	3.478.999
7	870.000	810.000	900.000	510.000	270.000	-	397.987	3.757.987
8	945.000	870.000	1.080.000	675.000	510.000	360.000	(402.817)	4.037.183
9	960.000	945.000	1.160.000	810.000	675.000	680.000	(912.874)	4.317.126
10	960.000	960.000	1.260.000	870.000	810.000	900.000	(1.161.547)	4.598.453
11	960.000	960.000	1.280.000	945.000	870.000	1.080.000	1.227.785	7.322.785
12	960.000	960.000	1.280.000	960.000	945.000	1.160.000	1.487.074	7.752.074
13	945.000	960.000	1.280.000	960.000	960.000	1.260.000	1.821.616	8.186.616
14	945.000	945.000	1.280.000	960.000	960.000	1.280.000	2.257.462	8.627.462
15	900.000	945.000	1.260.000	960.000	960.000	1.280.000	2.770.634	9.075.634
16	870.000	900.000	1.260.000	945.000	960.000	1.280.000	6.494.498	12.709.498
17	840.000	870.000	1.200.000	945.000	945.000	1.280.000	7.250.516	13.330.516
18	810.000	840.000	1.160.000	900.000	945.000	1.260.000	8.050.137	13.965.137
19	780.000	810.000	1.120.000	870.000	900.000	1.260.000	8.874.558	14.614.558
20	750.000	780.000	1.080.000	840.000	870.000	1.200.000	9.759.950	15.279.950
21	705.000	750.000	1.040.000	810.000	840.000	1.160.000	10.657.458	15.962.458
22	660.000	705.000	1.000.000	780.000	810.000	1.120.000	11.588.206	16.663.206
23	630.000	660.000	940.000	750.000	780.000	1.080.000	12.543.311	17.383.311
24	585.000	630.000	880.000	705.000	750.000	1.040.000	13.533.875	18.123.875
25	555.000	585.000	840.000	660.000	705.000	1.000.000	14.541.003	18.886.003
Total	17.895.000	17.340.000	22.340.000	16.125.000	15.465.000	19.680.000	117.714.781	226.559.781

Tabel 3. 42 Tabel Pemetaan Produksi CPO

Tabel Pemetaan Produksi CPO								
Tahun	Pembukaan Tahun ke						Existing Dipakai	Tot / th (ton)
	1	2	3	4	5	6		
0	-	-	-				219.793	219.793
1	-	-	-				228.749	228.749
2	-	-	-				240.497	240.497
3	40.500	-	-				225.666	266.166
4	86.700	40.500	-				175.943	303.143
5	128.250	86.700	54.000				493.404	762.354
6	170.100	128.250	115.600	40.500			373.883	828.333
7	200.100	170.100	171.000	86.700	40.500		226.359	894.759
8	226.800	200.100	226.800	128.250	86.700	54.000	38.584	961.234
9	230.400	226.800	266.800	170.100	128.250	115.600	(110.063)	1.027.887
10	230.400	230.400	302.400	200.100	170.100	171.000	(209.530)	1.094.870
11	230.400	230.400	307.200	226.800	200.100	226.800	321.820	1.743.520
12	230.400	230.400	307.200	230.400	226.800	266.800	353.732	1.845.732
13	226.800	230.400	307.200	230.400	230.400	302.400	421.594	1.949.194
14	226.800	226.800	307.200	230.400	230.400	307.200	525.358	2.054.158
15	216.000	226.800	302.400	230.400	230.400	307.200	647.665	2.160.865
16	208.800	216.000	302.400	226.800	230.400	307.200	1.534.471	3.026.071
17	201.600	208.800	288.000	226.800	226.800	307.200	1.714.732	3.173.932
18	194.400	201.600	278.400	216.000	226.800	302.400	1.905.433	3.325.033
19	187.200	194.400	268.800	208.800	216.000	302.400	2.102.057	3.479.657
20	180.000	187.200	259.200	201.600	208.800	288.000	2.313.283	3.638.083
21	169.200	180.000	249.600	194.400	201.600	278.400	2.527.385	3.800.585
22	158.400	169.200	240.000	187.200	194.400	268.800	2.749.430	3.967.430
23	151.200	158.400	225.600	180.000	187.200	259.200	2.977.284	4.138.884
24	140.400	151.200	211.200	169.200	180.000	249.600	3.213.608	4.315.208
25	133.200	140.400	201.600	158.400	169.200	240.000	3.453.867	4.496.667
Total	4.168.050	4.034.850	5.192.600	3.743.250	3.584.850	4.554.200	28.665.005	53.942.805
Rata-rata	166.722	161.394	207.704	149.730	143.394	182.168	1.146.600	2.157.712

Tabel 3. 43 Tabel Pemetaan Produksi KPO

Tabel Pemetaan Produksi KPO								
Tahun	Pembukaan Tahun ke						Existing	Total / tahun (ton)
	1	2	3	4	5	6		
0	-	-	-				86.158	-
1	-	-	-				89.670	-
2	-	-	-				94.274	-
3	12.150	-	-				44.338	12.150
4	24.480	12.150	-				-	36.630
5	34.425	24.480	16.200				98.842	75.105
6	43.740	34.425	32.640	12.150			64.706	110.805
7	49.590	43.740	45.900	24.480	12.150		30.746	139.230
8	56.700	49.590	58.320	34.425	24.480	16.200	-	164.610
9	57.600	56.700	66.120	43.740	34.425	32.640	2.932	180.420
10	57.600	57.600	75.600	49.590	43.740	45.900	29.188	190.800
11	57.600	57.600	76.800	56.700	49.590	58.320	283.460	192.000
12	57.600	57.600	76.800	57.600	56.700	66.120	323.526	192.000
13	56.700	57.600	76.800	57.600	57.600	75.600	364.084	191.100
14	56.700	56.700	76.800	57.600	57.600	76.800	405.230	190.200
15	54.000	56.700	75.600	57.600	57.600	76.800	447.060	186.300
16	52.200	54.000	75.600	56.700	57.600	76.800	786.220	181.800
17	50.400	52.200	72.000	56.700	56.700	76.800	844.182	174.600
18	48.600	50.400	69.600	54.000	56.700	75.600	903.412	168.600
19	46.800	48.600	67.200	52.200	54.000	75.600	964.026	162.600
20	45.000	46.800	64.800	50.400	52.200	72.000	1.026.128	156.600
21	42.300	45.000	62.400	48.600	50.400	69.600	1.089.830	149.700
22	39.600	42.300	60.000	46.800	48.600	67.200	1.155.232	141.900
23	37.800	39.600	56.400	45.000	46.800	64.800	1.222.442	133.800
24	35.100	37.800	52.800	42.300	45.000	62.400	1.291.562	125.700
25	33.300	35.100	50.400	39.600	42.300	60.000	1.362.694	118.800
Total	1.049.985	1.016.685	1.308.780	943.785	904.185	1.149.180	13.009.942	3.375.450
Rata-rata	41.999	40.667	52.351	37.751	36.167	45.967	520.398	135.018

Tabel 3. 44 Tabel Koefisien Emisi (BTMP)

Tabel Koefisien Emisi dalam (ton/kilo liter) – BTMP							
Tipe Kendaraan	Jenis BB	SO ₂	NO _x	HC	PM	CO	CO ₂
Passanger car	B0	0,01109	0,00643	0,00845	0,00141	0,02526	1,22359
	B5	0,01065	0,00634	0,00810	0,00132	0,02438	1,18838
	B10	0,00995	0,00634	0,00748	0,00132	0,02368	1,15317
	B15	0,00951	0,00625	0,00722	0,00132	0,02298	1,14437
	B20	0,00889	0,00625	0,00678	0,00123	0,02218	1,11796
	B30	0,00775	0,00616	0,00616	0,00114	0,02086	1,06514
	B50	0,00555	0,00607	0,00484	0,00106	0,01822	0,95951
	B100	0	0,00581	0,00273	0,00070	0,01312	0,84507
Med/small bus/truck	B0	0,01445	0,00828	0,01090	0,00178	0,03297	1,90194
	B5	0,01386	0,00828	0,01048	0,00178	0,03187	1,85123
	B10	0,01302	0,00828	0,00981	0,00178	0,03085	1,79205
	B15	0,01234	0,00820	0,00947	0,00169	0,02984	1,77515
	B20	0,01158	0,00811	0,00879	0,00161	0,02891	1,74979
	B30	0,01014	0,00803	0,00795	0,00152	0,02722	1,66526
	B50	0,00719	0,00795	0,00626	0,00135	0,02375	1,49620
	B100	0	0,00752	0,00355	0,00093	0,01708	1,31023
Big bus	B0	0,01374	0,00787	0,01042	0,00172	0,03126	2,01303
	B5	0,01314	0,00787	0,00989	0,00172	0,03025	1,95974
	B10	0,01231	0,00782	0,00930	0,00166	0,02931	1,90053
	B15	0,01172	0,00782	0,00882	0,00160	0,02830	1,87685
	B20	0,01095	0,00776	0,00835	0,00148	0,02747	1,84725
	B30	0,00959	0,00770	0,00758	0,00142	0,02658	1,75844
	B50	0,00687	0,00752	0,00598	0,00124	0,02487	1,58674
	B100	0	0,00716	0,00337	0,00095	0,01622	1,38544
Big truck	B0	0,01612	0,00929	0,01113	0,00238	0,03685	1,70670
	B5	0,01536	0,00929	0,01062	0,00235	0,03565	1,66245
	B10	0,01448	0,00923	0,00992	0,00230	0,03451	1,61188
	B15	0,01378	0,00917	0,00942	0,00217	0,03338	1,59292
	B20	0,01290	0,00910	0,00891	0,00205	0,03236	1,56764
	B30	0,01131	0,00904	0,00809	0,00195	0,02958	1,49178
	B50	0,00809	0,00885	0,00638	0,00173	0,02408	1,34640
	B100	0	0,00841	0,00360	0,00131	0,01909	1,17573

Tabel 3. 45 Tabel Koefisien Emisi (Collection)

Tabel Koefisien Emisi dalam (ton/kilo liter) – COLLECTION							
Tipe Kendaraan	Jenis BB	SO ₂	NO _x	HC	PM	CO	CO ₂
Passanger car	B0	0,01109	0,03081	0,00871	0,00467	0,04533	1,22359
	B5	0,01048	0,03072	0,00827	0,00449	0,04384	1,18838
	B10	0,00995	0,03055	0,00775	0,00440	0,04252	1,15317
	B15	0,00942	0,03037	0,00739	0,00423	0,04120	1,14437
	B20	0,00889	0,03011	0,00695	0,00405	0,03979	1,11796
	B30	0,00775	0,02984	0,00634	0,00387	0,03741	1,06514
	B50	0,00555	0,02931	0,00502	0,00352	0,03266	0,95951
	B100	0	0,02799	0,00282	0,00238	0,02350	0,84507
Med/small bus/truck	B0	0,01445	0,01877	0,04396	0,00634	0,04497	1,90194
	B5	0,01378	0,01868	0,04176	0,00634	0,04353	1,85123
	B10	0,01302	0,01860	0,03956	0,00634	0,04210	1,79205
	B15	0,01234	0,01851	0,03753	0,00609	0,04083	1,77515
	B20	0,01158	0,01843	0,03542	0,00575	0,03948	1,74979
	B30	0,01014	0,01826	0,03204	0,00541	0,03711	1,66526
	B50	0,00719	0,01801	0,02519	0,00482	0,03238	1,49620
	B100	0	0,01708	0,01429	0,00330	0,02333	1,31023
Big bus	B0	0,01374	0,09236	0,01397	0,00829	0,03126	2,01303
	B5	0,01308	0,09201	0,01326	0,00817	0,03031	1,95974
	B10	0,01231	0,09165	0,01249	0,00799	0,02931	1,90053
	B15	0,01166	0,09136	0,01190	0,00758	0,02836	1,87685
	B20	0,01095	0,09100	0,01119	0,00716	0,02747	1,84725
	B30	0,00959	0,09005	0,01012	0,00675	0,02581	1,75844
	B50	0,00687	0,08822	0,00799	0,00598	0,02256	1,58674
	B100	0	0,08401	0,00450	0,00456	0,01622	1,38544
Big truck	B0	0,01612	0,11188	0,01498	0,00885	0,05310	1,70670
	B5	0,01536	0,11157	0,01416	0,00872	0,05145	1,66245
	B10	0,01448	0,11106	0,01334	0,00853	0,04981	1,61188
	B15	0,01378	0,11062	0,01271	0,00815	0,04829	1,59292
	B20	0,01290	0,11018	0,01201	0,00765	0,04665	1,56764
	B30	0,01131	0,10904	0,01087	0,00721	0,04387	1,49178
	B50	0,00809	0,10683	0,00860	0,00638	0,03831	1,34640
	B100	0	0,10177	0,00487	0,00487	0,02756	1,17573

Tabel 3. 46 Tabel Input Perkebunan Kelapa Sawit

Tabel Input Perkebunan Kelapa Sawit Selama 25 Tahun									
Tahun	INPUT								
	Pupuk					Air (m ³)	Herbisida		Diesel Transport (liter)
	N	P	K	Mg	B		Paraquat	Glyphoshate	
	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	
0	15.782	12.681	37.382	12.471	603	1.292.382.114	92,313	184,626	307.710
1	20.341	18.673	41.978	14.203	628	1.345.041.978	96,074	192,149	320.248
2	25.455	25.241	46.584	16.381	660	1.414.124.832	101,009	202,018	336.696
3	20.947	24.130	34.631	13.920	526	1.565.056.638	111,790	223,580	372.633
4	19.510	26.470	32.570	16.240	648	1.782.479.688	127,320	254,640	424.400
5	43.433	48.814	94.303	39.954	1.844	4.482.643.704	320,189	640,378	1.067.296
6	45.632	55.283	100.149	45.283	2.109	4.870.598.820	347,900	695,800	1.159.666
7	44.284	53.617	103.770	47.857	2.303	5.261.181.924	375,799	751,597	1.252.662
8	42.880	51.520	111.600	51.520	2.592	5.652.056.568	403,718	807,437	1.345.728
9	50.525	57.619	130.058	57.619	2.901	6.043.976.112	431,713	863,425	1.439.042
10	59.545	61.374	149.902	61.374	3.084	6.437.834.784	459,845	919,691	1.532.818
11	109.379	97.735	267.564	97.735	4.864	10.251.899.352	732,279	1.464,557	2.440.928
12	122.311	103.464	296.193	103.464	5.145	10.852.904.160	775,207	1.550,415	2.584.025
13	131.731	109.264	317.852	109.264	5.429	11.461.261.968	818,662	1.637,323	2.728.872
14	141.256	115.148	339.764	115.148	5.717	12.078.446.472	862,746	1.725,492	2.875.821
15	149.464	121.130	354.809	121.130	6.009	12.705.887.250	907,563	1.815,127	3.025.211
16	208.013	169.629	491.728	169.629	8.384	17.793.297.144	1.270,950	2.541,900	4.236.499
17	215.509	177.918	505.154	177.918	8.789	18.662.723.088	1.333,052	2.666,103	4.443.505
18	223.951	186.388	521.984	186.388	9.204	19.551.191.496	1.396,514	2.793,027	4.655.046
19	232.641	195.056	535.147	192.896	9.196	20.460.381.432	1.461,456	2.922,912	4.871.519
20	240.877	203.936	546.089	199.616	9.199	21.391.929.648	1.527,995	3.055,990	5.093.317
21	252.280	213.046	567.737	205.846	9.069	22.347.440.904	1.596,246	3.192,492	5.320.819
22	263.987	222.398	591.535	213.038	9.095	23.328.489.000	1.666,321	3.332,641	5.554.402
23	276.017	232.009	616.108	220.489	9.133	24.336.635.352	1.738,331	3.476,662	5.794.437
24	288.390	241.893	640.080	227.493	9.041	25.373.424.864	1.812,387	3.624,775	6.041.292
25	301.122	252.065	670.596	237.665	9.539	26.440.404.504	1.888,600	3.777,201	6.295.334
Total	3.545.260	3.076.502	8.145.265	2.954.542	135.710	317.183.693.796	22.655,978	45.311,956	75.519.927

Tabel 3. 47 Tabel Output Perkebunan Kelapa Sawit

Tabel Output Perkebunan Kelapa Sawit Selama 25 Tahun								
OUTPUT								
TBS	Emisi					CO ₂ Net Assimilation (Absobtion)		
	CO ₂	CO	CH ₄	NMVOC/NMHC	NO ₂	Rainforest	Oil Palm	Net
(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
923.130	-	-	-	-	789,114	(8.480.000)	-	(8.480.000)
960.744	28.500.000	1.311.000	42.750	45.600,000	1.017,047	(7.208.000)	-	(7.208.000)
1.010.089	28.500.000	1.311.000	42.750	45.600,000	1.272,752	(5.936.000)	-	(5.936.000)
1.117.898	56.220.162	1.748.000	61.430	60.800,000	1.047,325	(4.240.000)	(544.219)	(4.784.219)
1.273.200	33.546.428	1.311.000	47.795	45.600,000	975,500	(2.968.000)	(1.572.188)	(4.540.188)
3.201.888	41.190.937	1.311.000	55.438	45.600,000	2.171,636	(1.696.000)	(3.258.594)	(4.954.594)
3.478.999	13.789.287	1.748.000	70.786	60.800,000	2.281,619	-	(5.808.359)	(5.808.359)
3.757.987	14.895.078	-	14.892	-	2.214,177	-	(8.438.750)	(8.438.750)
4.037.183	16.001.694	-	15.998	-	2.144,000	-	(10.414.063)	(10.414.063)
4.317.126	17.111.268	-	17.107	-	2.526,241	-	(12.429.688)	(12.429.688)
4.598.453	18.226.332	-	18.222	-	2.977,233	-	(12.832.813)	(12.832.813)
7.322.785	29.024.436	-	29.018	-	5.468,967	-	(12.900.000)	(12.900.000)
7.752.074	30.725.957	-	30.719	-	6.115,558	-	(12.900.000)	(12.900.000)
8.186.616	32.448.296	-	32.441	-	6.586,552	-	(12.832.813)	(12.832.813)
8.627.462	34.195.624	-	34.188	-	7.062,809	-	(12.765.625)	(12.765.625)
9.075.634	35.971.989	-	35.964	-	7.473,187	-	(12.496.875)	(12.496.875)
12.709.498	50.375.096	-	50.364	-	10.400,669	-	(12.160.938)	(12.160.938)
13.330.516	52.836.552	-	52.825	-	10.775,429	-	(11.690.625)	(11.690.625)
13.965.137	55.351.919	-	55.340	-	11.197,537	-	(11.287.500)	(11.287.500)
14.614.558	57.925.952	-	57.913	-	11.632,033	-	(10.884.375)	(10.884.375)
15.279.950	60.563.284	-	60.550	-	12.043,846	-	(10.481.250)	(10.481.250)
15.962.458	63.268.458	-	63.254	-	12.613,979	-	(10.010.938)	(10.010.938)
16.663.206	66.045.931	-	66.031	-	13.199,326	-	(9.473.438)	(9.473.438)
17.383.311	68.900.122	-	68.885	-	13.800,856	-	(8.935.938)	(8.935.938)
18.123.875	71.835.405	-	71.820	-	14.419,480	-	(8.398.438)	(8.398.438)
18.886.003	74.856.161	-	74.840	-	15.056,111	-	(7.928.125)	(7.928.125)
226.559.781	1.052.306.365	8.740.000	1.171.321	304.000,000	177.262,981	(30.528.000)	(220.445.547)	(250.973.547)

Tabel 3. 48 Tabel Input CPO Mill

Tabel Input Pabrik Kelapa Sawit (CPO Mill) Selama 25 Tahun					
Tahun	INPUT				
	TBS	Air	Diesel	Listrik	Uap
	(ton)	(m ³)	(liter)	(kWh)	(m ³)
0	923.130	1.011.047	879.172	19.121.980	659.379
1	960.744	1.052.244	914.995	19.901.131	686.246
2	1.010.089	1.106.288	961.990	20.923.276	721.492
3	1.117.898	1.224.364	1.064.664	23.156.450	798.498
4	1.273.200	1.394.457	1.212.571	26.373.424	909.428
5	3.201.888	3.506.830	3.049.417	66.324.830	2.287.063
6	3.478.999	3.810.332	3.313.333	72.064.983	2.484.999
7	3.757.987	4.115.891	3.579.035	77.844.018	2.684.276
8	4.037.183	4.421.677	3.844.936	83.627.368	2.883.702
9	4.317.126	4.728.281	4.111.548	89.426.177	3.083.661
10	4.598.453	5.036.401	4.379.479	95.253.678	3.284.610
11	7.322.785	8.020.193	6.974.081	151.686.266	5.230.561
12	7.752.074	8.490.367	7.382.928	160.578.684	5.537.196
13	8.186.616	8.966.293	7.796.777	169.579.896	5.847.583
14	8.627.462	9.449.125	8.216.630	178.711.708	6.162.473
15	9.075.634	9.939.980	8.643.461	187.995.271	6.482.596
16	12.709.498	13.919.926	12.104.284	263.268.172	9.078.213
17	13.330.516	14.600.089	12.695.730	276.132.127	9.521.797
18	13.965.137	15.295.150	13.300.130	289.277.833	9.975.098
19	14.614.558	16.006.421	13.918.627	302.730.133	10.438.970
20	15.279.950	16.735.183	14.552.333	316.513.245	10.914.250
21	15.962.458	17.482.692	15.202.341	330.650.911	11.401.756
22	16.663.206	18.250.178	15.869.720	345.166.419	11.902.290
23	17.383.311	19.038.864	16.555.534	360.082.870	12.416.651
24	18.123.875	19.849.958	17.260.833	375.423.123	12.945.625
25	18.886.003	20.684.670	17.986.670	391.210.067	13.490.002
Total	226.559.781	248.136.903	215.771.220	4.693.024.041	161.828.415

Tabel 3. 49 Tabel Output CPO Mill

Tabel Output Pabrik Kelapa Sawit (CPO Mill) Selama 25 Tahun																	
OUTPUT																	
CPO	PKO	POME	Fibre	Shell	Decanter Cake	EFB	Ash	Kernel	Emisi					Kandungan Unsur dari EFB			
									Partikel	NO ₂	CO	CO ₂ eq dari CH ₄ (x21)		N	P	K	Mg
(ton)	(ton)	(m ³)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	CH ₄ (ton)	CO ₂ (ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
219.793	-	848.401	452.773	96.709	68.136	413.211	13.188	83.521	1.912	681	835	15.271	322.436	3.967	496	4.835	868
228.749	-	882.970	471.222	100.649	70.912	430.047	13.725	86.924	1.990	709	869	15.893	335.574	4.128	516	5.032	903
240.497	-	928.320	495.425	105.819	74.554	452.135	14.430	91.389	2.092	746	914	16.710	352.810	4.340	543	5.290	949
266.166	12.150	1.027.401	548.302	117.113	82.511	500.392	15.970	101.143	2.316	825	1.011	18.493	390.466	4.804	600	5.855	1.051
303.143	36.630	1.170.131	624.474	133.383	93.974	569.908	18.189	115.194	2.637	940	1.152	21.062	444.710	5.471	684	6.668	1.197
762.354	75.105	2.942.688	1.570.450	335.436	236.330	1.433.226	45.741	289.695	6.632	2.363	2.897	52.968	1.118.374	13.759	1.720	16.769	3.010
828.333	110.805	3.197.366	1.706.366	364.467	256.783	1.557.266	49.700	314.767	7.206	2.568	3.148	57.553	1.215.165	14.950	1.869	18.220	3.270
894.759	139.230	3.453.769	1.843.203	393.694	277.375	1.682.147	53.686	340.008	7.784	2.774	3.400	62.168	1.312.611	16.149	2.019	19.681	3.533
961.234	164.610	3.710.364	1.980.142	422.943	297.983	1.807.120	57.674	365.269	8.363	2.980	3.653	66.787	1.410.130	17.348	2.169	21.143	3.795
1.027.887	180.420	3.967.644	2.117.447	452.270	318.645	1.932.428	61.673	390.597	8.943	3.186	3.906	71.418	1.507.910	18.551	2.319	22.609	4.058
1.094.870	190.800	4.226.198	2.255.432	481.743	339.410	2.058.355	65.692	416.051	9.525	3.394	4.161	76.072	1.606.174	19.760	2.470	24.083	4.323
1.743.520	192.000	6.729.988	3.591.652	767.149	540.491	3.277.818	104.611	662.538	15.169	5.405	6.625	121.140	2.557.744	31.467	3.933	38.350	6.883
1.845.732	192.000	7.124.526	3.802.208	812.122	572.177	3.469.976	110.744	701.378	16.058	5.722	7.014	128.241	2.707.689	33.312	4.164	40.599	7.287
1.949.194	191.100	7.523.890	4.015.340	857.645	604.250	3.664.485	116.952	740.694	16.958	6.043	7.407	135.430	2.859.468	35.179	4.397	42.874	7.695
2.054.158	190.200	7.929.048	4.231.565	903.829	636.789	3.861.816	123.249	780.580	17.871	6.368	7.806	142.723	3.013.449	37.073	4.634	45.183	8.110
2.160.865	186.300	8.340.940	4.451.382	950.781	669.868	4.062.427	129.652	821.129	18.800	6.699	8.211	150.137	3.169.989	38.999	4.875	47.530	8.531
3.026.071	181.800	11.680.634	6.233.706	1.331.471	938.082	5.689.013	181.564	1.149.907	26.327	9.381	11.499	210.251	4.439.246	54.615	6.827	66.561	11.947
3.173.932	174.600	12.251.379	6.538.301	1.396.530	983.919	5.966.993	190.436	1.206.094	27.613	9.839	12.061	220.525	4.656.159	57.283	7.160	69.814	12.531
3.325.033	168.600	12.834.626	6.849.567	1.463.014	1.030.760	6.251.061	199.502	1.263.512	28.928	10.308	12.635	231.023	4.877.823	60.010	7.501	73.137	13.127
3.479.657	162.600	13.431.475	7.168.093	1.531.049	1.078.694	6.541.755	208.779	1.322.270	30.273	10.787	13.223	241.767	5.104.656	62.801	7.850	76.539	13.738
3.638.083	156.600	14.043.001	7.494.452	1.600.757	1.127.806	6.839.597	218.285	1.382.472	31.651	11.278	13.825	252.774	5.337.068	65.660	8.208	80.023	14.363
3.800.585	149.700	14.670.259	7.829.205	1.672.257	1.178.181	7.145.100	228.035	1.444.222	33.065	11.782	14.442	264.065	5.575.458	68.593	8.574	83.598	15.005
3.967.430	141.900	15.314.280	8.172.906	1.745.669	1.229.903	7.458.769	238.046	1.507.623	34.517	12.299	15.076	275.657	5.820.220	71.604	8.951	87.268	15.663
4.138.884	133.800	15.976.091	8.526.100	1.821.109	1.283.054	7.781.101	248.333	1.572.776	36.008	12.831	15.728	287.570	6.071.742	74.699	9.337	91.039	16.340
4.315.208	125.700	16.656.704	8.889.329	1.898.692	1.337.715	8.112.592	258.912	1.639.779	37.542	13.377	16.398	299.821	6.330.411	77.881	9.735	94.917	17.036
4.496.667	118.800	17.357.136	9.263.135	1.978.534	1.393.967	8.453.735	269.800	1.708.734	39.121	13.940	17.087	312.428	6.596.611	81.156	10.144	98.909	17.753
53.942.805	3.375.450	208.219.228	111.122.178	23.734.834	16.722.270	101.412.474	3.236.568	20.498.266	469.302	167.223	204.983	3.747.946	79.134.095	973.560	121.695	1.186.526	212.966

Tabel 3. 50 Tabel Input Output Pabrik Biodiesel

Tabel Input dan Output Pabrik Biodiesel Sawit (PME Plant) Selama 25 Tahun										
Tahun	INPUT						OUTPUT			
	MKS (CPO)	Air	Methanol	Sodium Hidroksida	Diesel	Listrik	Biodiesel (PME)	Gliserol	Air Limbah	Emisi CO ₂
	(ton)	(m ³)	(ton)	(ton)	(liter)	(kWh)	(ton)	(ton)	(m ³)	(ton)
0	219.793	43.079	38.771	1.292	7.538.896	1.076.985	215.397	45.233	49.541	54.280
1	228.749	44.835	40.351	1.345	7.846.078	1.120.868	224.174	47.076	51.560	56.492
2	240.497	47.137	42.424	1.414	8.249.062	1.178.437	235.687	49.494	54.208	59.393
3	266.166	52.169	46.952	1.565	9.129.497	1.304.214	260.843	54.777	59.994	65.732
4	303.143	59.416	53.474	1.782	10.397.798	1.485.400	297.080	62.387	68.328	74.864
5	762.354	149.421	134.479	4.483	26.148.755	3.735.536	747.107	156.893	171.835	188.271
6	828.333	162.353	146.118	4.871	28.411.826	4.058.832	811.766	170.471	186.706	204.565
7	894.759	175.373	157.835	5.261	30.690.228	4.384.318	876.864	184.141	201.679	220.970
8	961.234	188.402	169.562	5.652	32.970.330	4.710.047	942.009	197.822	216.662	237.386
9	1.027.887	201.466	181.319	6.044	35.256.527	5.036.647	1.007.329	211.539	231.686	253.847
10	1.094.870	214.594	193.135	6.438	37.554.036	5.364.862	1.072.972	225.324	246.784	270.389
11	1.743.520	341.730	307.557	10.252	59.802.746	8.543.249	1.708.650	358.816	392.989	430.580
12	1.845.732	361.763	325.587	10.853	63.308.608	9.044.087	1.808.817	379.852	416.028	455.822
13	1.949.194	382.042	343.838	11.461	66.857.361	9.551.052	1.910.210	401.144	439.348	481.373
14	2.054.158	402.615	362.353	12.078	70.457.604	10.065.372	2.013.074	422.746	463.007	507.295
15	2.160.865	423.530	381.177	12.706	74.117.676	10.588.239	2.117.648	444.706	487.059	533.647
16	3.026.071	593.110	533.799	17.793	103.794.233	14.827.748	2.965.550	622.765	682.076	747.318
17	3.173.932	622.091	559.882	18.663	108.865.885	15.552.269	3.110.454	653.195	715.404	783.834
18	3.325.033	651.706	586.536	19.551	114.048.617	16.292.660	3.258.532	684.292	749.462	821.150
19	3.479.657	682.013	613.811	20.460	119.352.225	17.050.318	3.410.064	716.113	784.315	859.336
20	3.638.083	713.064	641.758	21.392	124.786.256	17.826.608	3.565.322	748.718	820.024	898.461
21	3.800.585	744.915	670.423	22.347	130.360.072	18.622.867	3.724.573	782.160	856.652	938.593
22	3.967.430	777.616	699.855	23.328	136.082.853	19.440.408	3.888.082	816.497	894.259	979.797
23	4.138.884	811.221	730.099	24.337	141.963.706	20.280.529	4.056.106	851.782	932.904	1.022.139
24	4.315.208	845.781	761.203	25.373	148.011.645	21.144.521	4.228.904	888.070	972.648	1.065.684
25	4.496.667	881.347	793.212	26.440	154.235.693	22.033.670	4.406.734	925.414	1.013.549	1.110.497
Total	53.942.805	10.572.790	9.515.511	317.184	1.850.238.214	264.319.745	52.863.949	11.101.429	12.158.708	13.321.715

Tabel 3. 51 Tabel Input Output Blending Plant

Tabel Input dan Output Biodiesel Bending Plant Selama 25 Tahun							
Tahun	Biodiesel Blending (BX)	INPUT				OUTPUT	
		Biodiesel (PME)	Diesel (ADO)	Diesel Transport	Listrik	Biosolar (BX)	Emisi CO ₂
		(ton)	(ton)	(liter)	(kWh)	(ton)	(ton)
2000	B5	215.397	4.092.543	64.619.106	34.463.523	4.307.940	191.516
2001	B5	224.174	4.259.300	67.252.099	35.867.786	4.483.473	199.320
2002	B5	235.687	4.478.062	70.706.242	37.709.996	4.713.749	209.557
2003	B5	260.843	4.956.013	78.252.832	41.734.844	5.216.855	231.923
2004	B5	297.080	5.644.519	89.123.984	47.532.792	5.941.599	264.143
2005	B10	747.107	6.723.966	112.066.093	59.768.583	7.471.073	332.138
2006	B10	811.766	7.305.898	121.764.971	64.941.318	8.117.665	360.883
2007	B10	876.864	7.891.773	131.529.548	70.149.092	8.768.637	389.823
2008	B10	942.009	8.478.085	141.301.414	75.360.754	9.420.094	418.784
2009	B10	1.007.329	9.065.964	151.099.403	80.586.348	10.073.294	447.823
2010	B10	1.072.972	9.656.752	160.945.870	85.837.797	10.729.725	477.006
2011	B15	1.708.650	9.682.349	170.864.989	91.127.994	11.390.999	506.404
2012	B15	1.808.817	10.249.965	180.881.736	96.470.259	12.058.782	536.091
2013	B15	1.910.210	10.824.525	191.021.033	101.877.884	12.734.736	566.142
2014	B15	2.013.074	11.407.422	201.307.441	107.363.969	13.420.496	596.628
2015	B15	2.117.648	12.000.005	211.764.788	112.941.220	14.117.653	627.621
2016	B20	2.965.550	11.862.198	222.416.214	118.621.981	14.827.748	659.190
2017	B20	3.110.454	12.441.815	233.284.039	124.418.154	15.552.269	691.399
2018	B20	3.258.532	13.034.128	244.389.894	130.341.277	16.292.660	724.315
2019	B20	3.410.064	13.640.254	255.754.768	136.402.543	17.050.318	757.997
2020	B20	3.565.322	14.261.286	267.399.121	142.612.864	17.826.608	792.509
2021	B20	3.724.573	14.898.294	279.343.011	148.982.939	18.622.867	827.908
2022	B20	3.888.082	15.552.326	291.606.113	155.523.260	19.440.408	864.252
2023	B20	4.056.106	16.224.424	304.207.942	162.244.236	20.280.529	901.601
2024	B20	4.228.904	16.915.617	317.167.811	169.156.166	21.144.521	940.011
2025	B20	4.406.734	17.626.936	330.505.056	176.269.363	22.033.670	979.540
Total		52.863.949	273.174.419	4.890.575.515	2.608.306.941	326.038.368	14.494.525

Tabel 3. 52 Tabel Input Output SPBU

Tabel Input dan Output di SPBU Selama 25 Tahun						
Tahun	Biodiesel Blending (BX)	INPUT			OUTPUT	
		Biosolar (BX)	Diesel Transport	Listrik	Biosolar (BX)	Emisi CO ₂
		(ton)	(liter)	(kWh)	(ton)	(ton)
2000	B5	4.307.940	8.615.881	21.539.702	4.307.940	36.321
2001	B5	4.483.473	8.966.947	22.417.366	4.483.473	37.801
2002	B5	4.713.749	9.427.499	23.568.747	4.713.749	39.742
2003	B5	5.216.855	10.433.711	26.084.277	5.216.855	43.984
2004	B5	5.941.599	11.883.198	29.707.995	5.941.599	50.094
2005	B10	7.471.073	14.942.146	37.355.364	7.471.073	62.989
2006	B10	8.117.665	16.235.329	40.588.324	8.117.665	68.441
2007	B10	8.768.637	17.537.273	43.843.183	8.768.637	73.929
2008	B10	9.420.094	18.840.189	47.100.471	9.420.094	79.422
2009	B10	10.073.294	20.146.587	50.366.468	10.073.294	84.929
2010	B10	10.729.725	21.459.449	53.648.623	10.729.725	90.463
2011	B15	11.390.999	22.781.999	56.954.996	11.390.999	96.039
2012	B15	12.058.782	24.117.565	60.293.912	12.058.782	101.669
2013	B15	12.734.736	25.469.471	63.673.678	12.734.736	107.368
2014	B15	13.420.496	26.840.992	67.102.480	13.420.496	113.150
2015	B15	14.117.653	28.235.305	70.588.263	14.117.653	119.027
2016	B20	14.827.748	29.655.495	74.138.738	14.827.748	125.014
2017	B20	15.552.269	31.104.538	77.761.346	15.552.269	131.123
2018	B20	16.292.660	32.585.319	81.463.298	16.292.660	137.365
2019	B20	17.050.318	34.100.636	85.251.589	17.050.318	143.753
2020	B20	17.826.608	35.653.216	89.133.040	17.826.608	150.298
2021	B20	18.622.867	37.245.735	93.114.337	18.622.867	157.011
2022	B20	19.440.408	38.880.815	97.202.038	19.440.408	163.904
2023	B20	20.280.529	40.561.059	101.402.647	20.280.529	170.987
2024	B20	21.144.521	42.289.041	105.722.604	21.144.521	178.272
2025	B20	22.033.670	44.067.341	110.168.352	22.033.670	185.768
Total		326.038.368	652.076.735	1.630.191.838	326.038.368	2.748.862

Tabel 3. 53 Tabel Input Output Transportasi

Tabel Input dan Output Transportasi Maksimal Emisi BTMP dengan Biodiesel Mix (BX) Selama 25 Tahun									
Tahun	Biodiesel Blending (BX)	INPUT		OUTPUT - VERSI BTMP MAX					
		Biosolar (BX) (ton)	Biosolar (BX) (kilo liter)	Emisi					
				SO ₂ (ton)	NO _x 1	HC (ton)	PM (ton)	CO (ton)	CO ₂ (ton)
2000	B5	4.307.940	5.009.233	76.943,339	46.545,970	53.195,395	11.778,980	178.584,539	9.816.791,729
2001	B5	4.483.473	5.213.341	80.078,500	48.442,549	55.362,913	12.258,931	185.861,209	10.216.790,237
2002	B5	4.713.749	5.481.104	84.191,420	50.930,612	58.206,414	12.888,563	195.407,248	10.741.535,962
2003	B5	5.216.855	6.066.111	93.177,305	56.366,518	64.418,878	14.264,180	216.263,376	11.887.997,282
2004	B5	5.941.599	6.908.836	106.121,817	64.197,149	73.368,170	16.245,809	246.307,428	13.539.518,745
2005	B10	7.471.073	8.687.294	125.751,601	80.173,510	86.213,980	19.988,464	299.826,961	16.510.487,709
2006	B10	8.117.665	9.439.145	136.634,905	87.112,210	93.675,459	21.718,387	325.775,801	17.939.405,240
2007	B10	8.768.637	10.196.089	147.591,933	94.097,914	101.187,482	23.460,028	351.900,417	19.378.002,185
2008	B10	9.420.094	10.953.598	158.557,139	101.088,831	108.705,113	25.202,969	378.044,533	20.817.672,931
2009	B10	10.073.294	11.713.132	169.551,658	108.098,437	116.242,840	26.950,569	404.258,538	22.261.192,256
2010	B10	10.729.725	12.476.424	180.600,575	115.142,725	123.817,861	28.706,816	430.602,244	23.711.853,783
2011	B15	11.390.999	13.245.348	182.521,230	121.401,736	124.750,749	28.801,515	442.069,769	24.859.534,139
2012	B15	12.058.782	14.021.840	193.221,310	128.518,761	132.064,106	30.489,968	467.985,558	26.316.893,310
2013	B15	12.734.736	14.807.832	204.052,299	135.722,860	139.466,939	32.199,078	494.218,413	27.792.082,558
2014	B15	13.420.496	15.605.228	215.040,436	143.031,483	146.977,179	33.932,986	520.831,883	29.288.675,406
2015	B15	14.117.653	16.415.875	226.211,173	150.461,560	154.612,223	35.695,708	547.887,611	30.810.138,396
2016	B20	14.827.748	17.241.567	222.331,205	156.939,674	153.670,098	35.420,413	558.007,731	31.849.431,048
2017	B20	15.552.269	18.084.034	233.194,876	164.608,148	161.178,811	37.151,144	585.273,414	33.405.675,595
2018	B20	16.292.660	18.944.953	244.296,486	172.444,579	168.851,983	38.919,783	613.136,279	34.996.005,542
2019	B20	17.050.318	19.825.951	255.657,017	180.463,776	176.704,114	40.729,672	641.648,983	36.623.426,359
2020	B20	17.826.608	20.728.614	267.296,919	188.680,178	184.749,341	42.584,068	670.862,855	38.290.867,780
2021	B20	18.622.867	21.654.497	279.236,245	197.107,937	193.001,522	44.486,166	700.828,221	40.001.202,274
2022	B20	19.440.408	22.605.125	291.494,659	205.760,936	201.474,249	46.439,100	731.594,437	41.757.246,892
2023	B20	20.280.529	23.582.011	304.091,672	214.652,945	210.181,008	48.445,977	763.210,470	43.561.796,519
2024	B20	21.144.521	24.586.652	317.046,587	223.797,591	219.135,141	50.509,873	795.724,768	45.417.616,483
2025	B20	22.033.670	25.620.547	330.378,735	233.208,519	228.350,008	52.633,867	829.185,845	47.327.475,808
Total		326.038.368	379.114.381	5.125.271,041	3.468.997,107	3.529.561,978	811.903,016	12.575.298,529	709.119.316,163

3.2.2 Pemilihan kategori dampak

Kategori dampak yang dipilih adalah kategori dampak dasar / *baseline impact categories* berdasarkan ketersediaan metode karakterisasi, dan kelompok ini merupakan dampak yang paling umum dipilih dalam LCA.

Kategori dampak dasar / *baseline impact categories*, terdiri atas sebelas kategori 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 air tawar/*freshwater aquatic ecotoxicity*,
- dampak bahan beracun pada ekosistem air laut/*marine aquatic ecotoxicity*,
- dampak bahan beracun pada ekosistem terestrial/*terrestrial ecotoxicity*,
- pembentukan *photo-oxidant*,
- pengasaman/*acidification*, dan
- *eutrophication*.

3.2.3 Pemilihan metode karakterisasi: indikator kategori, model karakterisasi, dan faktor karakterisasi

Metode karakterisasi yang dipilih adalah metode karakterisasi dasar yang dikembangkan oleh Guinee et al. (2001) yang digunakan pada semua kategori pada *baseline impact categories*, kecuali untuk dampak pengasaman/*acidification* yang menggunakan metode alternatif berkaitan dengan kurang sesuainya metode/faktor karakterisasi *baseline* yang merupakan *average European AP*. Metode alternatif memberikan metode/faktor karakterisasi *generic AP*.

3.2.4 Klasifikasi

Pada tahap klasifikasi, hasil analisis inventori diklasifikasikan pada kategori dampak yang sesuai. Secara umum klasifikasi dampak input/ouput hasil inventarisasi adalah diberikan pada tabel berikut :

Tabel 3.54 Klasifikasi Kategori Dampak Terhadap Seluruh Input Output dari LCA Biodiesel

No.	Kategori Dampak	1 Penipisan Smbr Daya Abiotik	2 Perubahan Iklim	3 Bahan Beracun pada Manusia	4 BB pd Ekosistem Air Tawar	5 BB pd Ekosistem Air Laut	6 BB pd Ekosistem Terrestrial	7 Pembentukan Photo-Oxidant	8 Pengasaman	9 Eutrofikasi	10 Penipisan Lap Ozon Stratosfer	11 Penggunaan Lahan
	Satuan / tahun	(kg antimony eq.)	(kg CO2 eq.)	(kg 1,4-DCB eq.)	(kg 1,4-DCB eq.)	(kg 1,4-DCB eq.)	(kg 1,4-DCB eq.)	(kg C2H4 eq.)	(kg SO2 eq.)	(kg PO4 ³⁻ eq.)	(kg CFC-11 eq.)	(m2 yr.)
	Normalisasi	1,570E+11	3,860E+13	4,980E+13	2,030E+12	5,120E+14	2,680E+11	4,550E+10	2,990E+11	1,290E+11	5,150E+08	TBD
	(per kg)											
1	BBFosil (per MJ)	4,810E-04										
2	Listrik (per MJ)	4,810E-04										
3	S	3,580E-04										
4	P	8,440E-05										
5	Ca	7,080E-10										
6	K	3,130E-08										
7	Cl	4,860E-08										
8	Mg	3,730E-09										
9	B	4,670E-03										
10	Na	8,240E-11										
11	SO2			9,600E-02				4,800E-02	1,000E+00			
12	NOx			1,200E+00				2,800E-02	7,000E-01	1,300E-01		
13	HC		2,100E+01					6,000E-03				
14	PM											
15	CO							2,700E-02				
16	CO2		1,000E+00									
17	N2O		3,100E+02									
18	NMVOG											
19	Glyphosate			1,500E-02	9,200E-01	2,800E-03	9,600E-02					
20	Methanol							1,400E-01				
21	CH4		2,100E+01					6,000E-03				
22	C2H6							1,230E-01				
23	C3H8							1,760E-01				
24	P								3,060E+00			
25	P2O5								1,340E+00			
26	NO2			1,200E+00				2,800E-02	7,000E-01	1,300E-01		
27	NO							-4,270E-01	1,070E+00	2,000E-01		
28	NH4									3,300E-01		
29	NH3									3,500E-01		
30	Metil Ester											
31	Steam (soft coal)	6,710E-03										
32	Listrik = 3,6 MJ/kWh											
33	BBFosil = 36,4 MJ/liter											
34	Steam = 2,72 MJ/kg (1,65 kg/m3; 133°C; 3 bar)											
35												

Berikut adalah hasil klasifikasi pada Unit Perkebunan :

Tabel 3. 55 Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari Perkebunan

		Input / Output	Dampak Potensial
Perkebunan	Input	Benih	-
		Pupuk N (dari amonium sulfat)	Penipisan Sumber Daya Abiotik <i>Eutrophication</i>
		Pupuk P (dari ground rock fosfat)	Penipisan Sumber Daya Abiotik <i>Eutrophication</i>
		Pupuk K (dari potasium klorida)	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Pupuk Mg (dari kieserite 26% MgO)	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Pupuk B	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Air	-
		Paraquat	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Glyphosate	Penipisan Sumber Daya Abiotik
			Dampak Bahan Beracun pada Manusia
	Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar		
	Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut		
	Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial <i>Eutrophication</i>		
	Diesel (ADO)	Penipisan Sumber Daya Abiotik	
	Listrik	Penipisan Sumber Daya Abiotik	
	Output	TBS	-
		Emisi CO ₂	Perubahan Iklim
		Emisi CO	Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>
		Emisi CH ₄	Perubahan Iklim
			Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>
Emisi NMVOC/NMHC		-	
Emisi NO ₂		Perubahan Iklim	
		Dampak Bahan Beracun pada Manusia	
		Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	
		Dampak Pengasaman/ <i>Acidification</i> <i>Eutrophication</i>	

Berikut adalah hasil klasifikasi pada Unit *CPO Mill* dan *Biodiesel Plant* :

Tabel 3. 56 Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari *CPO Mill*

		Input / Output	Dampak Potensial
CPO Mill	Input	TBS	-
		Air	-
		Diesel (ADO)	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Listrik	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Uap	-
	Output	CPO	-
		PKO	-
		POME (terbentuk CH ₄)	Perubahan Iklim
			Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>
		Fibre	-
		Shell	-
		Decanter Cake	Perubahan Iklim
			Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>
		EFB (penimbunan terbentuk CH ₄)	Penipisan Sumber Daya Abiotik
			Perubahan Iklim
			Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>
			Eutrophication
		Ash	Eutrophication
		Kernel	-
		Emisi Partikel	Dampak Bahan Beracun pada Manusia
		Emisi NO ₂	Perubahan Iklim
			Dampak Bahan Beracun pada Manusia
			Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>
			Dampak Pengasaman/ <i>Acidification</i>
			<i>Eutrophication</i>
	Emisi CO	Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	
Emisi CO ₂	Perubahan Iklim		

Tabel 3. 57 Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari *Biodiesel Plant*

		Input / Output	Dampak Potensial
Biodiesel Plant	Input	CPO	-
		Air	-
		Methanol	Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>
		Sodium Hidroksida	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Diesel (ADO)	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Listrik	Penipisan Sumber Daya Abiotik
	Output	Biodiesel (PME)	-
		Gliserol	-
		Air Limbah	Dampak Bahan Beracun pada Manusia
			Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar
			Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>
		Emisi CO ₂	Perubahan Iklim

Berikut hasil klasifikasi pada Unit *Blending Plant*, SPBU, dan Transportasi :

Tabel 3. 58 Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari *Blending Plant*

		Input / Output	Dampak Potensial
Blending Plant	Input	Biodiesel (PME)	-
		Diesel (ADO)	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Listrik	Penipisan Sumber Daya Abiotik
	Output	Biosolar	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		CO2	Perubahan Iklim

Tabel 3. 59 Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari SPBU

		Input / Output	Dampak Potensial
SPBU	Input	Biodiesel (PME)	-
		Diesel (ADO)	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		Listrik	Penipisan Sumber Daya Abiotik
	Output	Biosolar	Penipisan Sumber Daya Abiotik
		CO2	Perubahan Iklim

Tabel 3. 60 Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari Transportasi

		Input / Output	Dampak Potensial
Transportasi	Input	Biosolar	-
		Output	SO2
	NOx		Dampak Bahan Beracun pada Manusia Pembentukan Photo-Oxidant Pengasaman Eutrofikasi
	HC		Perubahan Iklim Pembentukan Photo-Oxidant
	PM		-
	CO		Pembentukan Photo-Oxidant
	CO2		Perubahan Iklim

3.2.5 Karakterisasi

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.

3.2.6 Pengukuran Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa penggunaan sumber daya alam yang mempengaruhi dampak ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.61 Input yang Mempengaruhi Dampak Penipisan Sumber Daya Alam

Unit	Input/Output
Perkebunan	Pupuk N (dari amonium sulfat)
	Pupuk P (dari ground <i>rock fosfat</i>)
	Pupuk K (dari potasium klorida)
	Pupuk Mg (dari kieserite 26% MgO)
	Pupuk B
	Paraquat
	<i>Glyphosate</i>
<i>Mill CPO</i>	Diesel
Pabrik Biodiesel	Diesel
	Sodium Hidroksida
<i>Blending Plant</i>	Diesel
	Listrik
	ADO
SPBU	Diesel
	Listrik
Transportasi	-

Abiotic depletion dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$abiotic\ depletion = \sum_i ADP_i \times m_i \quad (3.2)$$

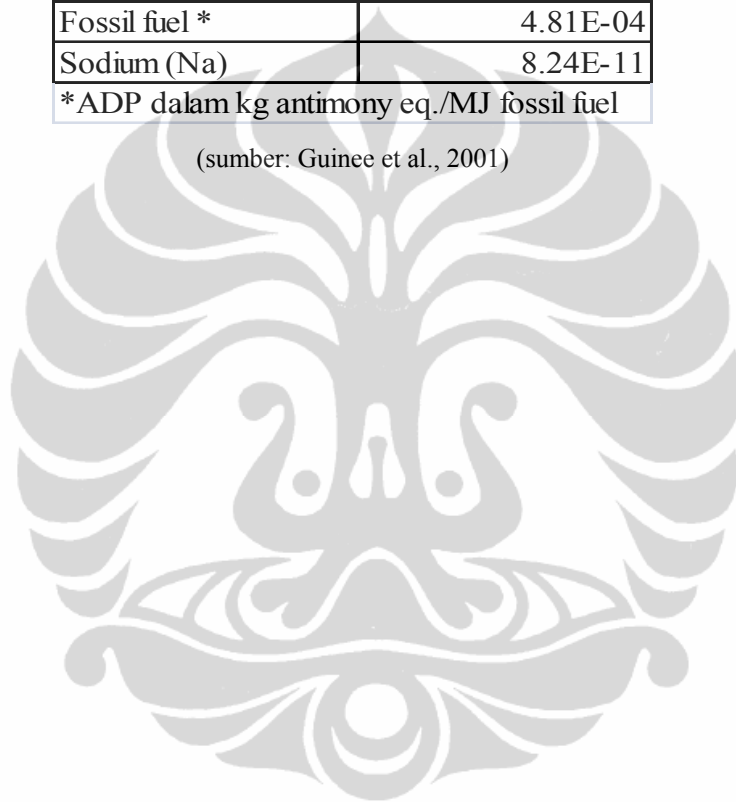
dengan satuan kg dari sumber referensi yaitu antimony. ADP_i adalah *abiotic depletion potential* dari sumber i sedangkan m_i adalah kuantitas (dalam kg) dari sumber alam i yang digunakan (kecuali untuk gas alam dan bahan bakar fosil).

Tabel 3.62 Faktor ADP berdasarkan cadangan terakhir dan tingkat ekstraksi

Sumber daya alam	ADP (dalam kg antimony eq./kg)
Sulfur (S)	3.58E-04
Fosforus (P)	8.44E-05
Kalsium (Ca)	7.08E-10
Kalium/Potassium (K)	3.13E-08
Klorin (Cl)	4.86E-08
Magnesium (Mg)	3.73E-09
Boron (B)	4.67E-03
Fossil fuel *	4.81E-04
Sodium (Na)	8.24E-11

*ADP dalam kg antimony eq./MJ fossil fuel

(sumber: Guinee et al., 2001)



Langkah selanjutnya adalah perhitungan m_i sebagai input kuantitas (dalam kg) dari sumber alam i yang digunakan. Tabel di bawah ini menggambarkan faktor konversi yang dibutuhkan untuk mendapatkan kuantitas unsur yang diekstraksi dari alam.

Tabel 3. 63 Persentase Perhitungan % Unsur per Massa Input

		(khusus untuk pupuk) Dari data tabel pupuk anorganik		Unsur	(khusus untuk pupuk)	% unsur (dari perbandingan massa molar unsur dan oksida pada hara)	% unsur (dari perbandingan massa molar unsur dari input)	% unsur dari massa input
		Kandungan Hara						
Perkebunan	Pupuk N (dari amonium sulfat)	S	24%	S		24.27%	24.27%	
	Pupuk P (dari ground rock fosfat)	P2O5	34%	P	43.64%		14.84%	
		CaO	35%	Ca	71.47%		25.01%	
	Pupuk K (dari potasium klorida)	K2O	60%	K	83.02%		49.81%	
		Cl	50%	Cl			50%	
	Pupuk Mg (dari kieserite 26% MgO)	MgO	26%	Mg	60.31%		15.68%	
	Pupuk B	B	22%	B			22%	
	Paraquat			Cl			27.57%	27.57%
<i>Glyphosate</i>			P			18.32%	18.32%	
Pabrik Biodiesel	Sodium Hidroksida			Na		57.48%	57.48%	

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

Pupuk memiliki kandungan hara dalam bentuk unsur oksida. Untuk pupuk yang memiliki kandungan berbentuk hara langsung, dapat dilakukan dua cara untuk menghitung persentase unsur dari total input yang dalam tabel input dan output

- Menggunakan langsung persentase kandungan hara tabel pupuk anorganik bila hara merupakan unsur (seperti perhitungan unsur S dari pupuk amonium sulfat, Cl dari pupuk potassium klorida dan B dari pupuk *sodium borate decahydrate* (borax).
- Melakukan perhitungan persentase kandungan hara dari massa input pupuk awal dengan cara melakukan operasi perkalian antara % hara (dalam oksida) dan % unsur dalam oksida.

Dalam perhitungan pupuk, juga diberlakukan untuk memilih kondisi yang terburuk agar perhitungan dalam model ini dapat mengakomodasi kemungkinan terburuk. Hal ini ditunjukkan seperti dalam perhitungan persentase hara P_2O_5 dalam pupuk potassium klorida dan penentuan pupuk hara B yang digunakan (hal ini disebabkan karena tidak adanya informasi yang lengkap mengenai pupuk apa yang digunakan untuk hara boron).

Untuk kandungan unsur yang terdapat pada paraquat, *glyphosate*, dan natrium hidroksida, dilakukan perhitungan persentase % massa antara unsur dan molekul sesuai perbandingan mol yang ditunjukkan dari rumus kimia.

Untuk perhitungan bahan bakar fosil, pada dampak penipisan sumber daya abiotik, input bahan bakar fosil ditunjukkan dengan besar energi per literanya yaitu 36.4 MJ/liter.

Setelah didapatkan kuantitas ekstraksi (dalam hal ini adalah unsur sulfur, fosforus, kalsium, potassium, klorin, magnesium, boron, dan natrium, serta besarnya energy dari bahan bakar fosil), dilakukan pengelompokan untuk dapat mendapatkan total unsur yang diekstraksi. Hal ini dilakukan karena ada kemungkinan lebih dari satu input yang menggunakan unsur yang sama.

Tabel 3. 64 Pengelompokan Input Berdasarkan Unsur yang Sama

Unsur	Input
Sulfur (S)	Pupuk N (dari amonium sulfat)
Phosphorus (P)	Pupuk P (dari ground rock fosfat)
	<i>Glyphosate</i>
Calcium (Ca)	Pupuk P (dari ground rock fosfat)
Kalium/Potassium (K)	Pupuk K (dari potasium klorida)
Chlorine (Cl)	Pupuk K (dari potasium klorida)
	Paraquat
Magnesium (Mg)	Pupuk Mg (dari kieserite 26% MgO)
Boron (B)	Pupuk B
Fossil fuel	Diesel
Sodium (Na)	Sodium Hidroksida

Berdasarkan tabel di atas, terlihat bahwa untuk dapat menghitung unsur S yang diekstraksi, digunakan input pupuk N (dari amonium sulfat) dengan faktor % unsur dari massa input, yang sudah disediakan pada tabel sebelumnya. Sedangkan untuk perhitungan unsur P yang diekstraksi, digunakan input pupuk P dan juga *glyphosate*, yang masing-masing juga dikalikan dengan faktor % unsur dari massa input, yang sudah disediakan pada tabel sebelumnya. Hal ini juga berlaku untuk seluruh unsur dan bahan bakar fosil pada tabel di atas. Dengan demikian, *abiotic depletion* dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sudah tersedia di atas.

Tabel pada halaman berikut, menunjukkan hasil perhitungan dampak penipisan sumber daya abiotik dari unit bisnis perkebunan.

Tabel 3. 65 Perhitungan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik dari Unit Perkebunan

Tahun	Perkebunan Kelapa Sawit								
	Kuantitas Mineral dan Bahan Bakar Fosil								Abiotic Depletion (kg antimony eq)
	Sulfur (S) (kg)	Fosforus (P) (kg)	Kalsium (Ca) (kg)	Kalium (K) (kg)	Klorin (Cl) (kg)	Mgnsn (Mg) (kg)	Boron (B) (kg)	BB Fosil (MJ)	
2000	3.830.360	1.881.800	3.171.417	18.619.866	18.690.891	1.955.389	132.683	11.200.645	7,539E+03
2001	4.936.744	2.771.045	4.670.070	20.909.456	20.989.215	2.227.001	138.092	11.657.030	8,255E+03
2002	6.177.940	3.745.791	6.312.820	23.203.264	23.291.773	2.568.569	145.182	12.255.749	9,103E+03
2003	5.083.716	3.580.942	6.034.997	17.249.702	17.315.501	2.182.708	115.801	13.563.824	9,189E+03
2004	4.735.077	3.928.148	6.620.147	16.223.117	16.285.000	2.546.432	142.560	15.448.157	1,012E+04
2005	10.541.121	7.244.058	12.208.483	46.972.433	47.151.609	6.264.851	405.657	38.849.579	2,497E+04
2006	11.074.977	8.203.991	13.826.268	49.884.154	50.074.437	7.100.368	463.967	42.211.856	2,713E+04
2007	10.747.614	7.956.715	13.409.531	51.687.854	51.885.017	7.503.927	506.709	45.596.910	2,882E+04
2008	10.406.976	7.645.568	12.885.152	55.587.960	55.800.000	8.078.336	570.240	48.984.490	3,060E+04
2009	12.262.376	8.550.701	14.410.581	64.781.804	65.028.914	9.034.702	638.115	52.381.126	3,329E+04
2010	14.451.487	9.107.884	15.349.608	74.666.013	74.950.826	9.623.425	678.550	55.794.568	3,595E+04
2011	26.546.366	14.503.841	24.443.468	133.273.798	133.782.170	15.324.814	1.070.128	88.849.794	5,847E+04
2012	29.684.917	15.387.913	25.876.401	147.533.561	148.121.778	16.223.189	1.131.830	94.058.503	6,247E+04
2013	31.971.122	16.249.981	27.326.929	158.322.099	158.952.506	17.132.597	1.194.289	99.330.937	6,619E+04
2014	34.282.872	17.124.957	28.798.487	169.236.284	169.909.683	18.055.189	1.257.654	104.679.869	6,996E+04
2015	36.274.850	18.016.589	30.294.508	176.730.233	177.435.190	18.993.118	1.322.072	110.117.690	7,366E+04
2016	50.484.847	25.219.662	42.424.328	244.929.906	245.899.292	26.597.899	1.844.379	154.208.575	1,030E+05
2017	52.303.932	26.520.352	44.497.298	251.617.246	252.665.315	27.897.546	1.933.640	161.743.600	1,078E+05
2018	54.352.847	27.787.437	46.615.618	260.000.105	261.087.790	29.225.625	2.024.854	169.443.660	1,128E+05
2019	56.461.887	29.083.961	48.783.435	266.556.797	267.677.185	30.246.049	2.023.160	177.323.306	1,174E+05
2020	58.460.827	30.412.070	51.004.470	272.006.887	273.155.761	31.299.836	2.023.757	185.396.724	1,221E+05
2021	61.228.252	31.774.160	53.282.727	282.789.835	283.987.558	32.276.604	1.995.138	193.677.821	1,271E+05
2022	64.069.530	33.172.377	55.621.784	294.643.348	295.894.043	33.404.386	2.000.817	202.180.238	1,324E+05
2023	66.989.355	34.698.473	58.025.502	306.883.205	308.255.698	34.572.708	2.009.281	210.917.506	1,378E+05
2024	69.992.155	36.181.012	60.497.531	318.823.897	320.253.774	35.670.960	1.989.005	219.903.015	1,432E+05
2025	73.082.364	37.706.440	63.041.517	334.023.731	335.523.568	37.265.910	2.098.549	229.150.172	1,494E+05
Total	860.434.509	458.455.868	769.433.077	4.057.156.555	4.074.064.494	463.272.140	29.856.111	2.748.925.346	1,809E+06

Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak penipisan sumber daya abiotik dari unit bisnis *mill CPO*.

Tabel 3. 66 Perhitungan Dampak Penipisan S.D. Abiotik dari Unit *Mill CPO*

Pabrik CPO					
Kuantitas Mineral dan Bahan Bakar Fosil					Abiotic Depletion (kg antimony eq)
Fosforus (P) (kg)	Kalium (K) (kg)	Mgnsn (Mg) (kg)	BB Fosil (MJ)	Listrik Fosil (MJ)	
495.853	4.834.564	867.742	32.001.843	68.839.129	1,703E+05
516.057	5.031.555	903.100	33.305.801	71.644.073	1,709E+05
542.562	5.289.981	949.484	35.016.424	75.323.792	1,717E+05
600.471	5.854.589	1.050.824	38.753.783	83.363.221	1,735E+05
683.890	6.667.929	1.196.808	44.137.592	94.944.326	1,761E+05
1.719.871	16.768.747	3.009.775	110.998.796	238.769.389	2,084E+05
1.868.720	18.220.016	3.270.259	120.605.304	259.433.937	2,130E+05
2.018.576	19.681.115	3.532.508	130.276.886	280.238.466	2,177E+05
2.168.544	21.143.305	3.794.952	139.955.686	301.058.523	2,224E+05
2.318.913	22.609.405	4.058.098	149.660.361	321.934.238	2,270E+05
2.470.026	24.082.757	4.322.546	159.413.052	342.913.241	2,317E+05
3.933.382	38.350.472	6.883.418	253.856.555	546.070.557	2,773E+05
4.163.971	40.598.721	7.286.950	268.738.579	578.083.262	2,845E+05
4.397.382	42.874.476	7.695.419	283.802.677	610.487.627	2,917E+05
4.634.179	45.183.250	8.109.814	299.085.341	643.362.149	2,991E+05
4.874.912	47.530.390	8.531.096	314.621.970	676.782.974	3,066E+05
6.826.816	66.561.456	11.946.928	440.595.929	947.765.419	3,674E+05
7.160.392	69.813.819	12.530.686	462.124.572	994.075.658	3,777E+05
7.501.273	73.137.416	13.127.229	484.124.742	1.041.400.200	3,883E+05
7.850.106	76.538.529	13.737.685	506.638.016	1.089.828.480	3,992E+05
8.207.516	80.023.280	14.363.153	529.704.925	1.139.447.681	4,103E+05
8.574.120	83.597.672	15.004.710	553.365.203	1.190.343.281	4,217E+05
8.950.522	87.267.593	15.663.414	577.657.823	1.242.599.108	4,335E+05
9.337.321	91.038.883	16.340.312	602.621.447	1.296.298.332	4,455E+05
9.735.110	94.917.322	17.036.442	628.294.330	1.351.523.243	4,579E+05
10.144.482	98.908.697	17.752.843	654.714.778	1.408.356.240	4,706E+05
121.694.968	1.186.525.940	212.966.194	7.854.072.418	16.894.886.547	7,814E+06

Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak penipisan sumber daya abiotik dari unit bisnis pabrik biodiesel.

Tabel 3.67 Perhitungan Dampak P.S.D. Abiotik dari unit Pabrik Biodiesel

Pabrik Biodiesel			
Kuantitas Mineral dan Bahan Bakar Fosil			<i>Abiotic Depletion</i> (kg antimony eq)
Sodium (Na) (kg)	BB Fosil (MJ)	Listrik Fosil (MJ)	
742.861	274.415.802	3.877.146	1,339E+05
773.130	285.597.247	4.035.126	1,393E+05
812.839	300.265.839	4.242.374	1,465E+05
899.595	332.313.693	4.695.170	1,621E+05
1.024.569	378.479.854	5.347.439	1,846E+05
2.576.624	951.814.680	13.447.931	4,643E+05
2.799.620	1.034.190.483	14.611.796	5,045E+05
3.024.127	1.117.124.295	15.783.546	5,449E+05
3.248.802	1.200.120.011	16.956.170	5,854E+05
3.474.077	1.283.337.594	18.131.928	6,260E+05
3.700.467	1.366.966.919	19.313.504	6,668E+05
5.892.792	2.176.819.962	30.755.698	1,062E+06
6.238.249	2.304.433.317	32.558.712	1,124E+06
6.587.933	2.433.607.958	34.383.786	1,187E+06
6.942.691	2.564.656.801	36.235.339	1,251E+06
7.303.344	2.697.883.393	38.117.662	1,316E+06
10.227.587	3.778.110.094	53.379.891	1,843E+06
10.727.333	3.962.718.202	55.988.169	1,933E+06
11.238.025	4.151.369.661	58.653.574	2,025E+06
11.760.627	4.344.420.991	61.381.144	2,119E+06
12.296.081	4.542.219.729	64.175.789	2,216E+06
12.845.309	4.745.106.619	67.042.323	2,315E+06
13.409.215	4.953.415.831	69.985.467	2,416E+06
13.988.698	5.167.478.906	73.009.906	2,521E+06
14.584.645	5.387.623.879	76.120.275	2,628E+06
15.197.945	5.614.179.223	79.321.214	2,739E+06
182.317.187	67.348.670.983	951.551.081	3,285E+07

Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak penipisan sumber daya abiotik dari unit bisnis blending plant.

Tabel 3.68 Perhitungan Dampak P.S.D. Abiotik dari unit Blending Plant

Blending Plant (Pool PTM)			
ADO	Kuantitas BB Fosil		Abiotic Depletion (kg antimony eq)
	BB Fosil	Listrik Fosil	
(MJ)	(MJ)	(MJ)	
175.257.150.989	2.352.135.447	124.068.683	8,549E+07
182.398.241.566	2.447.976.400	129.124.030	8,897E+07
191.766.418.394	2.573.707.194	135.755.984	9,354E+07
212.233.955.067	2.848.403.081	150.245.437	1,035E+08
241.718.225.926	3.244.113.032	171.118.050	1,179E+08
287.943.936.751	4.079.205.771	215.166.898	1,406E+08
312.864.347.732	4.432.244.926	233.788.743	1,527E+08
337.953.568.295	4.787.675.551	252.536.732	1,650E+08
363.061.516.015	5.143.371.477	271.298.715	1,772E+08
388.236.583.194	5.500.018.262	290.110.853	1,895E+08
413.536.210.831	5.858.429.653	309.016.070	2,019E+08
414.632.373.792	6.219.485.607	328.060.779	2,026E+08
438.939.679.360	6.584.095.190	347.292.933	2,145E+08
463.544.372.928	6.953.165.594	366.760.383	2,265E+08
488.506.057.312	7.327.590.860	386.510.287	2,387E+08
513.882.551.000	7.708.238.265	406.588.392	2,511E+08
507.981.189.052	8.095.950.201	427.039.131	2,484E+08
532.802.447.375	8.491.539.005	447.905.354	2,606E+08
558.167.349.376	8.895.792.131	469.228.596	2,730E+08
584.123.830.686	9.309.473.552	491.049.154	2,857E+08
610.718.618.970	9.733.327.990	513.406.312	2,987E+08
637.997.528.553	10.168.085.611	536.338.582	3,120E+08
666.005.489.882	10.614.462.495	559.883.736	3,257E+08
694.787.079.853	11.073.169.085	584.079.248	3,398E+08
724.386.403.960	11.544.908.313	608.962.197	3,543E+08
754.847.626.624	12.030.384.049	634.569.708	3,692E+08
11.698.292.753.484	178.016.948.742	9.389.904.989	5,717E+09

Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak penipisan sumber daya abiotik dari unit bisnis SPBU.

Tabel 3.69 Perhitungan Dampak P.S.D. Abiotik dari unit SBPU

SPBU		
Kuantitas BB Fosil		<i>Abiotic Depletion</i> (kg antimony eq)
BB Fosil (MJ)	Listrik Fosil (MJ)	
313.618.060	77.542.927	1,881E+05
326.396.853	80.702.519	1,958E+05
343.160.959	84.847.490	2,059E+05
379.787.077	93.903.398	2,278E+05
432.548.404	106.948.781	2,595E+05
543.894.103	134.479.311	3,263E+05
590.965.990	146.117.965	3,545E+05
638.356.740	157.835.458	3,830E+05
685.782.864	169.561.697	4,114E+05
733.335.768	181.319.283	4,399E+05
781.123.954	193.135.044	4,686E+05
829.264.748	205.037.987	4,975E+05
877.879.359	217.058.083	5,267E+05
927.088.746	229.225.239	5,562E+05
977.012.115	241.568.929	5,861E+05
1.027.765.102	254.117.745	6,166E+05
1.079.460.027	266.899.457	6,476E+05
1.132.205.201	279.940.846	6,792E+05
1.186.105.617	293.267.872	7,116E+05
1.241.263.140	306.905.721	7,447E+05
1.297.777.065	320.878.945	7,786E+05
1.355.744.748	335.211.614	8,134E+05
1.415.261.666	349.927.335	8,491E+05
1.476.422.545	365.049.530	8,857E+05
1.539.321.108	380.601.373	9,235E+05
1.604.051.207	396.606.068	9,623E+05
23.735.593.166	5.868.690.618	1,424E+07

Dari perhitungan ketiga tabel di atas, berikut merupakan tabel hasil rekapitulasi total dampak penipisan sumber daya abiotik.

Tabel 3.71 Perhitungan Total Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik

Tahun	Dampak 1 - Penipisan Sumber Daya Abiotik						
	<i>(Abiotic Depletion)</i>						
	(dalam kg antimony eq.)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	7,539E+03	1,703E+05	1,339E+05	8,549E+07	1,881E+05	0,000E+00	8,599E+07
2001	8,255E+03	1,709E+05	1,393E+05	8,897E+07	1,958E+05	0,000E+00	8,949E+07
2002	9,103E+03	1,717E+05	1,465E+05	9,354E+07	2,059E+05	0,000E+00	9,408E+07
2003	9,189E+03	1,735E+05	1,621E+05	1,035E+08	2,278E+05	0,000E+00	1,041E+08
2004	1,012E+04	1,761E+05	1,846E+05	1,179E+08	2,595E+05	0,000E+00	1,185E+08
2005	2,497E+04	2,084E+05	4,643E+05	1,406E+08	3,263E+05	0,000E+00	1,416E+08
2006	2,713E+04	2,130E+05	5,045E+05	1,527E+08	3,545E+05	0,000E+00	1,538E+08
2007	2,882E+04	2,177E+05	5,449E+05	1,650E+08	3,830E+05	0,000E+00	1,662E+08
2008	3,060E+04	2,224E+05	5,854E+05	1,772E+08	4,114E+05	0,000E+00	1,785E+08
2009	3,329E+04	2,270E+05	6,260E+05	1,895E+08	4,399E+05	0,000E+00	1,909E+08
2010	3,595E+04	2,317E+05	6,668E+05	2,019E+08	4,686E+05	0,000E+00	2,033E+08
2011	5,847E+04	2,773E+05	1,062E+06	2,026E+08	4,975E+05	0,000E+00	2,045E+08
2012	6,247E+04	2,845E+05	1,124E+06	2,145E+08	5,267E+05	0,000E+00	2,165E+08
2013	6,619E+04	2,917E+05	1,187E+06	2,265E+08	5,562E+05	0,000E+00	2,286E+08
2014	6,996E+04	2,991E+05	1,251E+06	2,387E+08	5,861E+05	0,000E+00	2,409E+08
2015	7,366E+04	3,066E+05	1,316E+06	2,511E+08	6,166E+05	0,000E+00	2,534E+08
2016	1,030E+05	3,674E+05	1,843E+06	2,484E+08	6,476E+05	0,000E+00	2,514E+08
2017	1,078E+05	3,777E+05	1,933E+06	2,606E+08	6,792E+05	0,000E+00	2,637E+08
2018	1,128E+05	3,883E+05	2,025E+06	2,730E+08	7,116E+05	0,000E+00	2,762E+08
2019	1,174E+05	3,992E+05	2,119E+06	2,857E+08	7,447E+05	0,000E+00	2,891E+08
2020	1,221E+05	4,103E+05	2,216E+06	2,987E+08	7,786E+05	0,000E+00	3,022E+08
2021	1,271E+05	4,217E+05	2,315E+06	3,120E+08	8,134E+05	0,000E+00	3,157E+08
2022	1,324E+05	4,335E+05	2,416E+06	3,257E+08	8,491E+05	0,000E+00	3,296E+08
2023	1,378E+05	4,455E+05	2,521E+06	3,398E+08	8,857E+05	0,000E+00	3,438E+08
2024	1,432E+05	4,579E+05	2,628E+06	3,543E+08	9,235E+05	0,000E+00	3,584E+08
2025	1,494E+05	4,706E+05	2,739E+06	3,692E+08	9,623E+05	0,000E+00	3,735E+08
Total	1,809E+06	7,814E+06	3,285E+07	5,717E+09	1,424E+07	0,000E+00	5,774E+09

3.2.7 Pengukuran Dampak Perubahan Iklim

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak perubahan iklim dipengaruhi oleh emisi berikut ini:

Tabel 3.72 Output yang Mempengaruhi Dampak Perubahan Iklim

Unit	Output
Perkebunan	Emisi CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
<i>CPO Mill</i>	Emisi CO ₂
Pabrik Biodiesel	Emisi CO ₂
<i>Blending Plant</i>	Emisi CO ₂
SPBU	Emisi CO ₂
Transportasi	Emisi CO ₂ , HC

Perubahan iklim dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{climate change} = \sum_i \text{GWP}_{a,i} \times m_i \quad (3.3)$$

dengan satuan kg dari zat referensi yaitu CO₂. $\text{GWP}_{a,i}$ adalah *global warming potential* untuk zat i yang terintegrasikan selama a tahun, sedangkan m_i adalah kuantitas emisi yang dikeluarkan oleh zat i

Tabel 3.73 Faktor *Global Warming Potential*/GWP₁₀₀

Zat	Kompartemen	GWP ₁₀₀ (dalam kg CO ₂ eq/kg)
Karbon Dioksida	Udara	1
Metana	Udara	21
Dinitrogen Oksida	Udara	310

(sumber: Guinee et al., 2001)

Dari perhitungan ketiga tabel di atas, berikut merupakan tabel hasil rekapitulasi total dampak perubahan iklim.

Tabel 3.74 Perhitungan Total Dampak Perubahan Iklim

Tahun	Dampak 2- Perubahan Iklim						
	<i>(Climate Change)</i>						
	(dalam kg CO ₂ eq.)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	-8,235E+09	8,544E+08	5,428E+07	1,915E+08	3,632E+07	1,093E+10	3,835E+09
2001	2,251E+10	8,892E+08	5,649E+07	1,993E+08	3,780E+07	1,138E+10	3,507E+10
2002	2,386E+10	9,348E+08	5,939E+07	2,096E+08	3,974E+07	1,196E+10	3,706E+10
2003	5,305E+10	1,035E+09	6,573E+07	2,319E+08	4,398E+07	1,324E+10	6,767E+10
2004	3,031E+10	1,178E+09	7,486E+07	2,641E+08	5,009E+07	1,508E+10	4,696E+10
2005	3,807E+10	2,963E+09	1,883E+08	3,321E+08	6,299E+07	1,832E+10	5,994E+10
2006	1,017E+10	3,220E+09	2,046E+08	3,609E+08	6,844E+07	1,991E+10	3,394E+10
2007	7,455E+09	3,478E+09	2,210E+08	3,898E+08	7,393E+07	2,150E+10	3,312E+10
2008	6,588E+09	3,736E+09	2,374E+08	4,188E+08	7,942E+07	2,310E+10	3,416E+10
2009	5,824E+09	3,995E+09	2,538E+08	4,478E+08	8,493E+07	2,470E+10	3,531E+10
2010	6,699E+09	4,256E+09	2,704E+08	4,770E+08	9,046E+07	2,631E+10	3,810E+10
2011	1,843E+10	6,777E+09	4,306E+08	5,064E+08	9,604E+07	2,748E+10	5,372E+10
2012	2,037E+10	7,175E+09	4,558E+08	5,361E+08	1,017E+08	2,909E+10	5,773E+10
2013	2,234E+10	7,577E+09	4,814E+08	5,661E+08	1,074E+08	3,072E+10	6,179E+10
2014	2,434E+10	7,985E+09	5,073E+08	5,966E+08	1,131E+08	3,238E+10	6,591E+10
2015	2,655E+10	8,399E+09	5,336E+08	6,276E+08	1,190E+08	3,406E+10	7,028E+10
2016	4,250E+10	1,176E+10	7,473E+08	6,592E+08	1,250E+08	3,508E+10	9,087E+10
2017	4,560E+10	1,234E+10	7,838E+08	6,914E+08	1,311E+08	3,679E+10	9,633E+10
2018	4,870E+10	1,292E+10	8,212E+08	7,243E+08	1,374E+08	3,854E+10	1,018E+11
2019	5,186E+10	1,353E+10	8,593E+08	7,580E+08	1,438E+08	4,033E+10	1,075E+11
2020	5,509E+10	1,414E+10	8,985E+08	7,925E+08	1,503E+08	4,217E+10	1,132E+11
2021	5,850E+10	1,477E+10	9,386E+08	8,279E+08	1,570E+08	4,405E+10	1,192E+11
2022	6,205E+10	1,542E+10	9,798E+08	8,643E+08	1,639E+08	4,599E+10	1,255E+11
2023	6,569E+10	1,609E+10	1,022E+09	9,016E+08	1,710E+08	4,798E+10	1,318E+11
2024	6,942E+10	1,677E+10	1,066E+09	9,400E+08	1,783E+08	5,002E+10	1,384E+11
2025	7,317E+10	1,748E+10	1,110E+09	9,795E+08	1,858E+08	5,212E+10	1,450E+11
Total	8,809E+11	2,097E+11	1,332E+10	1,449E+10	2,749E+09	7,832E+11	1,904E+12

3.2.8 Pengukuran Dampak Bahan Beracun pada Manusia

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak bahan beracun pada manusia disebabkan oleh

Tabel 3.75 I/O yang Mempengaruhi Dampak Bahan Beracun pada Manusia

nit	Output
Perkebunan	Emisi Glyphosat, N2O
<i>CPO Mill</i>	Emisi CO2
Pabrik Biodiesel	Emisi CO2
<i>Blending Plant</i>	Emisi CO2
SPBU	Emisi CO2
Transportasi	Emisi CO2, HC

Pengukuran dampak bahan beracun pada manusia dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$human\ toxicity = \sum_i \sum_{ecom} HTP_{ecom,i} \times m_{ecom,i} \quad (3.4)$$

Hasil dari perhitungan ditunjukkan dalam satuan kg 1,4-dichlorobenzene equivalent. $HTP_{ecom,i}$ adalah *human toxicity potential* untuk zat i yang dilepaskan ke kompartemen emisi ($ecom$), yaitu udara, air tawar, air laut, tanah pertanian, atau tanah industri, dengan $m_{ecom,i}$ adalah emisi zat i pada media $ecom$.

Pada pengukuran dampak ini, ditentukan pula media kompartemen dari zat yang dapat membahayakan manusia. *Glyphosate* merupakan herbisida yang akan berdampak pada tanah pertanian, sedangkan emisi NO_2 dilepaskan ke udara.

Tabel 3.76 Faktor *Human Toxicity Potential* untuk Jangka Waktu Tak Terbatas

Zat	Media kompartemen	HTP (inf)- (dalam 1,4-DCB eq/kg)
<i>Glyphosate</i>	Tanah Pertanian	0.015
NO_2	Udara	1.2

(sumber: Guinee et al., 2001)

Berikut merupakan hasil rekapitulasi perhitungan dampak zat beracun pada manusia

Tabel 3.4 Perhitungan Total Dampak Bahan Beracun pada Manusia

Tahun	Dampak 3- Dampak Bahan Beracun pada Manusia						
	<i>(Human Toxicity)</i>						
	(dalam kg 1,4-DCB eq.)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	9,497E+05	8,176E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,324E+07	6,501E+07
2001	1,223E+06	8,509E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,582E+07	6,789E+07
2002	1,530E+06	8,947E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,920E+07	7,162E+07
2003	1,260E+06	9,901E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,658E+07	7,884E+07
2004	1,174E+06	1,128E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,722E+07	8,953E+07
2005	2,616E+06	2,836E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,083E+08	1,137E+08
2006	2,748E+06	3,081E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,177E+08	1,235E+08
2007	2,668E+06	3,329E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,271E+08	1,331E+08
2008	2,585E+06	3,576E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,365E+08	1,427E+08
2009	3,044E+06	3,824E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,460E+08	1,529E+08
2010	3,586E+06	4,073E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,555E+08	1,632E+08
2011	6,585E+06	6,486E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,632E+08	1,763E+08
2012	7,362E+06	6,866E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,728E+08	1,870E+08
2013	7,928E+06	7,251E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,825E+08	1,976E+08
2014	8,501E+06	7,641E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,923E+08	2,084E+08
2015	8,995E+06	8,038E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,023E+08	2,193E+08
2016	1,252E+07	1,126E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,097E+08	2,334E+08
2017	1,297E+07	1,181E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,199E+08	2,447E+08
2018	1,348E+07	1,237E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,304E+08	2,562E+08
2019	1,400E+07	1,294E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,411E+08	2,680E+08
2020	1,450E+07	1,353E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,521E+08	2,801E+08
2021	1,518E+07	1,414E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,633E+08	2,927E+08
2022	1,589E+07	1,476E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,749E+08	3,055E+08
2023	1,661E+07	1,540E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,868E+08	3,188E+08
2024	1,736E+07	1,605E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,990E+08	3,324E+08
2025	1,812E+07	1,673E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,116E+08	3,464E+08
	2,134E+08	2,007E+08	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,655E+09	5,069E+09

3.2.9 Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Air Tawar

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar adalah *glyphosate* sebagai input pada perkebunan. Pengukuran dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{fresh water ecotoxicity} = \sum_i \sum_{ecom} FAETP_{ecom,i} \times m_{ecom,i} \quad (3.5)$$

Hasil perhitungan ditunjukkan dalam satuan kg 1,4-dichlorobenzene equivalent. $FAETP_{ecom,i}$ adalah *fresh water aquatic ecotoxicity potential* untuk zat i yang dilepaskan ke kompartemen emisi ($ecom$), yaitu udara, air tawar, air laut, tanah pertanian, atau tanah industri, dengan $m_{ecom,i}$ adalah emisi zat i pada media $ecom$.

Penggunaan *glyphosate* sebagai herbisida akan berdampak pada tanah pertanian. Oleh karena itu ditentukan media kompartemen untuk *glyphosate* adalah tanah pertanian.

Tabel 3.78 Faktor *FAETP* untuk jangka waktu tak terbatas

Zat	Media kompartemen	FAETP (inf)- (dalam 1,4-DCB eq/kg)
<i>Glyphosate</i>	Tanah Pertanian	9.20E-01

(sumber: Guinee et al., 2001)

Tabel berikut menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar

Tabel 3.79 Perhitungan Total Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar

Tahun	Dampak 4- Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar						
	<i>(Fresh water Aquatic Exotoxicity)</i>						
	(dalam kg 1,4-DCB eq.)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	1,699E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,699E+05
2001	1,768E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,768E+05
2002	1,859E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,859E+05
2003	2,057E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,057E+05
2004	2,343E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,343E+05
2005	5,891E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,891E+05
2006	6,401E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,401E+05
2007	6,915E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,915E+05
2008	7,428E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,428E+05
2009	7,944E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,944E+05
2010	8,461E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,461E+05
2011	1,347E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,347E+06
2012	1,426E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,426E+06
2013	1,506E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,506E+06
2014	1,587E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,587E+06
2015	1,670E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,670E+06
2016	2,339E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,339E+06
2017	2,453E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,453E+06
2018	2,570E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,570E+06
2019	2,689E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,689E+06
2020	2,812E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,812E+06
2021	2,937E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,937E+06
2022	3,066E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,066E+06
2023	3,199E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,199E+06
2024	3,335E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,335E+06
2025	3,475E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,475E+06
	4,169E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,169E+07

3.2.10 Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Air Laut

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak bahan beracun pada ekosistem air laut adalah *glyphosate* sebagai input pada perkebunan. Pengukuran dampak bahan beracun pada ekosistem air laut dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{marine aquatic ecotoxicity} = \sum_i \sum_{ecom} MAETP_{ecom,i} \times m_{ecom,i} \quad (3.6)$$

Hasil perhitungan ditunjukkan dalam satuan kg 1,4-dichlorobenzene equivalent. $MAETP_{ecom,i}$ adalah *marine aquatic ecotoxicity potential* untuk zat i yang dilepaskan ke kompartemen emisi ($ecom$), yaitu udara, air tawar, air laut, tanah pertanian, atau tanah industri, dengan $m_{ecom,i}$ adalah emisi zat i pada media $ecom$.

Penggunaan *glyphosate* sebagai herbisida akan berdampak pada tanah pertanian. Oleh karena itu ditentukan media kompartemen untuk *glyphosate* adalah tanah pertanian.

Tabel 3.80 Faktor MAETP untuk jangka waktu tak terbatas

Zat	Media kompartemen	MAETP (inf)- (dalam 1,4-DCB eq/kg)
<i>Glyphosate</i>	Tanah Pertanian	2.80E-03

(sumber: Guinee et al., 2001)

Tabel berikut menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan dampak bahan beracun pada ekosistem air laut

Tabel 3.81 Perhitungan Total Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut

Tahun	Dampak 5- Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut						
	<i>(Marine Aquatic Exotoxicity)</i>						
	(dalam kg 1,4-DCB eq.)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	5,170E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,170E+02
2001	5,380E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,380E+02
2002	5,656E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,656E+02
2003	6,260E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,260E+02
2004	7,130E+02	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,130E+02
2005	1,793E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,793E+03
2006	1,948E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,948E+03
2007	2,104E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,104E+03
2008	2,261E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,261E+03
2009	2,418E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,418E+03
2010	2,575E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,575E+03
2011	4,101E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,101E+03
2012	4,341E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,341E+03
2013	4,585E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,585E+03
2014	4,831E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,831E+03
2015	5,082E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	5,082E+03
2016	7,117E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,117E+03
2017	7,465E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,465E+03
2018	7,820E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,820E+03
2019	8,184E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,184E+03
2020	8,557E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,557E+03
2021	8,939E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,939E+03
2022	9,331E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	9,331E+03
2023	9,735E+03	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	9,735E+03
2024	1,015E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,015E+04
2025	1,058E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,058E+04
	1,269E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,269E+05

3.2.11 Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Terrestrial

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak bahan beracun pada ekosistem terrestrial adalah *glyphosate* sebagai input pada perkebunan. Pengukuran dampak bahan beracun pada ekosistem terrestrial dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{terrestrial ecotoxicity} = \sum_i \sum_{ecom} TETP_{ecom,i} \times m_{ecom,i} \quad (3.7)$$

Hasil perhitungan ditunjukkan dalam satuan kg 1,4-dichlorobenzene equivalent. $TETP_{ecom,i}$ adalah *terrestrial ecotoxicity potential* untuk zat i yang dilepaskan ke kompartemen emisi ($ecom$), yaitu udara, air tawar, air laut, tanah pertanian, atau tanah industri, dengan $m_{ecom,i}$ adalah emisi zat i pada media $ecom$.

Penggunaan *glyphosate* sebagai herbisida akan berdampak pada tanah pertanian. Oleh karena itu ditentukan media kompartemen untuk *glyphosate* adalah tanah pertanian.

Tabel 3.82 Faktor TETP untuk Jangka Waktu Tidak Terbatas

Zat	Media kompartemen	TETP (inf)- (dalam 1,4-DCB eq/kg)
<i>Glyphosate</i>	Tanah Pertanian	9.60E-02

(sumber: Guinee et al., 2001)

Berikut merupakan hasil rekapitulasi perhitungan dampak zat beracun pada ekosistem terestrial.

Tabel 3.83 Perhitungan Total Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terestrial

Tahun	Dampak 6- Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terestrial						
	<i>(Terrestrial Ecotoxicity)</i>						
	(dalam kg 1,4-DCB eq.)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	1,772E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,772E+04
2001	1,845E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,845E+04
2002	1,939E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,939E+04
2003	2,146E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,146E+04
2004	2,445E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,445E+04
2005	6,148E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,148E+04
2006	6,680E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,680E+04
2007	7,215E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,215E+04
2008	7,751E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,751E+04
2009	8,289E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,289E+04
2010	8,829E+04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,829E+04
2011	1,406E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,406E+05
2012	1,488E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,488E+05
2013	1,572E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,572E+05
2014	1,656E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,656E+05
2015	1,743E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,743E+05
2016	2,440E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,440E+05
2017	2,559E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,559E+05
2018	2,681E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,681E+05
2019	2,806E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,806E+05
2020	2,934E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,934E+05
2021	3,065E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,065E+05
2022	3,199E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,199E+05
2023	3,338E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,338E+05
2024	3,480E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,480E+05
2025	3,626E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,626E+05
	4,350E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,350E+06

3.2.12 Pengukuran Dampak Pembentukan Photo-Oxidant

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak pembentukan *photo-oxidant* disebabkan oleh

Tabel 3.84 I/O yang Mempengaruhi Dampak Pembentukan *Photo-oxidant*

nit	Output
Perkebunan	Emisi CO, CH ₄ , N ₂ O
<i>CPO Mill</i>	Emisi CO, CH ₄ , NO ₂
Pabrik Biodiesel	Methanol
<i>Blending Plant</i>	-
SPBU	-
Transportasi	Emisi SO ₂ , Nox, HC, CO

Dampak pembentukan photo-oxidant dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{oxidant formation} = \sum_i \text{POCPI} \times m_i \quad (3.8)$$

Hasil perhitungan diekspresikan dalam satuan kg zat referensi yaitu ethylene. POCP adalah *photochemical ozon creation potential* untuk zat *i* yang, sedangkan *m_i* adalah kuantitas yang dikeluarkan oleh zat *i*

Tabel 3.85 Faktor *High NOx POCPs*

Zat	Kompartemen	POCP (dalam kg ethylene eq./kg)
CO	udara	0.027
NO ₂		0.028
Methanol		0.14
CH ₄		0.006

(sumber: Guinee et al., 2001)

Tabel berikut menunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan dampak pembentukan *photo-oxidant*.

Tabel 3.86 Perhitungan Total Dampak Pembentukan *Photo-oxidant*

Tahun	Dampak 7-Pembentukan <i>Photo-oxidant</i>						
	<i>(Photo-oxidant Formation)</i>						
	(dalam kg C ₂ H ₄ eq)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	2,210E+04	1,333E+05	5,428E+06	0,000E+00	0,000E+00	1,014E+07	1,572E+07
2001	3,568E+07	1,387E+05	5,649E+06	0,000E+00	0,000E+00	1,055E+07	5,202E+07
2002	3,569E+07	1,458E+05	5,939E+06	0,000E+00	0,000E+00	1,109E+07	5,287E+07
2003	4,759E+07	1,614E+05	6,573E+06	0,000E+00	0,000E+00	1,228E+07	6,660E+07
2004	3,571E+07	1,838E+05	7,486E+06	0,000E+00	0,000E+00	1,398E+07	5,736E+07
2005	3,579E+07	4,622E+05	1,883E+07	0,000E+00	0,000E+00	1,689E+07	7,197E+07
2006	4,768E+07	5,022E+05	2,046E+07	0,000E+00	0,000E+00	1,836E+07	8,700E+07
2007	1,513E+05	5,425E+05	2,210E+07	0,000E+00	0,000E+00	1,983E+07	4,262E+07
2008	1,560E+05	5,828E+05	2,374E+07	0,000E+00	0,000E+00	2,130E+07	4,578E+07
2009	1,734E+05	6,232E+05	2,538E+07	0,000E+00	0,000E+00	2,278E+07	4,896E+07
2010	1,927E+05	6,638E+05	2,704E+07	0,000E+00	0,000E+00	2,426E+07	5,216E+07
2011	3,272E+05	1,057E+06	4,306E+07	0,000E+00	0,000E+00	2,484E+07	6,929E+07
2012	3,556E+05	1,119E+06	4,558E+07	0,000E+00	0,000E+00	2,630E+07	7,336E+07
2013	3,791E+05	1,182E+06	4,814E+07	0,000E+00	0,000E+00	2,778E+07	7,747E+07
2014	4,029E+05	1,245E+06	5,073E+07	0,000E+00	0,000E+00	2,927E+07	8,165E+07
2015	4,250E+05	1,310E+06	5,336E+07	0,000E+00	0,000E+00	3,079E+07	8,589E+07
2016	5,934E+05	1,835E+06	7,473E+07	0,000E+00	0,000E+00	3,105E+07	1,082E+08
2017	6,187E+05	1,924E+06	7,838E+07	0,000E+00	0,000E+00	3,257E+07	1,135E+08
2018	6,456E+05	2,016E+06	8,212E+07	0,000E+00	0,000E+00	3,412E+07	1,189E+08
2019	6,732E+05	2,110E+06	8,593E+07	0,000E+00	0,000E+00	3,571E+07	1,244E+08
2020	7,005E+05	2,206E+06	8,985E+07	0,000E+00	0,000E+00	3,734E+07	1,301E+08
2021	7,327E+05	2,304E+06	9,386E+07	0,000E+00	0,000E+00	3,900E+07	1,359E+08
2022	7,658E+05	2,405E+06	9,798E+07	0,000E+00	0,000E+00	4,071E+07	1,419E+08
2023	7,997E+05	2,509E+06	1,022E+08	0,000E+00	0,000E+00	4,247E+07	1,480E+08
2024	8,347E+05	2,616E+06	1,066E+08	0,000E+00	0,000E+00	4,428E+07	1,543E+08
2025	8,706E+05	2,726E+06	1,110E+08	0,000E+00	0,000E+00	4,615E+07	1,608E+08
	2,480E+08	3,270E+07	1,332E+09	0,000E+00	0,000E+00	7,039E+08	2,317E+09

3.2.13 Pengukuran Dampak Pengasaman/*Acidification*

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak pembentukan pengasaman/*acidification* disebabkan oleh emisi NO₂ pada Mill CPO (MKS)

Dampak pengasaman/*acidification* dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{acidification} = \sum_i AP_i \times m_i \quad (3.9)$$

Hasil perhitungan diekspresikan dalam satuan kg SO₂ equivalent. AP_i adalah *acidification potential* untuk zat i yang dilepaskan ke udara, sedangkan m_i adalah kuantitas yang dikeluarkan oleh zat i ke udara. Faktor generik AP untuk mengkarakterisasi emisi yang mengasamkan ke udara untuk NO₂ adalah 0.7 kg SO₂ eq./kg NO₂

Tabel 3.87 Faktor *High SO₂-eq*

Zat	Kompartemen	POCP (dalam kg SO ₂ eq./kg)
NO ₂	udara	0,7
SO ₂		1
NO _x		0,7

(sumber: Guinee et al., 2001)

Tabel berikut merupakan hasil rekapitulasi perhitungan dampak acidification.

Tabel 3.88 Perhitungan Total Dampak Pengasaman

Tahun	Dampak 8-Pengasaman/Acidification						
	(dalam kg SO ₂ eq.)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	5,524E+05	4,770E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,095E+08	1,106E+08
2001	7,119E+05	4,964E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,140E+08	1,152E+08
2002	8,909E+05	5,219E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,198E+08	1,213E+08
2003	7,331E+05	5,776E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,326E+08	1,339E+08
2004	6,829E+05	6,578E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,511E+08	1,524E+08
2005	1,520E+06	1,654E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,819E+08	1,850E+08
2006	1,597E+06	1,797E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,976E+08	2,010E+08
2007	1,550E+06	1,942E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,135E+08	2,170E+08
2008	1,501E+06	2,086E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,293E+08	2,329E+08
2009	1,768E+06	2,231E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,452E+08	2,492E+08
2010	2,084E+06	2,376E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,612E+08	2,657E+08
2011	3,828E+06	3,783E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,675E+08	2,751E+08
2012	4,281E+06	4,005E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,832E+08	2,915E+08
2013	4,611E+06	4,230E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,991E+08	3,079E+08
2014	4,944E+06	4,458E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,152E+08	3,246E+08
2015	5,231E+06	4,689E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,315E+08	3,415E+08
2016	7,280E+06	6,567E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,322E+08	3,460E+08
2017	7,543E+06	6,887E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,484E+08	3,629E+08
2018	7,838E+06	7,215E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,650E+08	3,801E+08
2019	8,142E+06	7,551E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,820E+08	3,977E+08
2020	8,431E+06	7,895E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,994E+08	4,157E+08
2021	8,830E+06	8,247E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,172E+08	4,343E+08
2022	9,240E+06	8,609E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,355E+08	4,534E+08
2023	9,661E+06	8,981E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,543E+08	4,730E+08
2024	1,009E+07	9,364E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,737E+08	4,932E+08
2025	1,054E+07	9,758E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,936E+08	5,139E+08
Total	1,241E+08	1,171E+08	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,554E+09	7,795E+09

3.2.14 Pengukuran Dampak Eutrophication

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak *eutrophication* dipengaruhi oleh input/output berikut ini:

Tabel 3.89 Input/Output yang Mempengaruhi Dampak *Eutrophication*

nit	Output
Perkebunan	Emisi NO ₂ , NH ₄ , P, P ₂ O ₅
<i>CPO Mill</i>	Emisi P ₂ , O ₅
Pabrik Biodiesel	-
<i>Blending Plant</i>	-
SPBU	-
Transportasi	Emisi NO _x

Dampak *eutrophication* dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$\text{eutrophication} = \sum_i EPI_i \times m_i \quad (3.10)$$

dengan satuan kg PO₄³⁻ eq. EP_i adalah *eutrophication potential* untuk zat i yang dilepaskan ke udara, air, dan tanah sedangkan m_i adalah emisi zat i ke udara, air, dan tanah.

Tabel 3.90 Faktor Generik EP

Zat	EP (dalam kg PO ₄ ³⁻ eq/kg)
NH ₄ (amonium)	0.33
P	3.06
P ₂ O ₅	1.34
NO ₂	0.13

(sumber: Guinee et al., 2001)

Perhitungan massa emisi zat dari massa sumbernya kemudian dilakukan untuk dapat mengkuantifikasikan kuantitas zat yang berpotensi memberikan dampak *eutrophication* ini.

Tabel 3.91 Perhitungan % Zat dari Massa Input

Zat	Input	Kandungan %zat dari massa input	Proses perhitungan
NH ₄	Pupuk N (amonium sulfat)	27.30%	% massa NH ₄ dalam (NH ₄) ₂ SO ₄
P	<i>Glyphosate</i>	18.32%	% massa P dalam C ₃ H ₈ NO ₅ P
P ₂ O ₅	Pupuk P (<i>ground rock phosphate</i>)	34%	% P ₂ O ₅ dalam pupuk P

Berikut merupakan hasil rekapitulasi perhitungan dampak *eutrophication*.

Tabel 3.92 Perhitungan Total Dampak *Eutrophication*

Tahun	Dampak 9- <i>Eutrophication</i>						
	(dalam kg PO ₄ ³⁻ eq.)						
	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
2000	7,405E+06	3,145E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,051E+06	1,377E+07
2001	1,058E+07	3,273E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,298E+06	1,720E+07
2002	1,407E+07	3,441E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	6,621E+06	2,104E+07
2003	1,314E+07	3,808E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	7,328E+06	2,085E+07
2004	1,409E+07	4,337E+05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	8,346E+06	2,287E+07
2005	2,679E+07	1,091E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,042E+07	3,831E+07
2006	2,998E+07	1,185E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,132E+07	4,249E+07
2007	2,913E+07	1,280E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,223E+07	4,264E+07
2008	2,807E+07	1,375E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,314E+07	4,258E+07
2009	3,162E+07	1,471E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,405E+07	4,714E+07
2010	3,423E+07	1,567E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,497E+07	5,076E+07
2011	5,591E+07	2,495E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,578E+07	7,419E+07
2012	5,982E+07	2,641E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,671E+07	7,917E+07
2013	6,342E+07	2,789E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,764E+07	8,386E+07
2014	6,707E+07	2,939E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,859E+07	8,861E+07
2015	7,064E+07	3,092E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,956E+07	9,329E+07
2016	9,880E+07	4,330E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,040E+07	1,235E+08
2017	1,034E+08	4,541E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,140E+07	1,293E+08
2018	1,081E+08	4,758E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,242E+07	1,353E+08
2019	1,130E+08	4,979E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,346E+07	1,414E+08
2020	1,179E+08	5,205E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,453E+07	1,476E+08
2021	1,232E+08	5,438E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,562E+07	1,543E+08
2022	1,287E+08	5,677E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,675E+07	1,611E+08
2023	1,343E+08	5,922E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,790E+07	1,681E+08
2024	1,401E+08	6,174E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,909E+07	1,754E+08
2025	1,460E+08	6,434E+06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,032E+07	1,828E+08
Total	1,769E+09	7,718E+07	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,510E+08	2,298E+09

3.2.15 Normalisasi

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

Perhitungan normalisasi dilakukan dengan rumus berikut:

$$\text{normalised indicator result} = \frac{\text{indicator result cat}}{\text{indicator result catref}} \quad (3.11)$$

indicator result cat menyatakan hasil perhitungan masing-masing dampak yang sudah dilakukan pada tahap sebelumnya dan *indicator result_{cat,ref}* menyatakan faktor normalisasi untuk setiap dampak *cat* dan sistem referensi *ref*. *Normalised indicator result* dinyatakan dalam satuan yr.

Tabel 3. 93 Faktor Normalisasi Kategori Dampak Dasar untuk *World 1995*

Dampak	Faktor normalisasi
Penipisan sumber daya abiotik	1.57E+11 kg (antimony eq)/yr
Perubahan Iklim	3.86E+13 kg (CO ₂ eq)/yr
Dampak bahan beracun pada manusia	4.98E+13 kg (1,4 DCB eq)/yr
Dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar	2.03E+12 kg (1,4 DCB eq)/yr
Dampak bahan beracun pada ekosistem air laut	5.12E+14 kg (1,4 DCB eq)/yr
Dampak bahan beracun pada ekosistem terestrial	2.68E+11 kg (1,4 DCB eq)/yr
Pembentukan <i>photo-oxidant</i>	4.55E+10 kg (C ₂ H ₄ eq)/yr
Pengasaman/ <i>acidification</i>	2.99E+11 kg (SO ₂ eq)/yr
<i>Eutrophication</i>	1.29E+11 kg (PO ₄ ³⁻ eq)/yr

(sumber: Guinee et al., 2001)

Hasil perhitungan normalisasi ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 3.94 Hasil Normalisasi

Ktgr Dampak	Kebun	CPO Mill	Biodiesel	Blending	SPBU	Transport	Total
Abiotic	1,152E-05	4,977E-05	2,093E-04	3,641E-02	9,070E-05	0,000E+00	3,678E-02
Climate	2,282E-02	5,432E-03	3,451E-04	3,755E-04	7,121E-05	2,029E-02	4,934E-02
Human	4,285E-06	4,029E-06	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	9,347E-05	1,018E-04
F-water	2,054E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,054E-05
Marine	2,478E-10	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,478E-10
Terrestrial	1,623E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	1,623E-05
P-oxidant	5,450E-03	7,188E-04	2,928E-02	0,000E+00	0,000E+00	1,547E-02	5,092E-02
Acidificat	4,150E-04	3,915E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	2,526E-02	2,607E-02
Eutrophic	1,372E-02	5,983E-04	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	3,496E-03	1,781E-02
Tot per Lks	4,246E-02	7,195E-03	2,983E-02	3,679E-02	1,619E-04	6,461E-02	1,810E-01
%	23,450	3,974	16,478	20,321	0,089	35,688	100,000

3.2.16 Hasil Pengolahan Data Agregat

Pada pengolahan data ini tidak dilakukan tahap pengelompokan dan pembobotan karena tidak tersedianya metode untuk dapat melakukan pengelompokan dan pembobotan.

Oleh karena itu, hasil dari setiap dampak dan unit bisnis dapat langsung diperbandingkan untuk dapat diAnalisis. Tabel berikut akan memberikan gambaran hasil pengolahan data secara agregat sesuai dampak dan unit bisnisnya.

Tabel 3.95 Hasil Perhitungan Dampak per Kategori

Dampak	Total (yr)
Penipisan Sumber Daya Abiotik	3,678E-02
Perubahan Iklim	4,934E-02
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	1,018E-04
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	2,054E-05
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	2,478E-10
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	1,623E-05
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	5,092E-02
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	2,607E-02
<i>Eutrophication</i>	1,781E-02

Tabel 3.96 Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis

Unit	Total Dampak (yr)
Perkebunan	4,246E-02
CPO Mill	7,195E-03
Pabrik Biodiesel	2,983E-02
Blending Plant	3,679E-02
SPBU	1,619E-04
Transportasi	6,461E-02

3.2.17 Hasil Pengolahan dengan Beberapa Skenario

Hasil beberapa skenario akan dibahas dalam bab analisa dan pembahasan.

Skenario yang akan dibahas adalah meliputi :

- *Roadmap* Biodiesel Nasional Tahun 2000 – 2025
- *Roadmap* Biodiesel Tanpa Buka Lahan Baru
- Transportasi Tanpa Menggunakan Biodiesel
- Besaran Emisi Pada Kendaraan Transportasi
- Pengaruh Campuran Biodiesel Terhadap Emisi
- Strategi Pelaksanaan *Roadmap* Biodiesel Nasional