

**ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN  
PADA RANTAI SUPLAI INDUSTRI BIODIESEL  
BERBAHAN BAKU MINYAK KELAPA SAWIT**

**SKRIPSI**

**CARISSA  
04 05 07 00 7Y**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JULI 2009**

**ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN  
PADA RANTAI SUPLAI INDUSTRI BODIESEL  
BERBAHAN BAKU MINYAK KELAPA SAWIT**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
sarjana teknik**

**CARISSA  
04 05 07 00 7Y**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JULI 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Carissa**

**NPM : 040507007Y**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 26 Juni 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh  
Nama : Carissa  
NPM : 040507007Y  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Analisis Dampak Lingkungan pada Rantai Suplai  
Industri Biodiesel Berbahan Baku Kelapa Sawit

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Akhmad Hidayatno, ST, MBT ( \_\_\_\_\_ )

Penguji : Farizal, PhD ( \_\_\_\_\_ )

Penguji : Dr. Ir. Teuku Yuri MZ., M.Eng.Sc ( \_\_\_\_\_ )

Penguji : Ir. Yadrifil, MSc ( \_\_\_\_\_ )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Akhmad Hidayatno, ST, MBT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA, yang telah banyak membantu dan memberikan pengarahan mengenai industri biodiesel ditinjau dari bidang lingkungan;
- (3) Ir. Eddy Yusuf Kusdira, yang telah memberikan pengarahan mengenai kondisi lapangan perkebunan kelapa sawit;
- (4) Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE dan Ibu Lina, atas perhatian dan bimbingannya selama penyusunan skripsi ini;
- (5) Mama, Papa dan Koko yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (6) Kresentia Isabella, Rama Darmawan, Elice, Nur Annisa, Rita Margaretha, dan Megasworo Seno sebagai sahabat terbaik atas kebersamaan dan semangat dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini;
- (7) Tri Ramdhani dan Christian Wijaya dalam tim biodiesel atas kebersamaan dan dukungan yang menyenangkan;
- (8) Benedictus Resi Asdana, atas semangat, doa, dan perhatian selama kuliah hingga penyusunan skripsi ini;
- (9) Seluruh teman-teman TI05, yang selalu bersama-sama di saat suka dan duka selama 4 tahun ini;

- (10) Daniel Sanjaya dan Rangga Dimas, atas semangat dan dukungan selama penyusunan skripsi ini;
- (11) Seluruh kerabat dan temanku yang tak bisa disebutkan satu per satu atas dukungan yang telah diberikan.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 26 Juni 2009

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Carissa  
NPM : 040507007Y  
Departemen : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Dampak Lingkungan pada Rantai Suplai Industri Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit.

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 Juni 2009

Yang menyatakan

(Carissa)

## ABSTRAK

Nama : Carissa  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Analisis Dampak Lingkungan pada Rantai Suplai Industri Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit

Skripsi ini membahas potensi dampak lingkungan dari rantai suplai industri biodiesel berbahan baku minyak kelapa sawit. Metode *life cycle assessment* digunakan untuk mempelajari dampak lingkungan yang dihasilkan dari tiga unit utama dalam rantai suplai ini yaitu perkebunan, *mill* CPO, dan pabrik biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unit perkebunan menyumbang potensi dampak lingkungan yang terbesar. Selain itu, potensi dampak lingkungan terbesar adalah kontribusi terhadap pemanasan global yang sumbernya didominasi oleh emisi dari unit perkebunan. Sejumlah skenario input pada perkebunan dipelajari untuk dapat mengevaluasi skenario terbaik dalam hal kelas lahan, luas lahan, teknik pembukaan lahan serta tipe lahan.

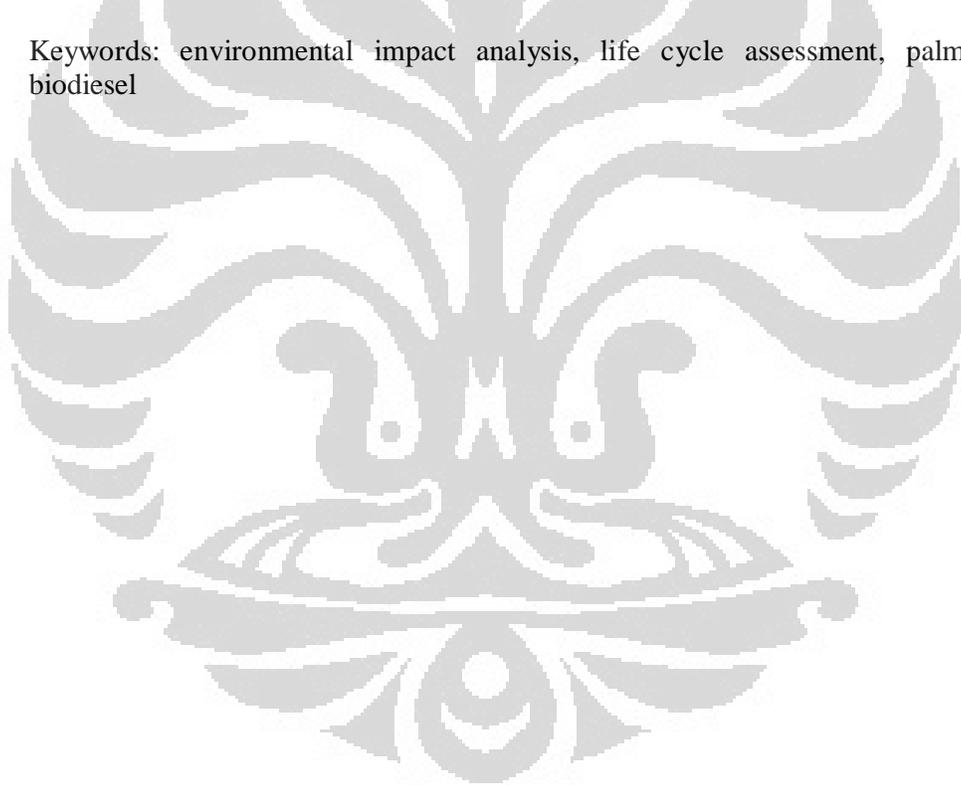
Kata kunci: Analisis dampak lingkungan, *life cycle assessment*, biodiesel berbahan baku kelapa sawit

## ABSTRACT

Name : Carissa  
Study Program: Industrial Engineering  
Title : Environmental Impact Analysis on Supply Chain of Palm Oil  
Biodiesel Industry

The focus of this study is to analyze potential environmental impact in the supply chain of palm oil biodiesel industry. Life cycle assessment is applied to analyze impacts, produced by the three main units, which are plantation, CPO mill, and biodiesel plant. This study shows that plantation gives biggest contribution to environmental impact. The biggest potential environmental impact is the contribution to global warming which emissions are produced mostly from the plantation. A number of input scenarios are assessed to evaluate the best scenario in term of land quality, land area, deforestation, and type of land.

Keywords: environmental impact analysis, life cycle assessment, palm oil biodiesel



## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vii
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR RUMUS .....	xix
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
1.3 Rumusan Permasalahan .....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.6 Metodologi Penelitian.....	7
1.7 Sistematika Penelitian.....	10
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>12</b>
2.1 Industri Kelapa Sawit .....	12
2.1.1 Tanaman Kelapa Sawit .....	12
2.1.2 Perkebunan Kelapa Sawit.....	13
2.1.2.1 Kriteria Lahan Perkebunan Kelapa Sawit.....	15
2.1.2.2 Pembukaan Lahan .....	20
2.1.2.3 Pemupukan.....	21
2.1.2.4 Perlindungan Tanaman dengan Pestisida .....	27
2.1.3 Pengolahan Minyak dan Inti Sawit .....	28
2.1.4 Agribisnis Kelapa Sawit.....	30
2.1.5 Isu Lingkungan dalam Industri Kelapa Sawit .....	31

2.1.6	RSPO.....	32
2.1.6.1	Struktur Organisasi RSPO .....	33
2.1.6.2	RSPO di Indonesia .....	34
2.1.6.3	Inisiatif RSPO .....	35
2.1.6.4	Skema Sertifikasi.....	36
2.2	Biodiesel .....	37
2.2.1	Peran Biodiesel dalam Transportasi.....	38
2.2.2	Mandat Penggunaan Bahan Bakar Nabati.....	39
2.3	Life cycle assessment .....	40
2.3.1	Karakteristik Umum dari LCA .....	40
2.3.1.1	Definisi LCA.....	40
2.3.1.2	Batasan dari LCA .....	41
2.3.2	Metodologi .....	42
2.3.2.1	Pendefinisian Tujuan dan Lingkup.....	42
2.3.2.2	Analisis Inventori .....	43
2.3.2.3	Pengukuran Dampak.....	45
2.3.2.4	Interpretasi .....	58
2.4	Stoikiometri.....	59
2.4.1	Massa Atom.....	59
2.4.2	Massa Molekul .....	59
2.4.3	Rumus Empiris .....	60
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>		<b>61</b>
3.1	Pengumpulan data .....	61
3.1.1	Data Umum Perkebunan .....	62
3.1.2	Data Emisi pada Perkebunan.....	63
3.1.3	Data Produktivitas Lahan .....	66
3.1.4	Data Unsur Hara dalam Pupuk .....	66
3.1.5	Data Herbisida .....	68
3.2	Pengolahan data.....	68
3.2.1	Tabel Input dan Output .....	70
3.2.2	Pemilihan kategori dampak .....	74
3.2.3	Pemilihan metode karakterisasi: indikator kategori, model karakterisasi, dan faktor karakterisasi .....	74
3.2.4	Klasifikasi.....	75
3.2.5	Karakterisasi .....	76

3.2.6	Pengukuran Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik .....	76
3.2.7	Pengukuran Dampak Perubahan Iklim .....	85
3.2.8	Pengukuran Dampak Bahan Beracun pada Manusia .....	86
3.2.9	Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Air Tawar ..	87
3.2.10	Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Air Laut.....	87
3.2.11	Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Terestrial ...	88
3.2.12	Pengukuran Dampak Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i> .....	89
3.2.13	Pengukuran Dampak Pengasaman/ <i>Acidification</i> .....	89
3.2.14	Pengukuran Dampak <i>Eutrophication</i> .....	90
3.2.15	Normalisasi.....	91
3.2.16	Hasil Pengolahan Data Agregat.....	94
3.2.17	Hasil Pengolahan dengan Beberapa Skenario .....	95
3.2.17.1	Skenario Perbedaan Kelas Lahan .....	95
3.2.17.2	Skenario Perbedaan Total Lahan.....	98
3.2.17.3	Skenario Perbedaan Jenis Lahan .....	101
3.2.17.4	Skenario Perbedaan Teknik Pembukaan Lahan ..	102
3.2.17.5	Skenario Kombinasi Jenis Lahan dan Cara Pembukaan Lahan.....	103
3.2.17.6	Skenario Pergantian Data Pemupukan dan <i>Yield</i> <i>CPO</i> (MKS).....	105
<b>BAB 4</b>	<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>107</b>
4.1	Analisis kategori dampak.....	107
4.2	Analisis dampak lingkungan dari perhitungan input <i>baseline</i> .....	109
4.2.1	Analisis Dampak Lingkungan per Unit Bisnis .....	110
4.2.2	Analisis Dampak Lingkungan per Kategori Dampak.....	111
4.2.2.1	Analisis Dampak Perubahan Iklim.....	113
4.2.2.2	Analisis Dampak Pembentukan <i>Photo-oxidant</i> ..	115
4.2.2.3	Analisis Dampak <i>Eutrophication</i> .....	118
4.2.2.4	Kesimpulan .....	120
4.3	Analisis dampak lingkungan dengan skenario kelas lahan.....	121
4.4	Analisis dampak lingkungan dengan skenario total lahan dan laju pembukaan lahan.....	124
4.4.1	Analisis Dampak Lingkungan dengan Skenario Laju pembukaan lahan .....	127
4.4.2	Analisis Dampak Lingkungan dengan Skenario Luas Lahan .. .....	130

4.5 Analisis dampak lingkungan dengan skenario Jenis lahan.....	131
4.6 Analisis dampak lingkungan dengan skenario teknik pembukaan lahan.....	134
4.7 Analisis dampak lingkungan dengan menggunakan cara pemupukan dan <i>yield</i> CPO (MKS) yang berbeda.....	137
4.7.1 Analisis Perbedaan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik .....	140
4.7.2 Analisis Perubahan Dampak Bahan Beracun pada Manusia....	141
4.7.3 Analisis Perubahan Dampak Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i> .....	142
4.7.4 Analisis Perubahan Dampak <i>Eutrophication</i> .....	142
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>143</b>
5.1 Kesimpulan .....	143
5.2 Saran .....	144
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>145</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Target Minimum Penggunaan Biodiesel untuk Berbagai Sektor.....	3
Tabel 2. 1	Kriteria Keadaan Tanah unuk Pengusahaan Kelapa Sawit.....	16
Tabel 2. 2	Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Pengusahaan Kelapa Sawit .....	17
Tabel 2. 3	Produktivitas Lahan berdasarkan Kelas Lahan .....	19
Tabel 2. 4	Pupuk Anorganik dan Kandungan Hara Utamanya .....	23
Tabel 2. 5	Jenis Pupuk/Limbah Organik di Perkebunan Kelapa Sawit .....	26
Tabel 2. 6	Kisaran Dosis Pupuk Kelapa Sawit pada Umur Tertentu.....	27
Tabel 2. 7	Target Minimum Penggunaan Biodiesel untuk Berbagai Sektor.....	39
Tabel 2. 8	Target Minimum Penggunaan Bioethanol untuk Berbagai Sektor ....	40
Tabel 2. 9	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik .....	47
Tabel 2. 10	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Persaingan Lahan .....	48
Tabel 2. 11	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Perubahan Iklim.....	49
Tabel 2. 12	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Lapisan Ozon Stratosfer .....	50
Tabel 2. 13	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Manusia.....	51
Tabel 2. 14	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar .....	52
Tabel 2. 15	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut.....	53
Tabel 2. 16	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Terrestrial.....	54
Tabel 2. 17	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i> .....	55
Tabel 2. 18	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Pengasaman .....	56
Tabel 2. 19	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak <i>Eutrophication</i> .....	57
Tabel 2. 20	Tabel Massa Atom Relatif .....	59
Tabel 3. 1	Tabel Input dan Output Perkebunan Kelapa Sawit per 1 ton FFB (TBS) .....	62
Tabel 3. 2	Kebutuhan Pupuk untuk Pemupukan Awal dengan Lahan 10.000 ha .....	63
Tabel 3. 3	Kebutuhan Pupuk untuk Berbagai Usia Tanaman .....	63
Tabel 3. 4	Emisi CO <sub>2</sub> pada Praktik Perkebunan .....	64
Tabel 3. 5	Emisi Pembakaran Lahan per Hektar .....	65

Tabel 3. 6	Pupuk dan Kandungan Hara .....	66
Tabel 3. 7	Tabel Input dan Output pada Perkebunan sebelum Penyesuaian.....	70
Tabel 3. 8	Tabel Input dan Output pada Perkebunan Setelah Penyesuaian .....	71
Tabel 3. 9	Tabel Pemetaan Lahan Produktif dan Pemetaan produksi FFB (TBS) .....	72
Tabel 3. 10	Tabel Input dan Output Perkebunan selama 25 Tahun.....	73
Tabel 3. 11	Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari Perkebunan.....	75
Tabel 3. 12	Input yang Mempengaruhi Dampak Penipisan Sumber Daya Alam	76
Tabel 3. 13	Faktor ADP berdasarkan cadangan terakhir dan tingkat ekstraksi ..	77
Tabel 3. 14	Persentase Perhitungan % Unsur per Massa Input.....	78
Tabel 3. 15	Pengelompokan Input Berdasarkan Unsur yang Sama .....	80
Tabel 3. 16	Perhitungan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik dari Unit Perkebunan.....	81
Tabel 3. 17	Perhitungan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik dari Unit <i>Mill</i> <i>CPO</i> (PKS).....	82
Tabel 3. 18	Perhitungan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik dari unit Pabrik Biodiesel .....	83
Tabel 3. 19	Perhitungan Total Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik.....	84
Tabel 3. 20	Output yang Mempengaruhi Dampak Perubahan Iklim.....	85
Tabel 3. 21	Faktor <i>Global Warming Potential</i> /GWP <sub>100</sub> (Potensi Pemanasan Global).....	85
Tabel 3. 22	Input/Output yang Mempengaruhi Dampak Bahan Beracun pada Manusia.....	86
Tabel 3. 23	Faktor HTP/ <i>Human Toxicity Potential</i> untuk Jangka Waktu Tak Terbatas.....	86
Tabel 3. 24	Faktor <i>FAETP</i> untuk jangka waktu tak terbatas .....	87
Tabel 3. 25	Faktor <i>MAETP</i> untuk jangka waktu tak terbatas .....	88
Tabel 3. 26	Faktor <i>TETP</i> untuk Jangka Waktu Tidak Terbatas .....	88
Tabel 3. 27	Input/Output yang Mempengaruhi Dampak Pembentukan Photo- oxidant .....	89
Tabel 3. 28	Faktor <i>High NOx POCPs</i> .....	89
Tabel 3. 29	Input/Output yang Mempengaruhi Dampak <i>Eutrophication</i> .....	90
Tabel 3. 30	Faktor Generik EP .....	90
Tabel 3. 31	Perhitungan % Zat dari Massa Input .....	91
Tabel 3. 32	Faktor Normalisasi Kategori Dampak Dasar untuk <i>World</i> Tahun 1995 .....	92
Tabel 3. 34	Hasil Normalisasi .....	94
Tabel 3. 35	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori.....	94

Tabel 3. 36	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis .....	95
Tabel 3. 37	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Kelas Lahan.....	96
Tabel 3. 38	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Kelas Lahan .....	97
Tabel 3. 39	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Luas Lahan dan Laju Pembukaan Lahan .....	99
Tabel 3. 40	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Luas Lahan dan Laju Pembukaan Lahan .....	100
Tabel 3. 41	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Jenis Lahan .....	101
Tabel 3. 42	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Jenis Lahan .....	101
Tabel 3. 43	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Teknik Pembukaan Lahan .....	102
Tabel 3. 44	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Teknik Pembukaan Lahan .....	103
Tabel 3. 45	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Jenis Lahan dan Teknik Pembukaan Lahan .....	104
Tabel 3. 46	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Teknik Jenis Lahan dan Pembukaan Lahan.....	105
Tabel 3. 47	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Pergantian Data Pemupukan dan <i>Yield CPO</i> (MKS).....	106
Tabel 3. 48	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Pergantian Data Pemupukan dan <i>Yield CPO</i> (MKS) .....	106
Tabel 4. 1	Persentase Kontribusi Unit Bisnis Terhadap Dampak Lingkungan	110
Tabel 4. 2	Persentase Kontribusi Kategori Dampak Terhadap Dampak Total	111
Tabel 4. 3	Output yang Berkontribusi terhadap Dampak Perubahan Iklim ....	113
Tabel 4. 4	Kontribusi Unit Bisnis terhadap Dampak Perubahan Iklim .....	113
Tabel 4. 5	Kontribusi Aktivitas Tahunan terhadap Dampak Perubahan Iklim	114
Tabel 4. 6	Input/Output yang Berkontribusi Terhadap Dampak Pembentukan Photo-oxidant .....	115
Tabel 4. 7	Kontribusi Unit Bisnis Terhadap Dampak Pembentukan Photo-oxidant .....	115
Tabel 4. 8	Kontribusi Aktivitas Tahunan pada Perkebunan Terhadap Dampak Pembentukan <i>Photo-oxidant</i> .....	117
Tabel 4. 9	Input/Ouput yang Berkontribusi terhadap Dampak <i>Eutrophication</i> .....	118
Tabel 4. 10	Kontribusi Unit Bisnis dalam Dampak <i>Eutrophication</i> .....	118

Tabel 4. 11	Kontribusi Aktivitas Tahunan pada Perkebunan terhadap Dampak Eutrophication .....	119
Tabel 4. 12	Aktivitas Penyebab Dampak yang Signifikan .....	120
Tabel 4. 13	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Kelas Lahan .....	122
Tabel 4. 14	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Kelas Lahan .....	123
Tabel 4. 15	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Luas Lahan dan Laju Pembukaan Lahan .....	125
Tabel 4. 16	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Luas Lahan dan Laju Pembukaan Lahan .....	126
Tabel 4. 17	Hasil Perhitungan Dampak dengan Skenario Laju pembukaan lahan pada Lahan 10.000 ha .....	128
Tabel 4. 18	Hasil Perhitungan Dampak dengan Skenario Laju pembukaan lahan pada Lahan 6.000 ha .....	129
Tabel 4. 19	Hasil Perhitungan Total Dampak dengan Skenario Luas Lahan ...	130
Tabel 4. 20	Hasil Perhitungan Dampak Lingkungan per Unit Bisnis dengan Skenario Jenis Lahan .....	131
Tabel 4. 21	Perhitungan Perbandingan Dampak dari Unit Perkebunan dalam Skenario Jenis Lahan .....	132
Tabel 4. 22	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Jenis Lahan .....	133
Tabel 4. 23	Hasil Perhitungan Dampak Lingkungan per Unit Bisnis dengan Skenario Teknik Pembukaan Lahan .....	134
Tabel 4. 24	Perhitungan Perbandingan Dampak dari Unit Perkebunan dalam Skenario Jenis Lahan .....	135
Tabel 4. 25	Hasil Perhitungan Dampak Lingkungan per Kategori dengan Skenario Teknik Pembukaan Lahan .....	136
Tabel 4. 26	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Pergantian Data Pemupukan dan <i>Yield</i> CPO .....	138
Tabel 4. 27	Hasil Perhitungan Dampak Berdasarkan Skenario Pergantian Data Pemupukan dan <i>Yield</i> CPO .....	140
Tabel 4. 28	Perbandingan Komposisi Pupuk pada Skenario 1 dan 2 .....	141
Tabel 4. 29	Input/Output yang Berkontribusi terhadap Dampak Pembentukan <i>Photo-oxidant</i> .....	142

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Target Bauran Energi Nasional tahun 2025.....	2
Gambar 1. 2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
Gambar 1. 3 Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	9
Gambar 2. 1 Buah Kelapa Sawit .....	13
Gambar 2. 2 Peta Wilayah Penyebaran Lahan Kelapa Sawit di Indonesia .....	14
Gambar 2. 3 Peta Persebaran Luas Lahan dan Produksi Kelapa Sawit di Indonesia .....	14
Gambar 2. 4 Pohon Industri Agribisnis Kelapa Sawit.....	30
Gambar 2. 5 Struktur Organisasi RSPO .....	34
Gambar 2. 6 Target Bauran Energi Nasional.....	39
Gambar 4. 1 Grafik Dampak Lingkungan dan Unit Terkait.....	110
Gambar 4. 2 Grafik Dampak Lingkungan per Kategori.....	112
Gambar 4. 3 Grafik Total Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario 1.....	138
Gambar 4. 4 Grafik Total Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario 2.....	139

## DAFTAR RUMUS

(3.1) Rumus Konversi Emisi CO <sub>2</sub> pada Unit Perkebunan .....	70
(3.2) Rumus <i>Abiotic Depletion</i> / Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik .....	76
(3.3) Rumus <i>Climate Change</i> /Dampak Perubahan Iklim.....	85
(3.4) Rumus <i>Human Toxicity</i> /Dampak Bahan Beracun pada Manusia .....	86
(3.5) Rumus <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i> /Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar.....	87
(3.6) Rumus <i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i> /Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut .....	87
(3.7) Rumus <i>Terrestrial Ecotoxicity</i> /Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial .....	88
(3.8) Rumus <i>Photo-oxidant Formation</i> /Dampak Pembentukan <i>photo-oxidant</i> .....	89
(3.9) Rumus <i>Acidification</i> /Dampak Pengasaman .....	89
(3.10) Rumus <i>Eutrophication</i> .....	90
(3.11) Rumus umum Normalisasi .....	91

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

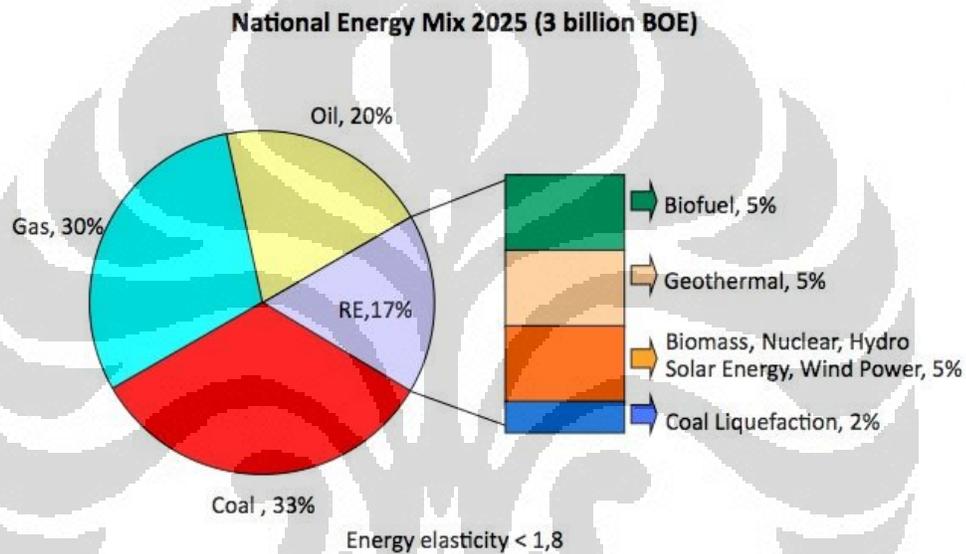
### **1.1 LATAR BELAKANG**

Bahan bakar minyak (BBM) merupakan salah satu bahan pokok untuk kehidupan manusia, misalnya bensin untuk kendaraan bermotor, solar untuk mesin diesel, minyak tanah untuk memasak. Bahan bakar minyak termasuk sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Persediaan energi fosil sebagai bahan baku dari BBM sangat terbatas dan diperkirakan akan habis dalam kurun beberapa tahun mendatang. Oleh karena itu akan dibutuhkan energi alternatif sebagai pengganti dari BBM tersebut. Energi alternatif mulai banyak dikembangkan, termasuk di Indonesia. Indonesia yang luas dan berada di iklim tropis mempunyai keuntungan besar untuk memanfaatkan potensi energi dari tanaman dan ternak, atau yang dikenal sebagai bioenergi.

Salah satu jenis bioenergi adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran monoalkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber yang dapat diperbaharui seperti minyak sayur atau lemak hewan. (Murugesan, Umarani, Chinnusamy, Krishnan, Subramanian & Neduzchezhain, 2008). Setelah melewati proses transesterifikasi lipid untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (solar) dari minyak bumi, dan dapat menggantikannya dalam banyak kasus. Namun, biodiesel lebih sering digunakan sebagai penambah untuk diesel petroleum dan meningkatkan bahan bakar diesel petrol murni ultra rendah belerang yang rendah pelumas. Biodiesel merupakan kandidat yang paling dekat untuk menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi transportasi utama dunia, karena biodiesel merupakan bahan bakar terbaharui yang dapat menggantikan diesel petrol di mesin dan dapat diangkut dan dijual dengan menggunakan infrastruktur sekarang ini.

Pada tahun 2006, pemerintah Indonesia telah mengembangkan rencana strategik untuk keamanan energi yang diumumkan sebagai kebijakan energi nasional (Peraturan Presiden No. 5 / 2006) sebagai respon kebijakan atas kenaikan

harga bahan bakar pada tahun 2005. Kebijakan Energi Nasional bertujuan untuk mengarahkan upaya-upaya dalam mewujudkan keamanan pasokan energy dalam negeri. Pemerintah juga memiliki tujuan lain untuk mengurangi ketergantungan Indonesia pada energi fosil. Kebijakan Energi Nasional mendeklarasikan target bauran energi nasional dengan proporsi biofuel termasuk biodiesel di dalamnya, mencapai minimal 5% pada tahun 2025. (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006, 2006)



**Gambar 1. 1** Target Bauran Energi Nasional tahun 2025

(Sumber: Potensi Pengembangan BBN, Depperin, 2008)

Proporsi detil dari target penggunaan biodiesel untuk sektor transportasi, industri dan listrik, sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2008 terlihat pada tabel berikut:

**Tabel 1. 1** Target Minimum Penggunaan Biodiesel untuk Berbagai Sektor

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

(Sumber: Potensi Pengembangan BBN, Depperin, 2008)

Pemenuhan target jangka panjang ini tentunya akan membutuhkan pembukaan lahan baru untuk pemenuhan bahan baku dari biodiesel yaitu CPO, pembukaan pabrik baru dan berbagai infrastruktur lainnya. Selain untuk pemenuhan target jangka panjang di Indonesia ini, penyiapan fasilitas dan infrastruktur juga disebabkan permintaan dunia yang meningkat dalam produksi minyak sawit di daerah tropis.

Dari tahun 1990an hingga sekarang, daerah yang digunakan untuk penanaman dan pengembangan telah meningkat sebanyak 43%, kebanyakan berada di Malaysia dan Indonesia, sebagai produser terbesar minyak sawit di dunia. Pembukaan perkebunan baru menghasilkan konversi hutan dalam area yang besar dengan nilai konservasi yang tinggi dan akan mengancam keanekaragaman hayati pada ekosistem ini (RSPO, n.d.).

Perluasan perkebunan minyak sawit juga telah menyebabkan konflik sosial antara komunitas lokal dan pendukung proyek di instansi-instansi. Padahal sangat penting untuk memastikan produksi dan penggunaan minyak sawit dilakukan dalam cara yang berkelanjutan berdasarkan kelangsungan hidup di bidang ekonomi, sosial dan lingkungan. Ada keprihatinan bahwa tidak semua minyak sawit diproduksi secara berkelanjutan sekarang ini.

Pembahasan yang meliputi pembukaan lahan baru dan hubungannya dengan keberlanjutan tersebut hanya merupakan salah satu proses dalam industri rantai suplai biodiesel. Dalam satu rantai suplai chain biodiesel, akan melibatkan paling tidak pertanian sawit, transportasi sawit ke pabrik CPO, pengolahan CPO, transportasi CPO ke pabrik biodiesel, produksi biodiesel, transportasi biodiesel ke

tempat pencampuran, transportasi minyak solar ke tempat pencampuran, proses pencampuran minyak solar dan biodiesel, transportasi bahan bahan campuran biodiesel ke SPBU.

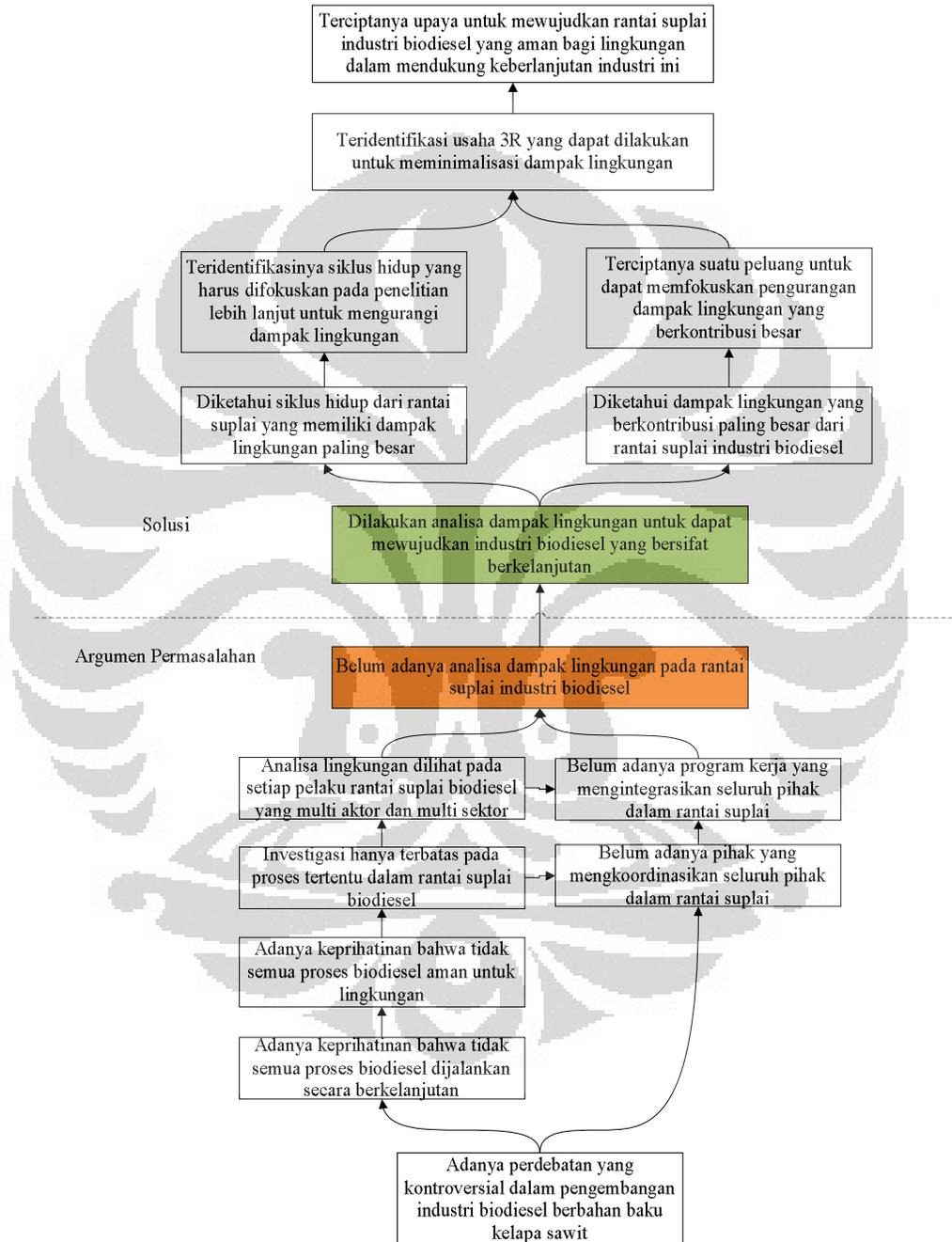
Pada awalnya, pemerintah Indonesia termotivasi oleh salah satu keuntungan dari Biodiesel untuk menciptakan lapangan kerja khususnya di daerah kecil (Harbrinderjit S. Dillon, Laan & Harya S. Dillon, 2008). Tujuan utama dari kebijakan pemerintah juga untuk mengurangi emisi gas rumah kaca atau polusi. Namun kemampuan biodiesel untuk menghasilkan semua dari tujuan ini tidaklah pasti. Pada sisi sosial dan ekonomi, terjadi kenaikan pada harga makanan dan efek pada bisnis pengolahan makanan (Harbrinderjit S. Dillon, Laan & Harya S. Dillon, 2008). Pada sisi lingkungan, kelemahan dari biodiesel meliputi tingginya input energi yang tinggi, peningkatan pembukaan hutan, dan peningkatan intensitas agrikultural (peningkatan penggunaan air, pupuk kimia, dan pestisida). Minyak sawit merupakan instrumen yang kuat untuk pengembangan ekonomi dan sosial, namun juga berkaitan dengan pencabutan hak milik tanah dari komunitas lokal, eksploitasi buruh, penebangan hutan, dan polusi. Pengembangan biodiesel berbahan baku minyak sawit telah menjadi perdebatan yang kontroversial.

Di sisi lain, kebutuhan untuk menjadikan biodiesel sebagai energi alternatif harus didukung oleh aspek keberlanjutan dalam pengembangan bioenergi ini. Keberadaan energi alternatif sebagai suatu solusi haruslah merupakan sebuah solusi jangka panjang yang mengusahakan biodiesel yang berkelanjutan dan bukan merupakan sebuah solusi sementara dalam rangka mencari energi alternatif sementara untuk dapat menanggulangi persediaan fosil yang menurun namun tidak berdampak baik bagi ekonomi, sosial dan lingkungan. Oleh karena itu untuk dapat mengupayakan aspek keberlanjutan itu, perlu dilakukan Analisis yang mendalam mengenai rantai suplai industri biodiesel ini dalam bidang lingkungan, ekonomi, dan sosial.

Pada penelitian ini, peneliti mengangkat bidang lingkungan sebagai fokus penelitian sebagai salah satu aspek yang berpengaruh dalam keberlanjutan. Analisis dampak lingkungan yang terjadi dalam rantai suplai industri biodiesel dibutuhkan untuk dapat mengevaluasi siklus hidup dari Biodiesel, dan juga untuk

mengevaluasi peluang untuk mengurangi dampak lingkungan sepanjang siklus hidup dari biodiesel dalam mengupayakan biodiesel yang berkelanjutan.

## 1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH



**Gambar 1. 2** Diagram Keterkaitan Masalah

### **1.3 RUMUSAN PERMASALAHAN**

Pokok permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah belum adanya Analisis dan evaluasi dampak lingkungan pada rantai suplai industri Biodiesel di Indonesia dalam mengusahakan industri biodiesel yang aman bagi lingkungan untuk mendukung keberlanjutan industri biodiesel sebagai solusi energi alternatif dalam permasalahan menipisnya energi fosil.

### **1.4 TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan yang akan dicapai dalam penyusunan skripsi ini antara lain:

1. Mengevaluasi dampak lingkungan dari seluruh siklus hidup dari biodiesel
2. Mengidentifikasi peluang untuk mengurangi dampak lingkungan sepanjang siklus hidup dari biodiesel

### **1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN**

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah

1. Pendefinisian model industri biodiesel berdasarkan satu rantai suplai industri biodiesel berbahan baku minyak kelapa sawit di Indonesia yang terdiri atas satu perkebunan kelapa sawit, satu pabrik mill CPO (PKS), dan pabrik Biodiesel.
2. Untuk membatasi ruang lingkup permasalahan, pada rantai suplai ini semua FFB 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.
3. Skenario dalam penelitian ini mencakup luas lahan, laju pembukaan lahan, kelas lahan, jenis lahan, serta teknik pembukaan lahan.
4. Analisis dampak lingkungan dilakukan untuk jangka waktu selama 25 tahun.

## 1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang akan digunakan, dipaparkan melalui diagram alir pada gambar 1.3. Berikut adalah penjelasannya:

### 1. Penentuan Topik Penelitian

Pada tahap ini, peneliti menentukan topik penelitian skripsi yang dimulai dengan penentuan topik permasalahan, dilanjutkan dengan perumusan permasalahan, penentuan tujuan penelitian, dan diakhiri dengan penentuan ruang lingkup penelitian

### 2. Penyusunan Dasar Teori

Pada tahap ini, peneliti memulainya dengan mencari dan mengumpulkan landasan teori yang berkaitan dengan topik penelitian. Teori yang diperlukan dalam penelitian ini diantaranya adalah industri kelapa sawit mulai dari perkebunan, hingga proses pengolahan CPO (MKS), industri biodiesel dan proses pengolahannya, *Life Cycle Analisis*, dan perhitungan stoikiometri. Selain itu, peneliti juga mencari jurnal yang berkenaan dengan industri kelapa sawit, industri biodiesel, serta evaluasi dalam bidang lingkungan.

### 3. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan mencari data sekunder yang menunjukkan *life cycle inventory* berupa kumpulan input dan output dari setiap unit bisnis dalam rantai suplai industri biodiesel, dan faktor-faktor konversi dalam perhitungan Life cycle assessment.

### 4. Pengolahan Data dan Analisis

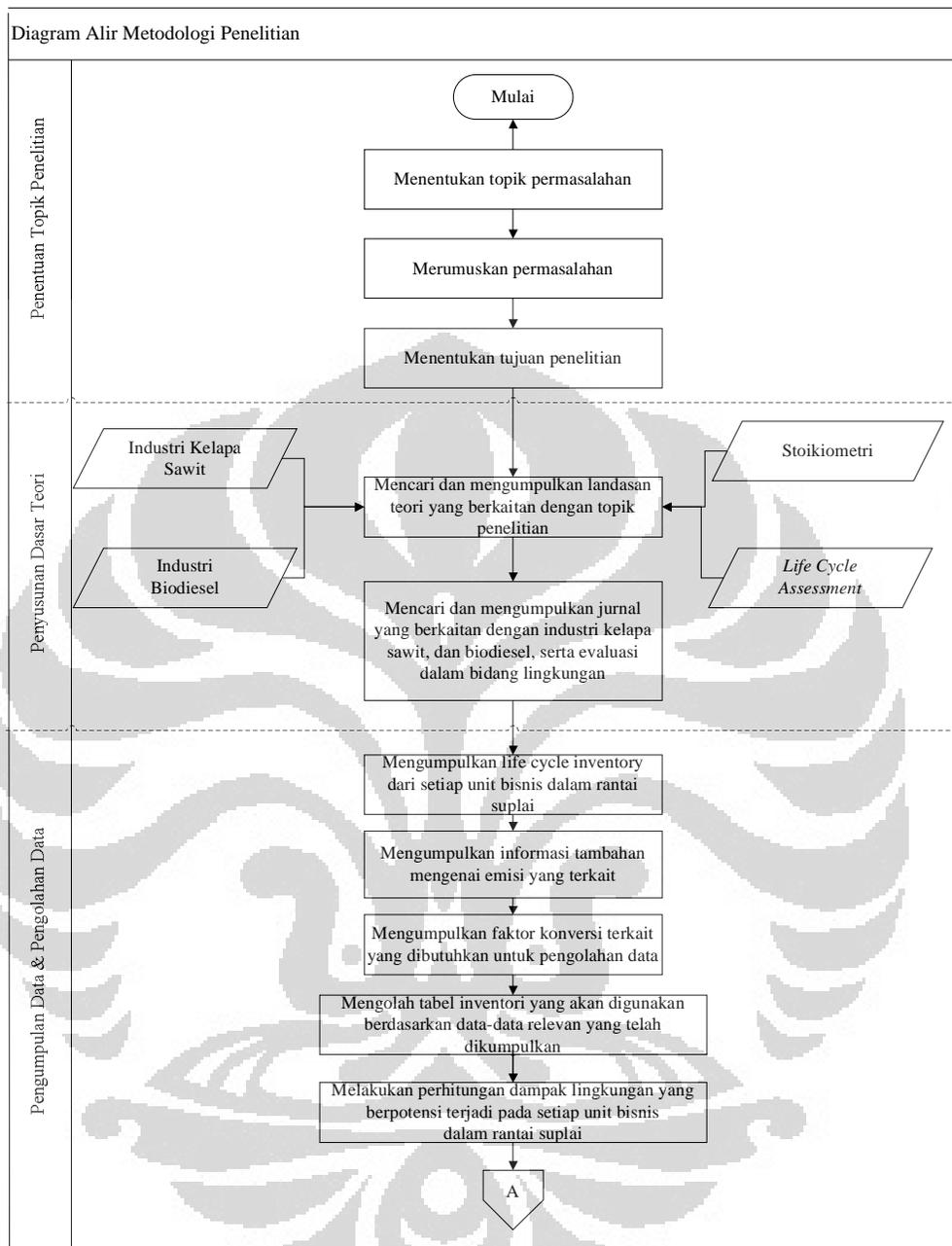
Pengolahan data dilakukan dengan melakukan

- menghitung input dan output pada setiap unit bisnis di rantai suplai ini.
- identifikasi input dan output yang mengakibatkan dampak-dampak lingkungan pada kategori yang sudah ditetapkan dalam LCA ini.
- perhitungan bagi semua kategori dampak sudah ditetapkan sesuai dengan metode LCA.
- Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil kategori dampak satu sama lain untuk mendapatkan kategori dampak manakah yang paling signifikan terhadap lingkungan

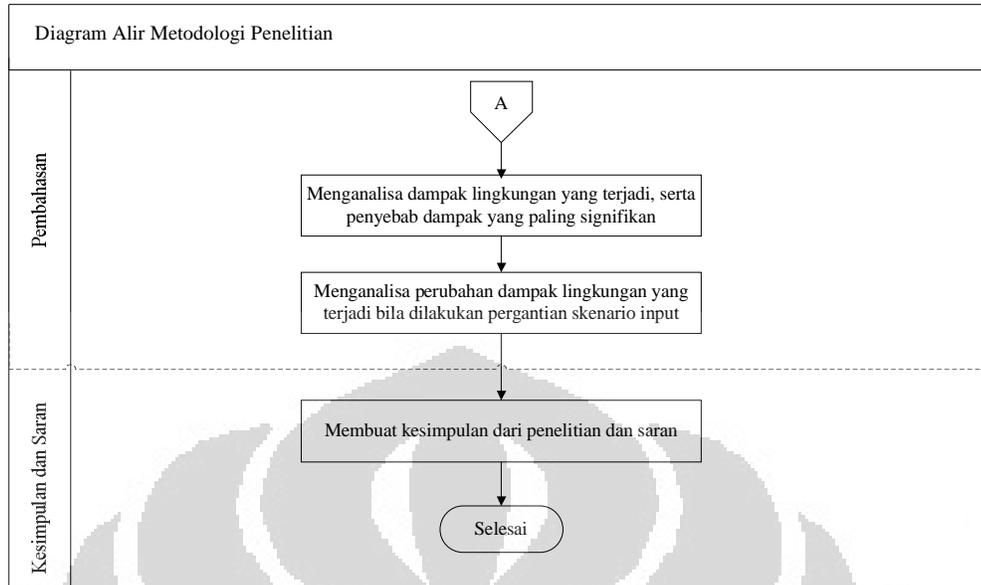
- Analisis perbandingan dampak yang dihasilkan pada setiap siklus hidup untuk dapat mengidentifikasi pada siklus hidup manakah yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap lingkungan
- Perhitungan dampak lingkungan dengan menggunakan beberapa skenario yang berbeda untuk melihat perubahan dampak lingkungan yang terjadi
- Analisis perbandingan dampak lingkungan dengan menggunakan skenario input yang berbeda
- dari keseluruhan Analisis, kemudian diidentifikasi peluang usaha untuk dapat meminimalisasi dampak lingkungan yang mungkin dapat terjadi.

#### 5. Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap terakhir penelitian yakni, penarikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang didapat.



Gambar 1. 3 Diagram Alir Metodologi Penelitian



**Gambar 1.3** Diagram Alir Metodologi Penelitian (sambungan)

## 1.7 SISTEMATIKA PENELITIAN

Secara umum, pembahasan penelitian ini terdiri dari beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian ini, diagram keterkaitan masalah, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

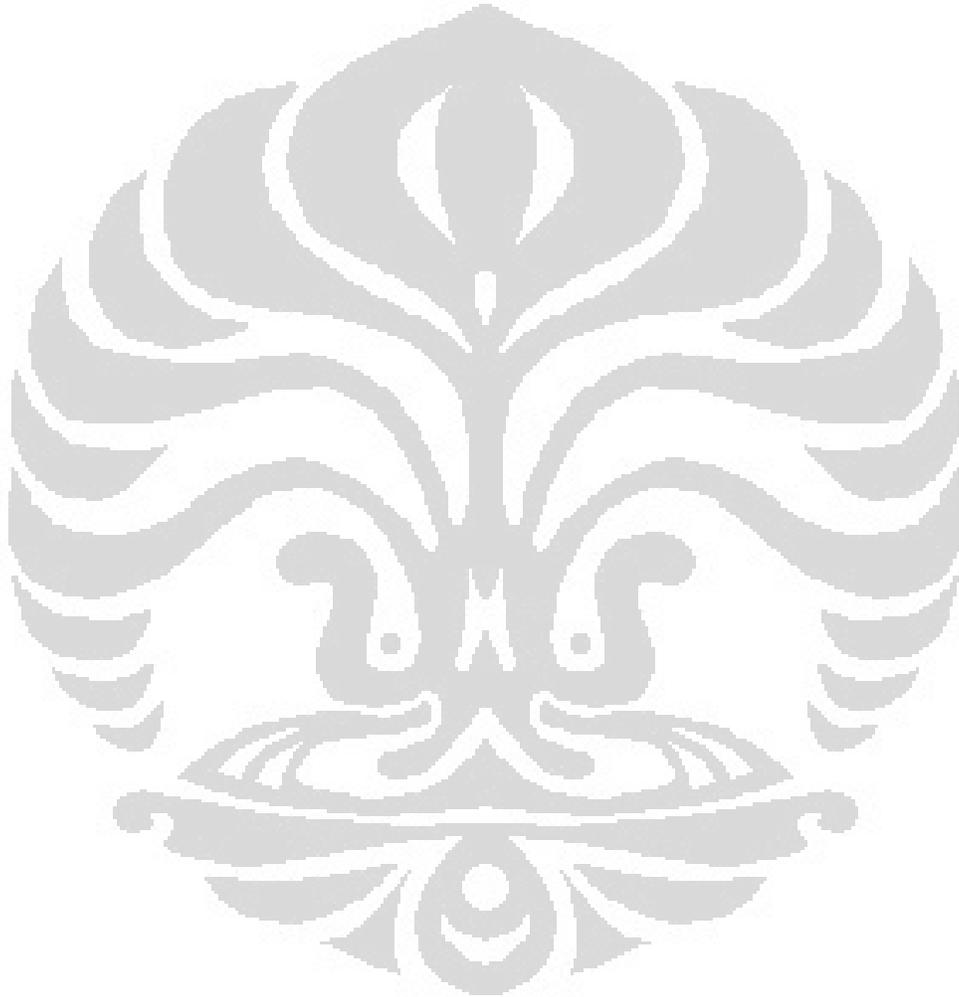
Bab 2 merupakan tinjauan pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini. Tinjauan pustaka yang dibahas meliputi industri kelapa sawit, industri biodiesel serta proses pengolahannya, *life cycle assessment* dan stoikiometri.

Bab 3 berisi tentang metode penelitian yang terdiri atas pengumpulan data dan pengolahan data. Pengumpulan data dilakukan dengan mencari data sekunder yang menunjukkan *life cycle inventory* berupa kumpulan input dan output dari setiap unit bisnis dalam rantai suplai industri biodiesel, dan faktor-faktor konversi dalam perhitungan *life cycle assessment*. Pengolahan data dilakukan dengan melakukan studi *life cycle assessment* untuk menghitung dampak lingkungan yang terjadi, dan

Bab 4 berisi tentang pembahasan. Pembahasan dilakukan pada kategori dampak yang signifikan serta unit bisnis yang memberikan dampak terbesar pada

lingkungan. Pembahasan selanjutnya adalah mengenai hasil dari beberapa skenario input untuk dapat melihat perbedaan dampak lingkungan yang terjadi.

Bab 5 merupakan kesimpulan dari keseluruhan penelitian ini. Dari kesimpulan tersebut, penulis akan menyajikan saran berdasarkan hasil penelitian.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 INDUSTRI KELAPA SAWIT

##### 2.1.1 Tanaman Kelapa Sawit

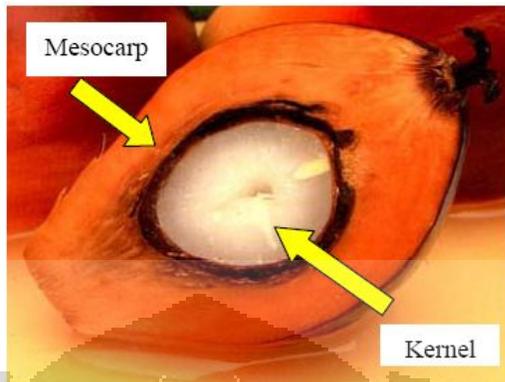
Dalam dunia botani, semua tumbuhan diklasifikasikan untuk memudahkan dalam klasifikasi secara ilmiah. Tanaman kelapa sawit diklasifikasikan sebagai berikut

Divisi : Embryophyta Siphonagama  
Kelas : Angiospermae  
Ordo : Monocotyledonae  
Famili : Arecaceae (Palmae)  
Subfamili : Cocoideae  
Genus : Elaeis  
Spesies : 1. *E. guineensis* Jacq.  
2. *E. oleifera* (H.B.K.) Cortes  
3. *E. odora*

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

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

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



**Gambar 2. 1** Buah Kelapa Sawit

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

### 2.1.2 Perkebunan Kelapa Sawit

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

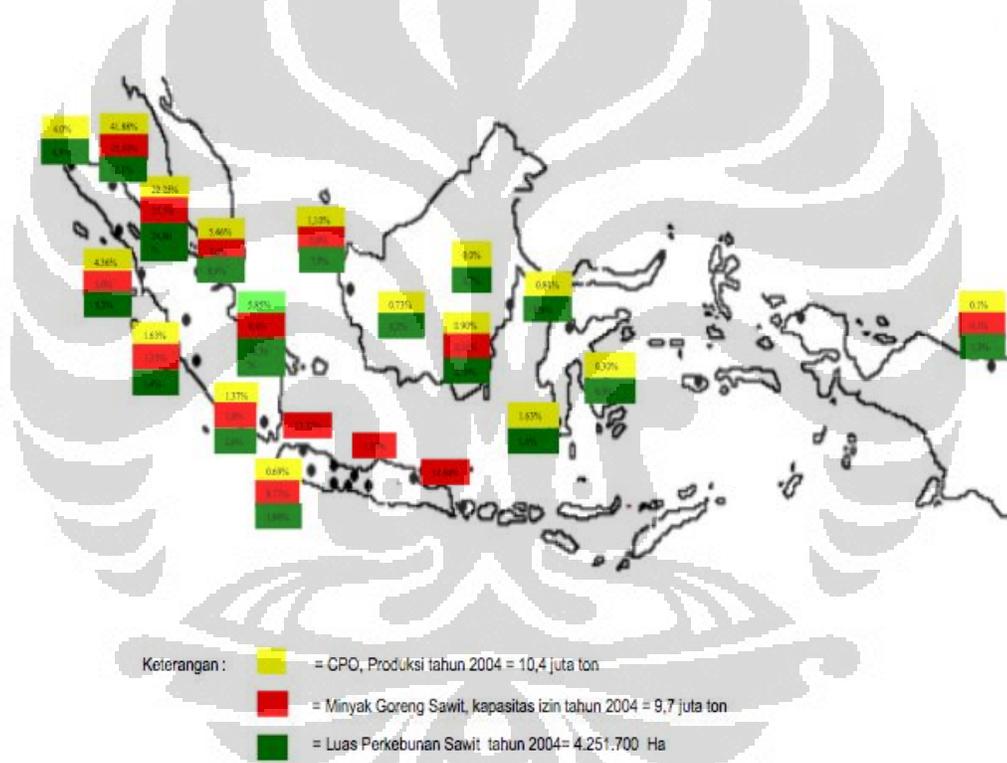
- Curah hujan  $\geq 2.000$  mm/tahun dan merata sepanjang tahun dengan periode bulan kering ( $< 100$  mm/bulan) tidak lebih dari 3 bulan.
- Temperatur siang hari rata-rata 29-33 °C dan malam hari 22-24 °C.
- Ketinggian tempat dari permukaan laut  $< 500$  m.
- Matahari bersinar sepanjang tahun, minimal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

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



**Gambar 2. 2** Peta Wilayah Penyebaran Lahan Kelapa Sawit di Indonesia

(sumber: “Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit”, Depperin, 2007)



**Gambar 2. 3** Peta Persebaran Luas Lahan dan Produksi Kelapa Sawit di Indonesia

(sumber: “Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit”, Depperin, 2007)

Kelapa sawit merupakan tanaman tahunan yang memiliki periode pertumbuhan vegetatif pada awal pertumbuhan. Periode ini dikenal dengan tanaman belum menghasilkan (TBM). Selama periode TBM, biaya yang dikeluarkan tanaman bersifat investasi jangka panjang. Biaya investasi tersebut

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

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

#### 2.1.2.1 Kriteria Lahan Perkebunan Kelapa Sawit

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

**Tabel 2. 1** Kriteria Keadaan Tanah unuk Pengusahaan Kelapa Sawit

No	Keadaan Tanah	Kriteria Baik	Kriteria Kurang Baik	Kriteria Tidak Baik
1	Lereng	< 12°	12° - 23°	> 23°
2	Kedalaman solum tanah	> 75 cm	37,5 - 75 cm	< 37.5 cm
3	Ketinggian muka air tanah	< 75 cm	75 - 37,5 cm	< 37.5 cm
4	Tekstur	lempung atau liat	lempung berpasir	pasir berpeiempung atau pasir
5	Struktur	perkembangan kuat	perkembangan sedang	perkembangan lemah atau masif
6	Konsistensi	gembur sampai agak teguh	teguh	sangat teguh
7	Permeabilitas	sedang	cepat atau lambat	sangat cepat atau sangat lambat
8	Keasaman (pH)	4,0 - 6,0	3,2 - 4,0	< 3,2
9	Tebal gambut	0 - 60 cm	60 - 150 cm	> 150 cm

(sumber: Pangudijanto, Purba, 1987)

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

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

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

**Tabel 2. 2** Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Pengusahaan Kelapa Sawit

No	Unsur Kemampuan	S1	S2	S3	N
1	Zone agroklimat	A: 9/2	B2: 7-9/2-3	D1: 3-4/2	D2: 3-4/2-3
2	Oldeman	B1: 7-9/2	C1: 5-6/2	C2: 5-6/2-3	D3: 4-6/6; E1: 3/2; E2: 3/2-3; E3: 3/4-6
3	Ketinggian dari permukaan air laut	25-200 m	200-300 m	300-400 m	< 25 m
4	Bentuk daerah dan lereng	datar-ombak (< 10% (4,5°))	ombak-gelombang (10-22% (4,5°-10°))	gelombang-bukit (22-50% (10°-22,5°))	bukit-gunung (>50% (>22,5°))
5	Batuan di permukaan dan dalam tanah	< 10%	10 - 25%	25 - 50%	> 50%
6	Kedalaman solum tanah	> 100 cm	50 - 100 cm	25 - 50 cm	< 25 cm
7	Kedalaman air tanah	> 100 cm	50 - 100 cm	25 - 50 cm	< 25 cm
8	Tekstur tanah	lempung berdebu, lempung berpasir, lempung liat, liat berpasir	liat, liat berlempung, lempung berpasir	liat berat, pasir berliat, pasir berdebu, pasir berlempung	liat sangat berat, pasir kasar
9	Struktur tanah	remah kuat, gempal sedang	remah sedang, gempal sedang		masif

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

**Tabel 2.2** Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Pengusahaan Kelapa Sawit  
(sambungan)

No	Unsur Kemampuan	S1	S2	S3	N
10	Konsistensi tanah	sangat gembur, tidak lekat	gembur, agak lekat	teguh/keras, lekat	sangat teguh, sangat keras
11	Kelas drainase	sedang	agak cepat atau lambat	cepat atau lambat	sangat cepat atau lambat, tergenang
12	Erodibilitas	sangat rendah	rendah/sedang	agak tinggi	sangat tinggi
13	Kemasaman tanah	5,0 - 6,0	4,0 - 4,9	3,5 - 3,9	< 3,5
14	pH	4,0 - 6,0	6,1 - 6,5	6,6 - 7,0	> 7,0
15	Kesuburan tanah	tinggi	sedang	rendah	sangat rendah

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

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

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

Berikut ini data produktifitas setiap kelas lahan terhadap waktu.

**Tabel 2. 3** Produktivitas Lahan berdasarkan Kelas Lahan

Tahun	Kelas Lahan (ton TBS/ha/tahun)			
	Kelas I	Kelas II	Kelas III	Kelas IV
Tahun 1	0	0	0	0
Tahun 2	0	0	0	0
Tahun 3	18	15	12	10
Tahun 4	17	15	13	10
Tahun 5	21	18.5	16	14
Tahun 6	25	22.5	19	16
Tahun 7	28	25	23	18.5
Tahun 8	30	28	25	21.5
Tahun 9	30	28	25	21.5
Tahun 10	30	28	25	21.5
Tahun 11	30	28	25	21.5
Tahun 12	30	28	25	21.5
Tahun 13	30	28	25	21.5
Tahun 14	27	25	22.5	20.5
Tahun 15	27	25	22.5	20.5
Tahun 16	25	24	21.5	20
Tahun 17	25	24	21.5	20
Tahun 18	24	22.5	20	19
Tahun 19	24	22.5	20	19
Tahun 20	22	21	18.5	18
Tahun 21	22	21	18.5	18
Tahun 22	20	18.5	17.5	16
Tahun 23	20	18.5	17.5	16
Tahun 24	18	17.5	16.5	14.5
Tahun 25	18	17.5	16.5	14.5

(sumber: Syukur & Lubis, 1989)

### 2.1.2.2 Pembukaan Lahan

Pembukaan lahan adalah kegiatan yg dilakukan mulai dari perencanaan tata ruang dan tata letak lahan sampai dengan pembukaan lahan secara fisik. Perencanaan tata ruang dan tata letak lahan merupakan bagian dari persiapan lahan untuk pembangunan perkebunan kelapa sawit. Penelitian terhadap lahan juga diperlukan mengenai topografi, iklim, status dan tata guna lahan, tanah, jaringan saluran air dan sungai, jaringan jalan, serta perkampungan dan penduduk (Pahan, 2008).

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

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

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

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

Salah satu alternatif pengganti teknik tebang dan bakar adalah teknik tanpa bakar. Var Noordwijk et al. (1995) mengusulkan teknik *slash and mulch*, dimana vegetasi tidak ditebang, namun ditumpuk dan dibiarkan terdekomposisi secara alami dan berfungsi sebagai mulsa. Alasan utama penggunaan teknik tanpa bakar dalam pembukaan lahan adalah karena sistem ini dapat

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

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

#### 2.1.2.3 Pemupukan

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

Tanaman terdiri dari 92 unsur, tetapi hanya 16 unsur esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Dari 16 unsur tersebut, unsur C, H, dan O diperoleh dari udara dan air (dalam bentuk CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O), sedangkan 13 unsur mineral esensial lainnya diperoleh dari dalam tanah dan secara umum digolongkan sebagai “hara”.

Unsur hara makro (N, P, K, S, Ca, dan Mg) dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar yang kandungan (nilai) kritisnya antara 2-30 gram/kg berat kering tanaman. Unsur hara makro tersebut terdiri dari unsur hara utama (N, P, K) dan unsur hara sekunder (S, Ca, dan Mg). Unsur hara utama diberikan dalam bentuk pupuk pada seluruh jenis tanaman dan seluruh jenis lahan. Dalam hal ini, N

diserap dalam bentuk ion  $\text{NH}_4^+$ , P dalam Kation  $\text{P}_5^+$  dan K dalam kation  $\text{K}^+$ . Sementara unsur hara sekunder hanya diberikan pada beberapa jenis tanaman pada jenis lahan tertentu. Dalam hal ini, S diserap dalam bentuk anion  $\text{SO}_4^{2-}$ , Ca dalam kation  $\text{Ca}^{2+}$  dan Mg dalam kation  $\text{Mg}^{2+}$ .

Unsur hara mikro (7 unsur) dibutuhkan dalam jumlah relatif kecil yang kandungan kritisnya berkisar antara 0.3 – 50 mg/kg berat kering tanaman. Dari unsur hara mikro ini, 5 unsur merupakan logam berat (Fe, Mn, Zn, Cu, dan Mo) yang diserap tanaman dalam bentuk kation divalen atau kelat, kecuali MO yang diserap dalam bentuk anion divalent molibdat ( $\text{MoO}_4$ ). Dua unsur hara bukan-logam (Cl dan B) diserap tanaman dalam bentuk anion  $\text{Cl}^-$  dan kation  $\text{B}^{3+}$ ) Beberapa unsur hara mineral memberikan pengaruh yang menguntungkan pada beberapa jenis tanaman, tetapi tidak bersifat esensial seperti Na, Si, Co, Cl, dan Al.

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

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

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

(ZA) yang mengandung N dan S. Kandungan hara dalam pupuk secara tradisional dinyatakan dalam bentuk oksida ( $P_2O_5$ ) dan dalam bentuk unsur (N, P, dan K).

**Tabel 2. 4** Pupuk Anorganik dan Kandungan Hara Utamanya

Jenis Hara	Tipe Pupuk	Nama Pupuk	Kandungan Hara		
			Unsur /Oksida	%	
Nitrogen (N)	Ammonium	<i>Ammonia</i>	N	80	
		<i>Ammonium Sulphate (ZA)</i>	N	21	
			S	24	
	Nitrat		<i>Ammonium Bicarbonate</i>	N	17
			<i>Calcium Nitrate</i>	N	16
			<i>Sodium Nitrate</i>	N	16
	Ammonium Nitrat		<i>Ammonium Nitrate</i>	N	1.k. 34
			<i>Calcium Ammonium Nitrate</i>	N	21-27
			<i>Ammonium Sulphate Nitrate</i>	N	26-30
	Amida		<i>Urea</i>	N	45-46
			<i>Calcium Cyanamide</i>	N	20
	Cair		<i>Urea Ammonium Nitrate Solution</i>	N	28-32
Majemuk		<i>Hi-Kay Plus</i>	N	13	
			P	6	
			K	27	
			Mg	4	
			B	0.65	
Nitrogen (N)	Majemuk, lambat tersedia	<i>Controlled released meister</i>	N	20	
			P	6	
			K	14	
			Mg	3	

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

**Tabel 2.4** Pupuk Anorganik dan Kandungan Hara Utamanya (sambungan)

Jenis Hara	Tipe Pupuk	Nama Pupuk	Kandungan Hara	
			Unsur /Oksida	%
Fosfat (P)	Dapat larut dalam air	<i>Single super phosphate</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18-20
		<i>Super phosphate 36</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	32
		<i>Triple super phosphate</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	45
			CaO	28
	Sebagian dapat larut dalam air	<i>Party acidulated phosphate</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	l.k. 18
	Bereaksi lambat	<i>Dicalcium phosphate (citrate soluble)</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14
			<i>Basic slag (citric acid soluble)</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Bereaksi sangat lambat	<i>Rock phosphate</i> (tepung halus) yang reaktivitasnya ditentukan dengan kelarutan asam format	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	29-34
			CaO	35
Kalium (K)	Dapat larut dalam air dan bereaksi cepat	<i>Muriate of potash</i> (MOP/KCl)	K <sub>2</sub> O	60
			Cl	50
		<i>Potassium sulphate</i>	K <sub>2</sub> O	50
		<i>Potassium magnesium sulphate</i>	K <sub>2</sub> O	40
			Mg	6
		Abu janjang kosong ( <i>bunch ash</i> )	N	0.37
			P	0.04
			K	0.91
	Mg	0.08		
Magnesium (Mg)	Bereaksi cepat	<i>Magnesium sulphate (Kieserite)</i>	MgO	27
			<i>Magnesium sulphate (epsom salts)</i>	Mg
		<i>Potassium magnesium sulphate</i>	K <sub>2</sub> O	40
			Mg	6
	Bereaksi lambat	<i>Magnesium carbonate (dolomit)</i>	MgO	18-20
			CaO	50

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

**Tabel 2.4** Pupuk Anorganik dan Kandungan Hara Utamanya (sambungan)

Jenis Hara	Tipe Pupuk	Nama Pupuk	Kandungan Hara	
			Unsur /Oksida	%
Kalsium (Ca)		<i>Limestone dust (LSD)</i>	CaO	50
			MgO	1-3
Besi	Kelat ( <i>chelate</i> )	Fe-EDTA	Fe	9
		Fe-EDDHA	Fe	6
Mangan (Mg)	Dapat larut dalam air dan bereaksi cepat	<i>Mn-sulphate</i>	Mn	24-32
		Mn-EDTA	Mn	13
Seng (Zn)	Dapat larut dalam air	<i>Zn-Sulphate</i>	Zn	23
		<i>Chelated zincopper</i>	Zn	4
			Cu	8
Tembaga (Cu)	Dapat larut dalam air	<i>Cu-sulphate (CuSO4)</i>	Cu	23-25
Boron (B)	Dapat larut dalam air	<i>Sodium borate decahydrate (borax)</i>	B	11-22
		<i>High grade fertilizer borate (HGFB)</i>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48
Molibdenum (Mo)	Dapat larut dalam air	<i>Ammonium molybdate</i>	Mo	40-50
		<i>Na-molybdate</i>	Mo	40-50

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

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

**Tabel 2. 5** Jenis Pupuk/Limbah Organik di Perkebunan Kelapa Sawit

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

(sumber: Pahan, 2008)

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

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

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

**Tabel 2. 6** Kisaran Dosis Pupuk Kelapa Sawit pada Umur Tertentu

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

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

#### 2.1.2.4 Perlindungan Tanaman dengan Pestisida

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

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

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

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

- Racun fisik, misalnya minyak mineral berat

- Racun protoplasmik, misalnya logam berat
- Racun penghambat metabolik, misalnya Rotenon, HCN, dan HZS
- Racun saraf, misalnya senyawa fosfat organik dan analog DDT

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

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

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

- Racun kontak, misalnya Paraquat. Paraquat diformulasikan sebagai *dichloride salt*.

Paraquat memiliki rumus empiris  $C_{12}H_{14}N_2Cl_2$  dengan nama kimia *1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridylium ion* dan berat molekul 257 gram/mol.

- Racun sistemik, misalnya *Glyphosate*. *Glyphosate* memiliki rumus empiris  $C_3H_8NO_5P$  dengan berat molekul 169.07 gram/mol. Bahan aktifnya adalah *isopropylamine salt*
- Racun napas, misalnya  $H_2S$

### 2.1.3 Pengolahan Minyak dan Inti Sawit

FFB (TBS) diolah di pabrik kelapa sawit untuk diambil minyak dan intinya. Minyak dan inti yang dihasilkan dari PKS merupakan produk setengah jadi. Minyak mentah atau *crude palm oil/CPO* (MKS) dan inti (kernel/IKS) harus diolah lebih lanjut untuk dijadikan produk jadi lainnya.

Stasiun proses pengolahan FFB (TBS) menjadi CPO (MKS) dan Kernel (IKS) umumnya terdiri dari 6 stasiun utama:

#### 1. Penerimaan buah (*fruit reception*)

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

2. Rebusan (*sterilizer*)

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

3. Pemipilan (*stipper*)

Proses ini merupakan proses untuk melepaskan brondolan dari tandan.

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

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

5. Pemurnian (*clarifier*)

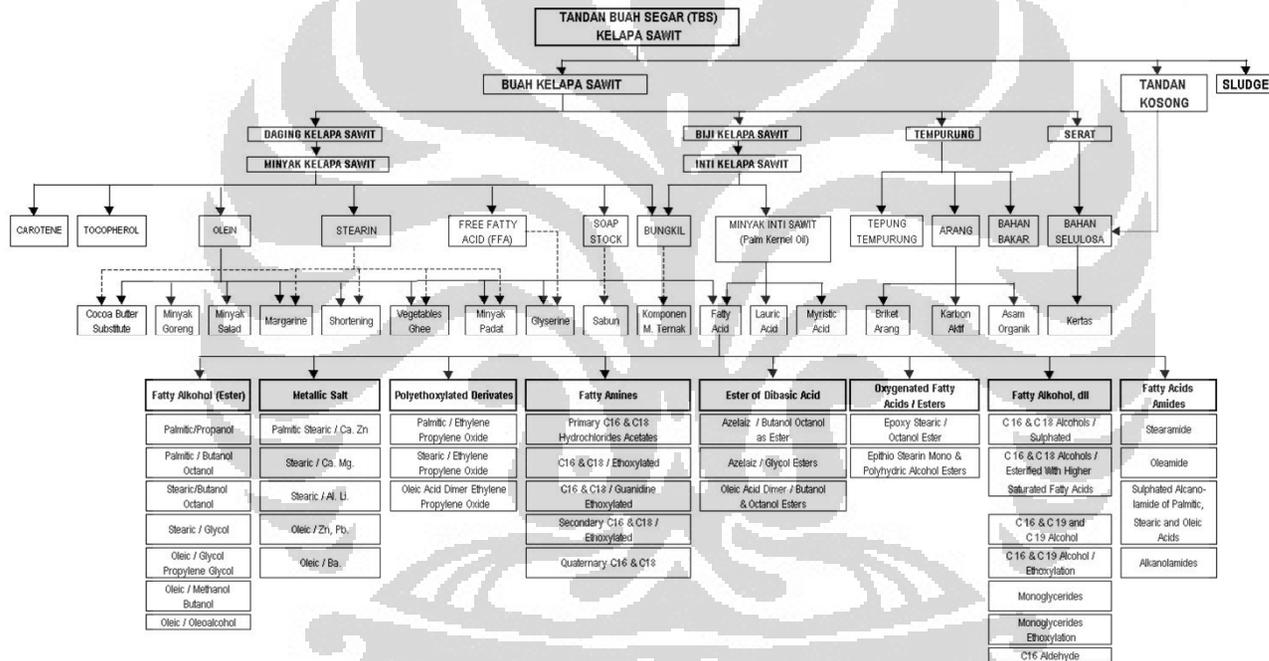
Pada proses ini, dilakukan pemurnian MKS dari kotoran seperti padatan, lumpur, dan air.

6. Pemisahan biji dan kernel (*kernel*)

Proses yang dilakukan disini adalah untuk memperoleh biji sebersih mungkin.

2.1.4 Agribisnis Kelapa Sawit

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



Gambar 2. 4 Pohon Industri Agribisnis Kelapa Sawit

(sumber: “Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit”, Depperin, 2007)

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

#### 2.1.5 Isu Lingkungan dalam Industri Kelapa Sawit

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

Perluasan lahan perkebunan kelapa sawit yang merambah pada hutan primer dan lahan gambut merupakan faktor pendorong utama meningkatnya emisi gas rumah kaca Indonesia. Laju kerusakan hutan Indonesia saat ini adalah yang

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

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

#### 2.1.6 RSPO

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

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

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

RSPO didirikan pada tahun 2004 sebagai respon atas kebutuhan dunia terhadap minyak kelapa sawit yang diproduksi secara berkelanjutan, dengan

tujuan untuk mempromosikan pertumbuhan dan penggunaan produk minyak kelapa sawit yang berkelanjutan dengan standar global yang dipercaya dan dengan kesepakatan perjanjian dengan para *stakeholder*.

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

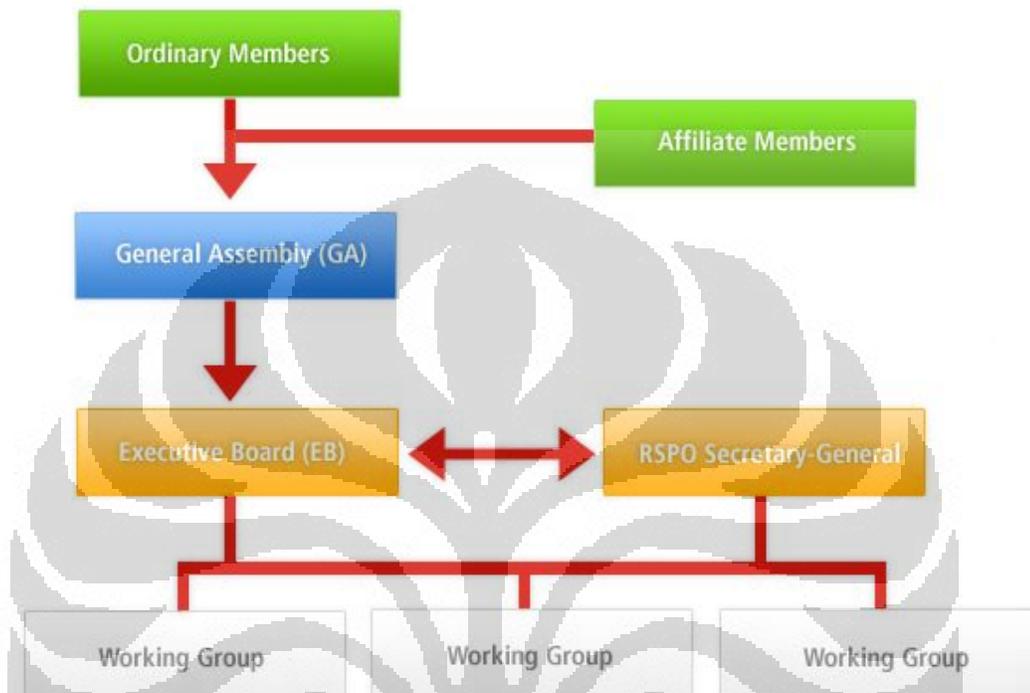
#### 2.1.6.1 Struktur Organisasi RSPO

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

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

Struktur organisasi dalam RSPO digambarkan sebagai berikut:

### RSPO Organizational Chart



**Gambar 2.5** Struktur Organisasi RSPO

(sumber: RSPO, n.d.)

#### 2.1.6.2 RSPO di Indonesia

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

Anggota RSPO Indonesia adalah:

- GAPKI
- PT. Musim Mas
- WWF- Indonesia
- Sawit Watch
- PT. Socfin Indonesia
- PT. Agro Indomas
- PT. SMART Tbk
- PT. PP Lonsum Tbk
- Sumi Asih Oleochemical
- Inti Indosawit Subur
- HSBC Indonesia
- PT. Tunas Baru Lampung Tbk
- PT. Agro Bukit
- Permata Hijau Group
- Agro Jaya Perdana
- Sawit Mas Group
- Flora Sawita Chemindo

(RSPO, 2006)

#### 2.1.6.3 Inisiatif RSPO

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

1. Pendefinisian minyak kelapa sawit yang berkelanjutan/*sustainable palm oil*

RSPO telah mengembangkan *principle & criteria (P&C)* yang mendefinisikan praktek produksi minyak kelapa sawit yang berkelanjutan. Standar ini mencakup kebutuhan hukum, ekonomi, lingkungan dan sosial untuk memenuhi produksi minyak kelapa sawit yang berkelanjutan.

## 2. Pertimbangan perbedaan antar Negara

*National interpretation* adalah sebuah proses dimana *stakeholder* perwakilan dari sebuah Negara membentuk sebuah *working group* untuk memastikan kesesuaian antara P&C dan hukum, norma, serta nilai-nilai yang dianut oleh suatu Negara.

## 3. Keterlibatan *smallholder*

*Smallholder* dalam industri palm oil adalah *stakeholder* yang penting bagi RSPO dan keanggotannya diusahakan dalam beberapa cara termasuk dengan pemotongan biaya keanggotaan. RSPO saat ini sedang mengembangkan panduan dan skema sertifikasi khusus bagi *smallholder* untuk mengaplikasikan P&C dalam produksi minyak kelapa sawit.

## 4. Kebenaran/Keaslian minyak kelapa sawit yang berkelanjutan

RSPO sedang mengembangkan sebuah sistem sertifikasi untuk dapat mengenali bahwa minyak kelapa sawit tersebut diproduksi secara berkelanjutan. Produk akhir di pasar dapat mengajukan tuntutan dari penggunaan atau keterkandungan minyak kelapa yang telah disertifikasi oleh RSPO, dalam kondisi bahwa minyak kelapa sawit yang digunakan di dalam product tersebut dapat ditelusuri hingga ke sumber perkebunan yang telah disertifikasi. (RSPO

### 2.1.6.4 Skema Sertifikasi

Pelaksanaan sertifikasi dilaksanakan oleh badan sertifikasi, yang sebelumnya harus melewati prosedur yang telah ditentukan oleh RSPO untuk dapat dianggap layak dapat melakukan sertifikasi ini

Skema Sertifikasi terdiri atas tiga elemen utama (RSPO, 2007), yaitu:

- Standar sertifikasi

Standar ini menunjukkan kebutuhan-kebutuhan yang harus dipenuhi untuk sertifikasi. Produksi minyak kelapa sawit yang berkelanjutan dapat berjalan dengan mengaplikasikan P&C dari RSPO dan juga indikator serta panduannya. *National interpretation* mengenai indikator dan panduan internasional akan juga dikembangkan dalam usaha untuk menjaga dan

mengendalikan kualitas dari indikator dan panduan yang akan menjadi sumber interpretasi resmi, terutama dalam konteks hukum. *National interpretation* akan membutuhkan persetujuan dari RSPO dengan langkah partisipasi (dengan persetujuan RSPO atas komposisi *working group* yang melibatkan *stakeholder* yang berasal dari sektor yang berbeda-beda), proses (pembuatan *national interpretation* oleh *working group*, uji coba lapangan, serta konsultasi umum), dan persetujuan (*draft* dari *national interpretation* diserahkan kepada RSPO untuk persetujuan secara formal)

- Kebutuhan akreditasi

Ini adalah mekanisme persetujuan untuk memastikan bahwa organisasi yang melaksanakan sertifikasi adalah organisasi yang kompeten dan menghasilkan hasil yang konsisten dan dapat dipercaya. Beberapa mekanisme dalam persetujuan dan pengawasan badan sertifikasi adalah: akreditasi ISO Guide 65/66, akreditasi badan sertifikasi oleh sebuah badan sertifikasi nasional atau internasional, kesesuaian operasi badan akreditasi dengan ISO 17011:2004, penugasan badan sertifikasi untuk membantu penanganan komplain mengenai RSPO, dan demonstrasi badan sertifikasi yang menjelaskan sistem akreditasi yang dimiliki telah sesuai dengan kebutuhan.

- Kebutuhan proses sertifikasi

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

## 2.2 BIODIESEL

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

Sebuah proses dari transesterifikasi lipid digunakan untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Setelah melewati proses ini, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip

dengan diesel (*solar*) dari minyak bumi, dan dapat menggantikannya dalam banyak kasus.

### 2.2.1 Peran Biodiesel dalam Transportasi

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

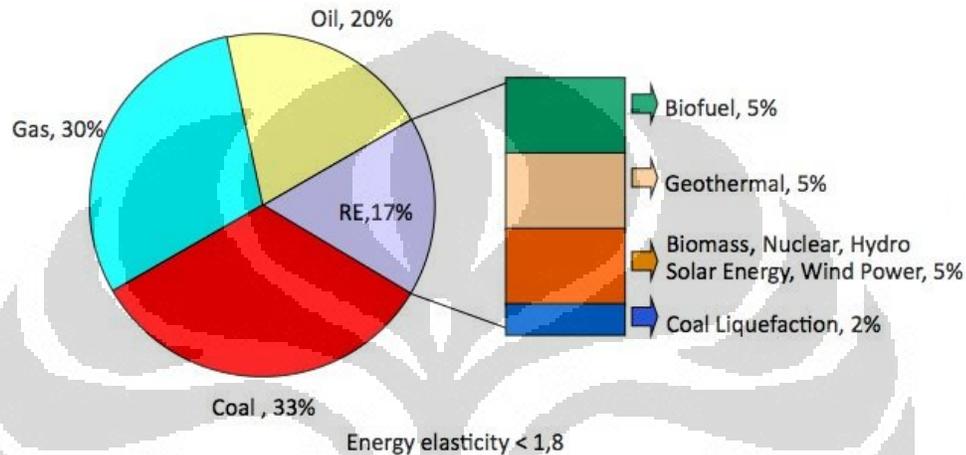
*Biofuel B5* merupakan campuran dari 95 persen solar (HSD) dengan 5 persen *fatty acid methyl esters* (FAME). Ini merupakan produk transesterifikasi dari *crude palm oil*. Biosolar merupakan nama dagang Pertamina untuk biofuel B5 tersebut. Biosolar merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah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

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

### 2.2.2 Mandat Penggunaan Bahan Bakar Nabati

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

**National Energy Mix 2025 (3 billion BOE)**



**Gambar 2. 6** Target Bauran Energi Nasional

(Sumber: Potensi Pengembangan BBN, Depperin, 2008)

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

**Tabel 2. 7** Target Minimum Penggunaan Biodiesel untuk Berbagai Sektor

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

(Sumber: Potensi Pengembangan BBN, Depperin, 2008)

**Tabel 2. 8** Target Minimum Penggunaan Bioethanol untuk Berbagai Sektor

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

(Sumber: Potensi Pengembangan BBN, Depperin, 2008)

## 2.3 LIFE CYCLE ASSESSMENT

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

### 2.3.1 Karakteristik Umum dari LCA

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

#### 2.3.1.1 Definisi LCA

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

Efek lingkungan mencakup berbagai jenis dari dampak bagi lingkungan, termasuk ekstraksi dari berbagai jenis sumber daya, emisi bahan berbahaya dan penggunaan lahan dengan tipe yang berbeda. LCA harus diusahakan untuk

memiliki nilai kuantitatif, sehingga semua dampak lingkungan yang dihasilkan dapat dilaporkan selengkap mungkin.

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

Beberapa aplikasi utama dari LCA adalah untuk

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

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

#### 2.3.1.2 Batasan dari LCA

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

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

Model LCA berfokus pada karakteristik fisik dari aktivitas industri dan proses ekonomi lainnya, dan tidak termasuk mekanisme pasar, atau efek lain dalam pengembangan teknologi. Secara umum, LCA menganggap semua proses bersifat linear, baik dalam ekonomi dan dalam lingkungan. LCA merupakan sebuah alat bantu berdasarkan pemodelan linear.

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

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

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

### 2.3.2 Metodologi

Metodologi dalam LCA terdiri atas empat fase utama:

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

#### 2.3.2.1 Pendefinisian Tujuan dan Lingkup

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 2.3.2.2 Analisis Inventori

Analisis inventori merupakan fase dimana sistem produk didefinisikan.

Fase ini terdiri atas beberapa tahap:

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

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

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

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

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

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

Pada umumnya, proses industri bersifat *multifunctional*, dimana output yang dihasilkan secara umum terdiri dari lebih dari 1 produk dan ada kemungkinan salah satu input bahan baku yang terdiri atas produk buangan. Oleh

karena itu dibutuhkan suatu keputusan untuk menentukan aliran ekonomi dan intervensi lingkungan mana yang akan dihubungkan dengan sistem produk.

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

### 2.3.2.3 Pengukuran Dampak

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

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

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

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

- Dampak bahan beracun pada ekosistem/*Ecotoxicity* (3 dampak)  
Terdiri atas 3 dampak, yaitu dampak bahan beracun pada ekosistem air tawar/*freshwater aquatic ecotoxicity*, dampak bahan beracun pada ekosistem air laut/*marine aquatic ecotoxicity*, dampak bahan beracun pada terestrial/*terrestrial ecotoxicity*.
- Pembentukan *photo-oxidant*
- Pengasaman/*acidification*
- *Eutrophication*

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

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

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

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

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

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

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

Sumber daya abiotik adalah sumber daya alam (termasuk sumber daya energi) seperti bijih besi, minyak mentah, dan energi angin, yang tergolong tidak hidup. Penipisan sumber daya abiotik merupakan salah satu dari kategori dampak yang paling sering didiskusikan dan tersedia banyak variasi metode yang dapat digunakan untuk mengkarakteristikan kontribusi pada kategori ini.

**Tabel 2. 9** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

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

Kategori ini berhubungan dengan berkurangnya lahan sebagai sumber daya alam, sehingga untuk sementara waktu tidak dapat digunakan.

**Tabel 2. 10** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Persaingan Lahan

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Perubahan iklim

Perubahan iklim didefinisikan sebagai dampak dari emisi manusia pada *radiative forcing* (contoh: penyerapan radiasi panas) pada atmosfer. Kebanyakan dari emisi ini meningkatkan *radiative forcing* dan meningkatkan suhu permukaan bumi. Hal ini dikenal sebagai efek gas rumah kaca.

**Tabel 2. 11** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Perubahan Iklim

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Penipisan lapisan ozon stratosfer

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

**Tabel 2. 12** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Lapisan Ozon Stratosfer

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Dampak bahan beracun pada manusia / *Human Toxicity*

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

**Tabel 2. 13** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Manusia

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Dampak bahan beracun pada ekosistem

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

**Tabel 2. 14** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

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

**Tabel 2. 15** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

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

**Tabel 2. 16** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Terestrial

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Pembentukan *photo-oxidant*

Pembentukan *photo-oxidant* adalah pembentukan dari senyawa kimia reaktif (seperti ozon) akibat sinar matahari, dengan sumber utama yaitu polusi udara primer tertentu. Senyawa reaktif ini dapat melukai manusia dan ekosistem dan dapat membahayakan tanaman pangan. *Photo-oxidant* dapat terbentuk pada lapisan troposfer dalam pengaruh sinar ultraviolet melalui proses oksidasi *photochemical* dari *Volatile Organic Compounds (VOCs)* dan karbon monoksida (CO) dengan adanya nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>).

**Tabel 2. 17** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Pembentukan *Photo-Oxidant*

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

- Pengasaman /*Acidification*

Polusi yang bersifat mengasamkan memiliki banyak dampak pada tanah, air bawah tanah, air di permukaan tanah, organisme biologi, ekosistem, dan material. Polusi yang bersifat mengasamkan yang paling utama adalah SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan NH<sub>x</sub>.

**Tabel 2. 18** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Pengasaman

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

- *Eutrophication*

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

**Tabel 2. 19** Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak *Eutrophication*

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

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

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

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

#### 2.3.2.4 Interpretasi

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

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

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

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

## 2.4 STOIKIOMETRI

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

### 2.4.1 Massa Atom

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

Berikut adalah beberapa massa atom relatif dari beberapa unsur

**Tabel 2. 20** Tabel Massa Atom Relatif

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

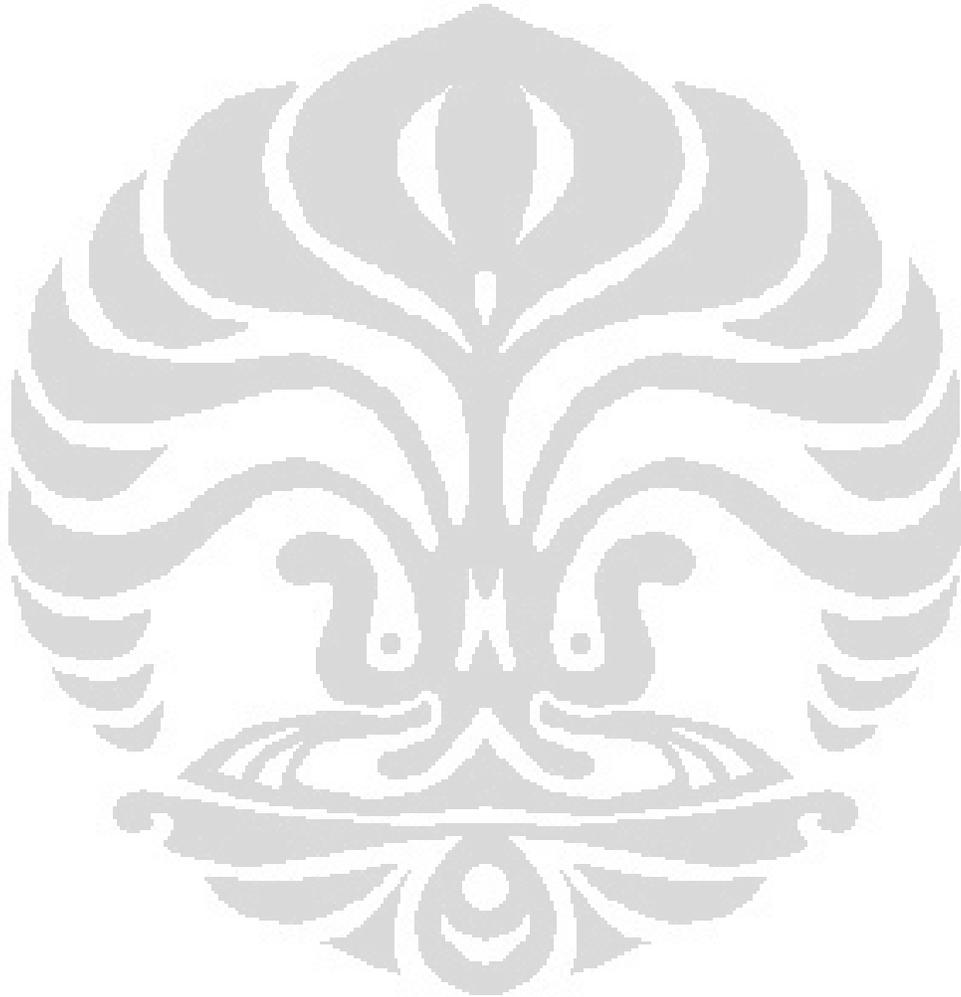
(sumber: Tabel Periodik Unsur Kimia, n.d.)

### 2.4.2 Massa Molekul

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

### 2.4.3 Rumus Empiris

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



## 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 tiga unit bisnis yang dibahas pada rantai suplai industri biodiesel ini, yaitu Perkebunan, Mill CPO (PKS), dan Pabrik Biodiesel. Data merupakan data sekunder yang dikumpulkan dari jurnal, hasil penelitian, serta buku yang berkaitan. Secara umum, berikut ini merupakan data yang akan dikumpulkan:

- *life cycle inventory* pada perkebunan,
- *life cycle inventory* pada Mill CPO (PKS),
- *life cycle inventory* pada pabrik Biodiesel.

Pada unit perkebunan, dikumpulkan data umum input-output pada perkebunan, data pupuk, data emisi, data produktivitas lahan, serta data unsur hara dalam pupuk. Pada unit *mill* CPO (PKS) dan unit pabrik biodiesel, dikumpulkan data umum input dan output pada masing-masing unit bisnis. Teknologi yang digunakan pada pabrik *mill* CPO (PKS) dan pabrik biodiesel merupakan teknologi konvensional (generasi pertama).

### 3.1.1 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 dan Output Perkebunan Kelapa Sawit per 1 ton FFB (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 <sup>3</sup>			
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:

- Pupuk untuk pemupukan awal dengan lahan 10.000 ha

**Tabel 3. 2** Kebutuhan Pupuk untuk 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)

- Pupuk untuk usia tanaman kelapa sawit 1-25 tahun

**Tabel 3. 3** Kebutuhan Pupuk untuk Berbagai Usia Tanaman

Tahun	Pupuk							
	Urea	MOP	<i>Rock Phospate</i>	CuSO4	ZnSO4	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)

### 3.1.2 Data Emisi pada Perkebunan

Dalam menjalani LCA, data emisi sangatlah dibutuhkan untuk dapat menganalisis dampak yang dihasilkan melalui output yang dapat berdampak buruk pada lingkungan. Sebuah jurnal *Sciencedirect* 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. 4** Emisi CO<sub>2</sub> pada Praktik Perkebunan

	Emisi dalam ton CO <sub>2</sub> <i>equivalent</i> per ton CPO (MKS)
Emisi <i>biogenic</i> CO <sub>2</sub> berkaitan dengan praktik perkebunan pada tanah selain gambut	1.5-5.8
Emisi <i>biogenic</i> CO <sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> yang dilepaskan, juga terdapat emisi sebanyak 1 g CH<sub>4</sub>.

Lembaga *Greenpeace* USA, dalam artikel "*CO<sub>2</sub> emission*" mengatakan bahwa dua sumber utama emisi CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> yang berkontribusi signifikan terhadap dampak perubahan iklim. Total emisi CO<sub>2</sub> sebanyak 2.000 juta ton berasal dari lahan gambut berkontribusi sebanyak 2/3 dari total emisi CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub>, 8100 kg CO, 675 kg CH<sub>4</sub>, 407 kg NMHC and 354 kg of PM<sub>2.5</sub>. Sebuah artikel "*CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>. 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, CH<sub>4</sub>, 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 CO<sub>2</sub>, juga akan dilepaskan 1.5 kg CH<sub>4</sub>, 46 kg CO dan 1.6 kg NMVOC.

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

**Tabel 3. 5** Emisi Pembakaran Lahan per Hektar

	Emisi Pembakaran Lahan per hektar	
	Hutan gambut ( <i>peatland</i> )	Hutan pada umumnya ( <i>forestland</i> )
CO <sub>2</sub>	950 ton	117 ton
CO	43700 kg	8100 kg
CH <sub>4</sub>	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 “*N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O sebanyak 4±1% dari input N.

### 3.1.3 Data Produktivitas Lahan

Data produktivitas lahan yang digunakan adalah data yang tersedia pada tabel 2.3.

### 3.1.4 Data Unsur Hara dalam Pupuk

Tabel di bawah ini memberikan informasi data pupuk, tipe, serta kandungan hara dan persentase kuantitasnya

**Tabel 3. 6** Pupuk dan Kandungan Hara

Jenis Hara	Tipe Pupuk	Nama Pupuk	Kandungan Hara	
			Unsur /Oksida	%
Nitrogen (N)	Ammonium	<i>Ammonia</i>	N	80
		<i>Ammonium Sulphate (ZA)</i>	N	21
			S	24
		<i>Ammonium Bicarbonate</i>	N	17
	Nitrat	<i>Calcium Nitrate</i>	N	16
		<i>Sodium Nitrate</i>	N	16
	Ammonium Nitrat	<i>Ammonium Nitrate</i>	N	1.k. 34
		<i>Calcium Ammonium Nitrate</i>	N	21-27
		<i>Ammonium Sulphate Nitrate</i>	N	26-30
	Amida	<i>Urea</i>	N	45-46
		<i>Calcium Cyanamide</i>	N	20
	Cair	<i>Urea Ammonium Nitrate Solution</i>	N	28-32
	Majemuk	<i>Hi-Kay Plus</i>	N	13
			P	6
K			27	
Mg			4	
B			0.65	
Nitrogen (N)	Majemuk, lambat tersedia	<i>Controlled released meister</i>	N	20
			P	6
			K	14
			Mg	3

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

**Tabel 3. 6** Pupuk Anorganik dan Kandungan Hara Utamanya (sambungan)

Jenis Hara	Tipe Pupuk	Nama Pupuk	Kandungan Hara	
			Unsur /Oksida	%
Fosfat (P)	Dapat larut dalam air	<i>Single super phosphate</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18-20
		<i>Super phosphate 36</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	32
		<i>Triple super phosphate</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	45
			CaO	28
	Sebagian dapat larut dalam air	<i>Party acidulated phosphate</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	l.k. 18
	Bereaksi lambat	<i>Dicalcium phosphate (citrate soluble)</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	14
			<i>Basic slag (citric acid soluble)</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Bereaksi sangat lambat	<i>Rock phosphate</i> (tepung halus) yang reaktivitasnya ditentukan dengan kelarutan asam format	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	29-34
			CaO	35
	Kalium (K)	Dapat larut dalam air dan bereaksi cepat	<i>Muriate of potash</i> (MOP/KCl)	K <sub>2</sub> O
Cl				50
<i>Potassium sulphate</i>			K <sub>2</sub> O	50
<i>Potassium magnesium sulphate</i>			K <sub>2</sub> O	40
			Mg	6
Abu janjang kosong ( <i>bunch ash</i> )			N	0.37
			P	0.04
			K	0.91
Mg	0.08			
Magnesium (Mg)	Bereaksi cepat	<i>Magnesium sulphate (Kieserite)</i>	MgO	27
			<i>Magnesium sulphate (epsom salts)</i>	Mg
		<i>Potassium magnesium sulphate</i>	K <sub>2</sub> O	40
			Mg	6
	Bereaksi lambat	<i>Magnesium carbonate (dolomit)</i>	MgO	18-20
			CaO	50

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

**Tabel 3. 6** Pupuk Anorganik dan Kandungan Hara Utamanya (sambungan)

Jenis Hara	Tipe Pupuk	Nama Pupuk	Kandungan Hara	
			Unsur /Oksida	%
Kalsium (Ca)		<i>Limestone dust (LSD)</i>	CaO	50
			MgO	1-3
Besi	Kelat ( <i>chelate</i> )	Fe-EDTA	Fe	9
		Fe-EDDHA	Fe	6
Mangan (Mg)	Dapat larut dalam air dan bereaksi cepat	<i>Mn-sulphate</i>	Mn	24-32
		Mn-EDTA	Mn	13
Seng (Zn)	Dapat larut dalam air	<i>Zn-Sulphate</i>	Zn	23
		<i>Chelated zincopper</i>	Zn	4
			Cu	8
Tembaga (Cu)	Dapat larut dalam air	<i>Cu-sulphate (CuSO4)</i>	Cu	23-25
Boron (B)	Dapat larut dalam air	<i>Sodium borate decahydrate (borax)</i>	B	11-22
		<i>High grade fertilizer borate (HGFB)</i>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	48
Molibdenum (Mo)	Dapat larut dalam air	<i>Ammonium molybdate</i>	Mo	40-50
		<i>Na-molybdate</i>	Mo	40-50

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

### 3.1.5 Data Herbisida

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

- Paraquat : C<sub>12</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>
- Glyphosate : C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>3</sub>P

## 3.2 PENGOLAHAN DATA

Perlu diingat bahwa pada rantai suplai ini semua FFB 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* MKS (CPO). *Yield* MKS (CPO) merupakan persentase output ton CPO per ton input FFB (TBS). Perbedaannya terletak pada perbedaan sumber, sumber pertama adalah hasil studi pada *The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)"* di Thailand tahun 2004 dan sumber kedua adalah buku Panduan Lengkap Kelapa Sawit, yang membahas kelapa sawit di Indonesia. Untuk proses pengolahan data akan digunakan data pada sumber pertama.

Untuk dapat melakukan pengolahan data, berikut merupakan beberapa input yang diperlukan:

- Total lahan dan laju pembukaan lahan
- Kelas lahan: 1, 2, 3, atau 4
- Jenis lahan: lahan gambut (*peatland*) atau lahan hutan (*forestland*)
- Teknik pembukaan lahan: teknik tebang dan bakar atau teknik tanpa bakar

dan untuk proses pengolahan data di bawah ini sebagai input *baseline* akan digunakan total lahan sebesar 10.000 ha (dengan pembukaan lahan 3000 ha pada tahun pertama, 3000 ha pada tahun kedua, dan 4000 ha pada tahun ketiga) dengan kelas lahan 1, jenis lahan lahan gambut, serta teknik pembukaan lahan yaitu teknik tebang dan bakar.

Hasil pengolahan data untuk pengukuran dampak akan ditunjukkan dalam periode waktu dari tahun 1 hingga 25 tahun dan dikelompokkan berdasarkan unit bisnis yaitu perkebunan, *Mill* CPO (PKS), dan pabrik biodiesel.

Pada bagian akhir akan dipaparkan hasil pengolahan data untuk skenario input lainnya, yaitu variasi mengenai total lahan dan laju pembukaan lahan, kelas lahan (1, 2, 3, 4), jenis lahan (lahan gambut atau lahan hutan), pilihan antara teknik pembukaan lahan (teknik tebang dan bakar, atau teknik tanpa bakar), serta skenario dengan menggunakan data rekomendasi pemupukan dan *yield* CPO (MKS) yang berbeda (berasal dari buku Panduan Lengkap Kelapa Sawit, yang membahas kelapa sawit di Indonesia, seperti yang sudah dijelaskan di bagian awal pengolahan data).

### 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. 7** 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 <sup>3</sup>		
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 CO<sub>2</sub> yang didapatkan data dengan satuan ton CO<sub>2</sub>/ton CPO (MKS) yaitu maksimum 17 ton CO<sub>2</sub>/ton CPO(MKS). Untuk perhitungan emisi CO<sub>2</sub> dalam satuan ton CO<sub>2</sub>/ton FFB (TBS), dilakukan konversi sederhana dengan rumus berikut:

$$emisi\ CO_2 \left( \frac{ton}{ton\ FFB} \right) = 5.8 \frac{ton}{ton\ CPO} \times \frac{1\ ton\ CPO}{6.25\ ton\ FFB} \quad (3.1)$$

Data konversi 1 ton CPO per 6.25 ton FFB, didapatkan dari tabel input dan output pada *Mill CPO* (PKS) dan dengan memilih angka terbesar dari data yang

disediakan pada jumlah FFB (TBS) yang digunakan untuk dapat memproduksi 1 ton CPO (MKS).

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

**Tabel 3. 8** Tabel Input dan Output pada Perkebunan Setelah Penyesuaian

Input		Output	
Benih		FFB (TBS)	1 ton
Pupuk		Emisi	
N (dari amonium sulfat)	50 kg	CO <sub>2</sub>	2.72 ton
P (dari <i>ground rock</i> fosfat)	14 kg		
K (dari potasium klorida)	35 kg		
Mg (dari kieserite 26% MgO)	9 kg		
B	1 kg		
Air	1400 m <sup>3</sup>		
Herbisida			
Paraquat	0.2 kg		
<i>Glyphosate</i>	0.4 kg		
Diesel	0.33 liter		

(sumber: Plenjai, Gheewala & Garivait(2004), Reijnders & Huijbregts(2006) "telah diolah kembali")

Dengan menggunakan prinsip penyesuaian yang sama serta konversi yang dibutuhkan, juga dilakukan penyesuaian pada tabel input dan output pada unit *mill* CPO (PKS) dan pabrik biodiesel.

Setelah tiga tabel input dan output selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah memetakan tabel input dan output selama 25 tahun. Dasar perhitungan pada unit perkebunan adalah input dan output per 1 ton FFB (TBS) yang dihasilkan dan emisi pembukaan lahan. Dasar perhitungan pada input dan output pada unit *mill* CPO (PKS) adalah input dan output per 1 ton CPO (MKS). 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.

Tabel berikut menunjukkan pemetaan lahan produktif dan produksi FFB(TBS) selama 25 tahun

**Tabel 3. 9** Tabel Pemetaan Lahan Produktif dan Pemetaan produksi FFB (TBS)

Pemetaan lahan produktif							Pemetaan produksi TBS						
Tahun	Pembukaan ke					Total /tahun (ha)	Tahun	Pembukaan tahun ke					Total /tahun(ton)
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
1						-	1						-
2						-	2						-
3	3,000					3,000	3	54,000					54,000
4	3,000	3,000				6,000	4	51,000	54,000				105,000
5	3,000	3,000	4,000			10,000	5	63,000	51,000	72,000			186,000
6	3,000	3,000	4,000	-		10,000	6	75,000	63,000	68,000	-		206,000
7	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	7	84,000	75,000	84,000	-	-	243,000
8	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	8	90,000	84,000	100,000	-	-	274,000
9	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	9	90,000	90,000	112,000	-	-	292,000
10	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	10	90,000	90,000	120,000	-	-	300,000
11	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	11	90,000	90,000	120,000	-	-	300,000
12	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	12	90,000	90,000	120,000	-	-	300,000
13	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	13	90,000	90,000	120,000	-	-	300,000
14	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	14	81,000	90,000	120,000	-	-	291,000
15	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	15	81,000	81,000	120,000	-	-	282,000
16	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	16	75,000	81,000	108,000	-	-	264,000
17	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	17	75,000	75,000	108,000	-	-	258,000
18	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	18	72,000	75,000	100,000	-	-	247,000
19	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	19	72,000	72,000	100,000	-	-	244,000
20	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	20	66,000	72,000	96,000	-	-	234,000
21	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	21	66,000	66,000	96,000	-	-	228,000
22	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	22	60,000	66,000	88,000	-	-	214,000
23	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	23	60,000	60,000	88,000	-	-	208,000
24	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	24	54,000	60,000	80,000	-	-	194,000
25	3,000	3,000	4,000	-	-	10,000	25	54,000	54,000	80,000	-	-	188,000

Dengan pemetaan produksi FFB (TBS) pada tabel sebelumnya, hasil perhitungan input dan output untuk unit perkebunan ditunjukkan pada tabel berikut:

**Tabel 3. 10** Tabel Input dan Output Perkebunan selama 25 Tahun

Tahun	Input									Output					
	Pupuk					Air (m <sup>3</sup> )	Herbisida		Diesel (liter)	FFB (TBS) (ton)	Emisi				
	N (kg)	P (kg)	K (kg)	Mg (kg)	B (kg)		Paraquat (kg)	Glyphosate (kg)			CO <sub>2</sub> (ton)	CO (kg)	CH <sub>4</sub> (kg)	NM VOC/NMHC (kg)	N <sub>2</sub> O (kg)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,850,000	131,100,000	7,125,000	4,560,000	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,850,000	131,100,000	7,125,000	4,560,000	0
3	2,700,000	756,000	1,890,000	486,000	54,000	75,600,000	10,800	21,600	17,982	54,000	3,946,880	174,800,000	9,646,880	6,080,000	28,620
4	5,250,000	1,470,000	3,675,000	945,000	105,000	147,000,000	21,000	42,000	34,965	105,000	285,600	0	285,600	0	55,650
5	9,300,000	2,604,000	6,510,000	1,674,000	186,000	260,400,000	37,200	74,400	61,938	186,000	505,920	0	505,920	0	98,580
6	10,300,000	2,884,000	7,210,000	1,854,000	206,000	288,400,000	41,200	82,400	68,598	206,000	560,320	0	560,320	0	109,180
7	12,150,000	3,402,000	8,505,000	2,187,000	243,000	340,200,000	48,600	97,200	80,919	243,000	660,960	0	660,960	0	128,790
8	13,700,000	3,836,000	9,590,000	2,466,000	274,000	383,600,000	54,800	109,600	91,242	274,000	745,280	0	745,280	0	145,220
9	14,600,000	4,088,000	10,220,000	2,628,000	292,000	408,800,000	58,400	116,800	97,236	292,000	794,240	0	794,240	0	154,760
10	15,000,000	4,200,000	10,500,000	2,700,000	300,000	420,000,000	60,000	120,000	99,900	300,000	816,000	0	816,000	0	159,000
11	15,000,000	4,200,000	10,500,000	2,700,000	300,000	420,000,000	60,000	120,000	99,900	300,000	816,000	0	816,000	0	159,000
12	15,000,000	4,200,000	10,500,000	2,700,000	300,000	420,000,000	60,000	120,000	99,900	300,000	816,000	0	816,000	0	159,000
13	15,000,000	4,200,000	10,500,000	2,700,000	300,000	420,000,000	60,000	120,000	99,900	300,000	816,000	0	816,000	0	159,000
14	14,550,000	4,074,000	10,185,000	2,619,000	291,000	407,400,000	58,200	116,400	96,903	291,000	791,520	0	791,520	0	154,230
15	14,100,000	3,948,000	9,870,000	2,538,000	282,000	394,800,000	56,400	112,800	93,906	282,000	767,040	0	767,040	0	149,460
16	13,200,000	3,696,000	9,240,000	2,376,000	264,000	369,600,000	52,800	105,600	87,912	264,000	718,080	0	718,080	0	139,920
17	12,900,000	3,612,000	9,030,000	2,322,000	258,000	361,200,000	51,600	103,200	85,914	258,000	701,760	0	701,760	0	136,740
18	12,350,000	3,458,000	8,645,000	2,223,000	247,000	345,800,000	49,400	98,800	82,251	247,000	671,840	0	671,840	0	130,910
19	12,200,000	3,416,000	8,540,000	2,196,000	244,000	341,600,000	48,800	97,600	81,252	244,000	663,680	0	663,680	0	129,320
20	11,700,000	3,276,000	8,190,000	2,106,000	234,000	327,600,000	46,800	93,600	77,922	234,000	636,480	0	636,480	0	124,020
21	11,400,000	3,192,000	7,980,000	2,052,000	228,000	319,200,000	45,600	91,200	75,924	228,000	620,160	0	620,160	0	120,840
22	10,700,000	2,996,000	7,490,000	1,926,000	214,000	299,600,000	42,800	85,600	71,262	214,000	582,080	0	582,080	0	113,420
23	10,400,000	2,912,000	7,280,000	1,872,000	208,000	291,200,000	41,600	83,200	69,264	208,000	565,760	0	565,760	0	110,240
24	9,700,000	2,716,000	6,790,000	1,746,000	194,000	271,600,000	38,800	77,600	64,602	194,000	527,680	0	527,680	0	102,820
25	9,400,000	2,632,000	6,580,000	1,692,000	188,000	263,200,000	37,600	75,200	62,604	188,000	511,360	0	511,360	0	99,640
<b>Total</b>	<b>270,600,000</b>	<b>75,768,000</b>	<b>189,420,000</b>	<b>48,708,000</b>	<b>5,412,000</b>	<b>7,576,800,000</b>	<b>1,082,400</b>	<b>2,164,800</b>	<b>1,802,196</b>	<b>5,412,000</b>	<b>24,220,640</b>	<b>437,000,000</b>	<b>38,470,640</b>	<b>15,200,000</b>	<b>2,868,360</b>

Pemetaan tabel input dan output juga dilakukan pada unit bisnis *mill CPO* dan pabrik biodiesel selama 25 tahun.

### 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 11 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. Berikut adalah hasil klasifikasi pada unit perkebunan

**Tabel 3. 11** Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari Perkebunan

	Input/Output	Dampak Potensial
Perkebunan	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	Penipisan Sumber Daya Abiotik
	FFB	-
	Emisi CO <sub>2</sub>	Perubahan Iklim
	Emisi CO	Pembentukan Photo-Oxidant
	Emisi CH <sub>4</sub>	Perubahan Iklim Pembentukan Photo-Oxidant
Emisi NMVOC	-	
Emisi N <sub>2</sub> O	Perubahan Iklim	

Tahap klasifikasi tentu saja juga dilakukan pada unit bisnis mill *CPO* (PKS) dan juga pabrik biodiesel. Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa dampak yang dapat diukur dari hasil pengumpulan data adalah:

- penipisan sumber daya alam,
- perubahan iklim/*climate change*,
- dampak bahan beracun pada manusia/*human toxicity*,
- dampak bahan beracun pada ekosistem/*ecotoxicity* pada ekosistem air tawar,
- dampak bahan beracun pada ekosistem air laut,
- dampak bahan beracun pada ekosistem terestrial,
- pembentukan *photo-oxidant*,

- pengasaman/*acidification*, dan
- *eutrophication*.

### 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. 12** Input yang Mempengaruhi Dampak Penipisan Sumber Daya Alam

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

*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. 13** 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. 14** Persentase Perhitungan % Unsur per Massa Input

		(khusus untuk pupuk)		Unsur	(khusus untuk pupuk)	% unsur (dari perbandingan massa molar unsur dari input)	% unsur dari massa input
		Dari data tabel pupuk anorganik			% unsur (dari perbandingan massa molar unsur dan oksida pada hara)		
		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 liternya 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. 15** 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 berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak penipisan sumber daya abiotik dari unit bisnis perkebunan.

**Tabel 3. 16** Perhitungan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik dari Unit Perkebunan

Tahun	Perkebunan Kelapa Sawit								Abiotic Depletion (kg antimony eq)
	Kuantitas Mineral dan Bahan Bakar Fosil								
	Sulfur (S) (kg)	Fosforus (P) (kg)	Kalsium (Ca) (kg)	Kalium (K) (kg)	Klorin (Cl) (kg)	Magnesium (Mg) (kg)	Boron (B) (kg)	Bahan Bakar Fosil (MJ)	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00E+00
2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00E+00
3	655,166	116,135	189,110	941,403	947,978	76,208	11,880	654,545	6.15E+02
4	1,273,934	225,817	367,714	1,830,505	1,843,290	148,183	23,100	1,272,726	1.20E+03
5	2,256,682	400,019	651,378	3,242,609	3,265,257	262,495	40,920	2,254,543	2.12E+03
6	2,499,336	443,032	721,419	3,591,277	3,616,360	290,721	45,320	2,496,967	2.35E+03
7	2,948,246	522,606	850,994	4,236,312	4,265,900	342,937	53,460	2,945,452	2.77E+03
8	3,324,360	589,276	959,557	4,776,747	4,810,109	386,687	60,280	3,321,209	3.12E+03
9	3,542,749	627,988	1,022,594	5,090,548	5,126,102	412,089	64,240	3,539,390	3.32E+03
10	3,639,810	645,193	1,050,610	5,230,015	5,266,543	423,380	66,000	3,636,360	3.42E+03
11	3,639,810	645,193	1,050,610	5,230,015	5,266,543	423,380	66,000	3,636,360	3.42E+03
12	3,639,810	645,193	1,050,610	5,230,015	5,266,543	423,380	66,000	3,636,360	3.42E+03
13	3,639,810	645,193	1,050,610	5,230,015	5,266,543	423,380	66,000	3,636,360	3.42E+03
14	3,530,616	625,837	1,019,092	5,073,115	5,108,547	410,678	64,020	3,527,269	3.31E+03
15	3,421,422	606,481	987,574	4,916,214	4,950,550	397,977	62,040	3,418,178	3.21E+03
16	3,203,033	567,770	924,537	4,602,413	4,634,558	372,574	58,080	3,199,997	3.01E+03
17	3,130,237	554,866	903,525	4,497,813	4,529,227	364,106	56,760	3,127,270	2.94E+03
18	2,996,777	531,209	865,003	4,306,046	4,336,120	348,583	54,340	2,993,936	2.81E+03
19	2,960,379	524,757	854,496	4,253,746	4,283,455	344,349	53,680	2,957,573	2.78E+03
20	2,839,052	503,250	819,476	4,079,412	4,107,904	330,236	51,480	2,836,361	2.66E+03
21	2,766,256	490,346	798,464	3,974,811	4,002,573	321,768	50,160	2,763,634	2.60E+03
22	2,596,398	460,237	749,435	3,730,744	3,756,801	302,011	47,080	2,593,937	2.44E+03
23	2,523,602	447,334	728,423	3,626,144	3,651,470	293,543	45,760	2,521,210	2.37E+03
24	2,353,744	417,225	679,395	3,382,076	3,405,698	273,785	42,680	2,351,513	2.21E+03
25	2,280,948	404,321	658,383	3,277,476	3,300,367	265,318	41,360	2,278,786	2.14E+03
								<b>total</b>	<b>6.16E+04</b>

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

**Tabel 3. 17** Perhitungan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik dari Unit *Mill CPO* (PKS)

<b>Mill CPO (PKS)</b>		
	<b>Kuantitas Bahan Bakar Fossil</b>	<b>Abiotic</b>
	<b>Bahan Bakar Fossil</b>	<b>Depletion</b>
<b>Tahun</b>	<b>(MJ)</b>	<b>(kg antimony eq)</b>
1	-	0.00E+00
2	-	0.00E+00
3	2,830,464	1.36E+03
4	5,503,680	2.65E+03
5	9,749,376	4.69E+03
6	10,797,696	5.19E+03
7	12,737,088	6.13E+03
8	14,361,984	6.91E+03
9	15,305,472	7.36E+03
10	15,724,800	7.56E+03
11	15,724,800	7.56E+03
12	15,724,800	7.56E+03
13	15,724,800	7.56E+03
14	15,253,056	7.34E+03
15	14,781,312	7.11E+03
16	13,837,824	6.66E+03
17	13,523,328	6.50E+03
18	12,946,752	6.23E+03
19	12,789,504	6.15E+03
20	12,265,344	5.90E+03
21	11,950,848	5.75E+03
22	11,217,024	5.40E+03
23	10,902,528	5.24E+03
24	10,168,704	4.89E+03
25	9,854,208	4.74E+03
	<b>total</b>	<b>1.36E+05</b>

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

**Tabel 3. 18** Perhitungan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik dari unit Pabrik Biodiesel

<b>Pabrik Biodiesel</b>		
<b>Tahun</b>	<b>Kuantitas Mineral</b>	<b>Abiotic Depletion</b>
	<b>Na (kg)</b>	<b>(kg antimony eq)</b>
1	-	0.00E+00
2	-	0.00E+00
3	43,562.70	3.59E-06
4	84,705.26	6.98E-06
5	150,049.31	1.24E-05
6	166,183.65	1.37E-05
7	196,032.16	1.62E-05
8	221,040.38	1.82E-05
9	235,561.28	1.94E-05
10	242,015.02	1.99E-05
11	242,015.02	1.99E-05
12	242,015.02	1.99E-05
13	242,015.02	1.99E-05
14	234,754.57	1.93E-05
15	227,494.12	1.87E-05
16	212,973.22	1.75E-05
17	208,132.91	1.72E-05
18	199,259.03	1.64E-05
19	196,838.88	1.62E-05
20	188,771.71	1.56E-05
21	183,931.41	1.52E-05
22	172,637.38	1.42E-05
23	167,797.08	1.38E-05
24	156,503.04	1.29E-05
25	151,662.74	1.25E-05
	<b>total</b>	<b>3.60E-04</b>

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

**Tabel 3. 19** Perhitungan Total Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik

Tahun	Dampak 1 - Penipisan Sumber Daya Abiotik (Abiotic Depletion) (dalam kg antimony eq.)			
	Perkebunan	Mill CPO (PKS)	Pabrik Biodiesel	Total
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	6.15E+02	1.36E+03	3.59E-06	1.98E+03
4	1.20E+03	2.65E+03	6.98E-06	3.84E+03
5	2.12E+03	4.69E+03	1.24E-05	6.81E+03
6	2.35E+03	5.19E+03	1.37E-05	7.54E+03
7	2.77E+03	6.13E+03	1.62E-05	8.89E+03
8	3.12E+03	6.91E+03	1.82E-05	1.00E+04
9	3.32E+03	7.36E+03	1.94E-05	1.07E+04
10	3.42E+03	7.56E+03	1.99E-05	1.10E+04
11	3.42E+03	7.56E+03	1.99E-05	1.10E+04
12	3.42E+03	7.56E+03	1.99E-05	1.10E+04
13	3.42E+03	7.56E+03	1.99E-05	1.10E+04
14	3.31E+03	7.34E+03	1.93E-05	1.06E+04
15	3.21E+03	7.11E+03	1.87E-05	1.03E+04
16	3.01E+03	6.66E+03	1.75E-05	9.66E+03
17	2.94E+03	6.50E+03	1.72E-05	9.44E+03
18	2.81E+03	6.23E+03	1.64E-05	9.04E+03
19	2.78E+03	6.15E+03	1.62E-05	8.93E+03
20	2.66E+03	5.90E+03	1.56E-05	8.56E+03
21	2.60E+03	5.75E+03	1.52E-05	8.34E+03
22	2.44E+03	5.40E+03	1.42E-05	7.83E+03
23	2.37E+03	5.24E+03	1.38E-05	7.61E+03
24	2.21E+03	4.89E+03	1.29E-05	7.10E+03
25	2.14E+03	4.74E+03	1.25E-05	6.88E+03
Total	6.16E+04	1.36E+05	3.60E-04	1.98E+05

Sesuai dengan hasil dari tahap klasifikasi, ada 9 kategori dampak yang dapat diukur pada penelitian ini. Untuk 8 kategori selanjutnya, juga dilakukan perhitungan yang sama dengan hasil perhitungan di atas dimana dilakukan perhitungan pada masing-masing unit bisnis dan perhitungan totalnya.

### 3.2.7 Pengukuran Dampak Perubahan Iklim

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

**Tabel 3. 20** Output yang Mempengaruhi Dampak Perubahan Iklim

Unit	Output
Perkebunan	Emisi CO <sub>2</sub>
	Emisi CH <sub>4</sub>
	Emisi N <sub>2</sub> O
Mill CPO	Emisi CO <sub>2</sub>
Pabrik Biodiesel	Emisi CO <sub>2</sub>

Perubahan iklim dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

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

dengan satuan kg dari zat referensi yaitu CO<sub>2</sub>. GWP<sub>a,i</sub> adalah *global warming potential* untuk zat i yang terintegrasikan selama a tahun, sedangkan m<sub>i</sub> adalah kuantitas emisi yang dikeluarkan oleh zat i

**Tabel 3. 21** Faktor *Global Warming Potential*/GWP<sub>100</sub> (Potensi Pemanasan Global)

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

### 3.2.8 Pengukuran Dampak Bahan Beracun pada Manusia

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

**Tabel 3. 22** Input/Output yang Mempengaruhi Dampak Bahan Beracun pada Manusia

Unit	Input/Output
Perkebunan	<i>Glyphosate</i>
Mill CPO	Emisi NO <sub>2</sub>

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<sub>2</sub> dilepaskan ke udara.

**Tabel 3. 23** Faktor HTP/*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 <sub>2</sub>	Udara	1.2

(sumber: Guinee et al., 2001)

### 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

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

Hasil perhitungan ditunjukkan dalam satuan kg 1,4-dichlorobenzene equivalent.  $\text{FAETP}_{ecom,i}$  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. 24** 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)

### 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

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

Hasil perhitungan ditunjukkan dalam satuan kg 1,4-dichlorobenzene equivalent.  $\text{MAETP}_{ecom,i}$  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 kompartmen untuk *glyphosate* adalah tanah pertanian.

**Tabel 3. 25** 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)

### 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

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

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 kompartmen untuk *glyphosate* adalah tanah pertanian.

**Tabel 3. 26** 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)

### 3.2.12 Pengukuran Dampak Pembentukan *Photo-Oxidant*

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

**Tabel 3. 27** Input/Output yang Mempengaruhi Dampak Pembentukan *Photo-oxidant*

Unit	Input/Output
Perkebunan	Emisi CO
	Emisi CH <sub>4</sub>
Mill CPO (MKS)	Emisi NO <sub>2</sub>
	Emisi CO
Pabrik Biodiesel	Methanol

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

$$oxidant\ formation = \sum_i POCP_i \times m_i \quad (3.8)$$

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

**Tabel 3. 28** Faktor *High NOx POCPs*

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

(sumber: Guinee et al., 2001)

### 3.2.13 Pengukuran Dampak Pengasaman/*Acidification*

Berdasarkan tahap klasifikasi, diketahui bahwa dampak pembentukan pengasaman/*acidification* disebabkan oleh emisi NO<sub>2</sub> pada Mill CPO (MKS)

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

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

Hasil perhitungan diekspresikan dalam satuan kg SO<sub>2</sub> equivalent. AP<sub>i</sub> adalah *acidification potential* untuk zat i yang dilepaskan ke udara, sedangkan m<sub>i</sub> adalah kuantitas yang dikeluarkan oleh zat i ke udara. Faktor generik AP untuk mengkarakterisasi emisi yang mengasamkan ke udara untuk NO<sub>2</sub> adalah 0.7 kg SO<sub>2</sub> eq./kg NO<sub>2</sub>

### 3.2.14 Pengukuran Dampak *Eutrophication*

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

**Tabel 3. 29** Input/Output yang Mempengaruhi Dampak *Eutrophication*

Unit	Input/Output
Perkebunan	Pupuk N (dari amonium sulfat)
	Pupuk P (dari <i>ground rock fosfat</i> )
	<i>Glyphosate</i>
Mill CPO (MKS)	Emisi NO <sub>2</sub>

Dampak *eutrophication* dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$eutrophication = \sum_i E P_i \times m_i \quad (3.10)$$

dengan satuan kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> eq.. EP<sub>i</sub> adalah *eutrophication potential* untuk zat i yang dilepaskan ke udara,air, dan tanah sedangkan m<sub>i</sub> adalah emisi zat i ke udara, air, dan tanah.

**Tabel 3. 30** Faktor Generik EP

Zat	EP (dalam kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq/kg)
NH <sub>4</sub> (amonium)	0.33
P	3.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.34
NO <sub>2</sub>	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. 31** Perhitungan % Zat dari Massa Input

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

### 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:

$$\textit{normalised indicator result} = \frac{\textit{indicator result cat}}{\textit{indicator result cat,ref}} \quad (3.11)$$

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

**Tabel 3. 32** Faktor Normalisasi Kategori Dampak Dasar untuk *World* Tahun 1995

Dampak	Faktor normalisasi
Penipisan sumber daya abiotik	1.57E+11 kg (antimony eq)/yr
Perubahan Iklim	3.86E+13 kg (CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq)/yr
Pengasaman/ <i>acidification</i>	2.99E+11 kg (SO <sub>2</sub> eq)/yr
<i>Eutrophication</i>	1.29E+11 kg (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq)/yr

(sumber: Guinee et al., 2001)

Hasil perhitungan normalisasi untuk dampak penipisan sumber daya abiotik ditunjukkan pada tabel berikut ini

**Tabel 3. 33** Hasil Normalisasi Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik

<b>Dampak 1 - Penipisan Sumber Daya Abiotik</b>				
<b>(yr)</b>				
<b>Tahun</b>	<b>Perkebunan</b>	<b>Mill CPO (PKS)</b>	<b>Pabrik Biodiesel</b>	<b>Total</b>
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3	3.92E-09	8.67E-09	2.29E-17	1.26E-08
4	7.61E-09	1.69E-08	4.45E-17	2.45E-08
5	1.35E-08	2.99E-08	7.88E-17	4.34E-08
6	1.49E-08	3.31E-08	8.72E-17	4.80E-08
7	1.76E-08	3.90E-08	1.03E-16	5.66E-08
8	1.99E-08	4.40E-08	1.16E-16	6.39E-08
9	2.12E-08	4.69E-08	1.24E-16	6.81E-08
10	2.18E-08	4.82E-08	1.27E-16	6.99E-08
11	2.18E-08	4.82E-08	1.27E-16	6.99E-08
12	2.18E-08	4.82E-08	1.27E-16	6.99E-08
13	2.18E-08	4.82E-08	1.27E-16	6.99E-08
14	2.11E-08	4.67E-08	1.23E-16	6.78E-08
15	2.04E-08	4.53E-08	1.19E-16	6.57E-08
16	1.91E-08	4.24E-08	1.12E-16	6.15E-08
17	1.87E-08	4.14E-08	1.09E-16	6.01E-08
18	1.79E-08	3.97E-08	1.05E-16	5.76E-08
19	1.77E-08	3.92E-08	1.03E-16	5.69E-08
20	1.70E-08	3.76E-08	9.91E-17	5.45E-08
21	1.65E-08	3.66E-08	9.65E-17	5.31E-08
22	1.55E-08	3.44E-08	9.06E-17	4.99E-08
23	1.51E-08	3.34E-08	8.81E-17	4.85E-08
24	1.41E-08	3.12E-08	8.21E-17	4.52E-08
25	1.36E-08	3.02E-08	7.96E-17	4.38E-08
<b>total</b>	<b>3.92E-07</b>	<b>8.69E-07</b>	<b>2.29E-15</b>	<b>1.26E-06</b>

Hasil perhitungan normalisasi untuk total dampak per kategori ditunjukkan pada tabel berikut

**Tabel 3. 34** Hasil Normalisasi

Dampak	Total (yr)
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04

### 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. 35** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori

Dampak	Total (yr)
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04

**Tabel 3. 36** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis

Unit	Total Dampak (yr)
Perkebunan	1.40E-03
Mill CPO (MKS)	1.89E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04

### 3.2.17 Hasil Pengolahan dengan Beberapa Skenario

Dalam pengolahan data ini, skenario dapat berupa:

- Kelas lahan
- Total lahan dan skenario pembukaan lahan
- Jenis lahan
- Teknik pembukaan lahan
- Perubahan data pemupukan dan *yield* CPO

#### 3.2.17.1 Skenario Perbedaan Kelas Lahan

Pada pengolahan data ini, diberlakukan untuk skenario perbedaan kelas lahan, yaitu kelas 1, 2, 3, dan 4, sedangkan keempat skenario tersebut memiliki data input yang sama untuk

- Kelas lahan = 10.000 ha  
dengan pembukaan lahan (3.000 ha, 3.000 ha, 4.000 ha)
- Jenis lahan = gambut
- Teknik pembukaan lahan = teknik tebang dan bakar

Tabel berikut memberikan hasil perhitungan dampak per kategori dampak dengan skenario kelas lahan.

**Tabel 3. 37** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Kelas Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)			
	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.17E-06	1.04E-06	9.27E-07
Perubahan Iklim	6.82E-04	6.51E-04	6.09E-04	5.69E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.06E-08	5.41E-08	4.80E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.10E-07	8.12E-07	7.21E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.10E-11	9.80E-12	8.70E-12
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.19E-07	6.42E-07	5.70E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	5.93E-04	5.57E-04	5.24E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	5.83E-06	5.20E-06	4.62E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.35E-04	3.88E-04	3.44E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.69E-03</b>	<b>1.56E-03</b>	<b>1.44E-03</b>

Tabel berikut memberikan hasil perhitungan dampak per unit bisnis dengan skenario kelas lahan.

**Tabel 3. 38** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Kelas Lahan

Unit	Total Dampak (yr)			
	Kelas Lahan 1	Kelas Lahan 2	Kelas Lahan 3	Kelas Lahan 4
Perkebunan	1.40E-03	1.34E-03	1.25E-03	1.17E-03
Mill CPO (MKS)	1.89E-05	1.75E-05	1.56E-05	1.39E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.29E-04	2.94E-04	2.61E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.69E-03</b>	<b>1.56E-03</b>	<b>1.44E-03</b>

### 3.2.17.2 Skenario Perbedaan Total Lahan

Pada pengolahan data ini, diberlakukan untuk skenario perbedaan total lahan:

- total lahan = 10.000 ha (dengan pembukaan lahan 3.000 ha, 3.000 ha, 4.000 ha)
- total lahan = 10.000 ha (dengan pembukaan lahan 2.000 ha untuk 5 tahun)
- total lahan = 6.000 ha (dengan pembukaan lahan 3.000 ha, dan 3.000 ha)
- total lahan = 6.000 ha (dengan pembukaan lahan 3.000 ha, 2.000 ha, dan 1.000 ha)

sedangkan keempat skenario tersebut memiliki data input yang sama untuk

- Kelas lahan = 1
- Jenis lahan = gambut
- Teknik pembukaan lahan = teknik tebang dan bakar

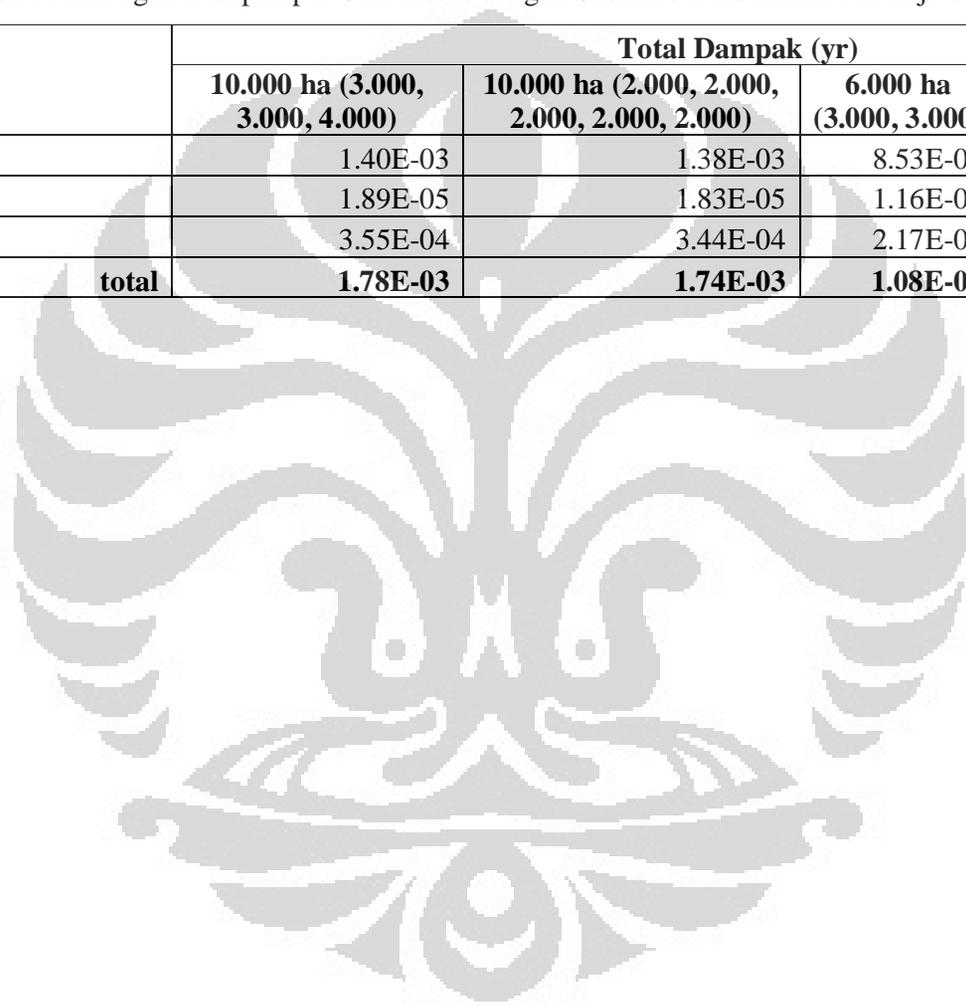
Tabel berikut merupakan hasil pengolahan data untuk Analisis dampak lingkungan dengan skenario luas lahan dan laju pembukaan lahan.

**Tabel 3. 39** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Luas Lahan dan Laju Pembukaan Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)			
	10.000 ha (3.000, 3.000, 4.000)	10.000 ha (2.000, 2.000, 2.000, 2.000, 2.000)	6.000 ha (3.000, 3.000)	6.000 ha (3.000, 2.000, 1.000)
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.22E-06	7.72E-07	7.68E-07
Perubahan Iklim	6.82E-04	6.68E-04	4.14E-04	4.13E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.32E-08	4.00E-08	3.98E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.50E-07	6.00E-07	5.97E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.15E-11	7.25E-12	7.21E-12
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.51E-07	4.75E-07	4.72E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	6.07E-04	3.75E-04	3.74E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	6.08E-06	3.85E-06	3.83E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.54E-04	2.87E-04	2.85E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.74E-03</b>	<b>1.08E-03</b>	<b>1.08E-03</b>

**Tabel 3. 40** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Luas Lahan dan Laju Pembukaan Lahan

Unit	Total Dampak (yr)			
	10.000 ha (3.000, 3.000, 4.000)	10.000 ha (2.000, 2.000, 2.000, 2.000, 2.000)	6.000 ha (3.000, 3.000)	6.000 ha (3.000, 2.000, 1.000)
Perkebunan	1.40E-03	1.38E-03	8.53E-04	8.50E-04
Mill CPO (MKS)	1.89E-05	1.83E-05	1.16E-05	1.15E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.44E-04	2.17E-04	2.16E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.74E-03</b>	<b>1.08E-03</b>	<b>1.08E-03</b>



### 3.2.17.3 Skenario Perbedaan Jenis Lahan

Pada pengolahan data ini, diberlakukan untuk skenario jenis lahan yaitu lahan gambut (*peatland*) dan lahan hutan (*forestland*), sedangkan untuk data input lainnya merupakan data yang sama yaitu

- Kelas lahan = 1
- Luas lahan = 10.000 ha (pembukaan lahan 3.000, 3.000, 4.000)
- Teknik pembukaan lahan = teknik tebang dan bakar

Tabel berikut memberikan hasil pengolahan data untuk Analisis dampak lingkungan dengan jenis lahan.

**Tabel 3. 41** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Jenis Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)	
	<i>Peatland</i>	<i>Forestland</i>
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.26E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04	1.97E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.53E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	4.03E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	6.28E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.69E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.08E-03</b>

**Tabel 3. 42** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Jenis Lahan

Unit	Total Dampak (yr)	
	<i>Peatland</i>	<i>Forestland</i>
Perkebunan	1.40E-03	7.04E-04
<i>Mill</i> CPO (PKS)	1.89E-05	1.89E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.55E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.08E-03</b>

### 3.2.17.4 Skenario Perbedaan Teknik Pembukaan Lahan

Pada pengolahan data ini, diberlakukan untuk skenario teknik pembukaan tanah yaitu teknik tebang dan bakar, dan teknik tanpa bakar, sedangkan untuk data input lainnya merupakan data yang sama yaitu

- Kelas lahan = 1
- Luas lahan = 10.000 ha (pembukaan lahan 3.000, 3.000, 4.000)
- Jenis lahan = gambut

Tabel berikut memberikan hasil perhitungan dampak dengan skenario teknik pembukaan lahan.

**Tabel 3. 43** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Teknik Pembukaan Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)	
	Teknik Tebang dan Bakar	Teknik Tanpa Bakar
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.26E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04	4.23E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.53E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	3.56E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	6.28E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.69E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.26E-03</b>

Tabel berikut memberikan hasil perhitungan dampak per unit bisnis dengan skenario teknik pembukaan lahan.

**Tabel 3. 44** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Teknik Pembukaan Lahan

Unit	Total Dampak (yr)	
	Teknik Tebang dan Bakar	Teknik Tanpa Bakar
Perkebunan	1.40E-03	8.82E-04
Mill CPO (PKS)	1.89E-05	1.89E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.55E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.26E-03</b>

### 3.2.17.5 Skenario Kombinasi Jenis Lahan dan Cara Pembukaan Lahan

Pada pengolahan data ini, diberlakukan untuk skenario jenis lahan dan teknik pembukaan lahan, sedangkan untuk data input lainnya merupakan data yang sama yaitu

- Kelas lahan = 1
- Luas lahan = 10.000 ha (pembukaan lahan 3.000, 3.000, 4.000)

Tabel berikut memberikan hasil perhitungan dampak per kategori dengan skenario jenis lahan dan teknik pembukaan lahan.

**Tabel 3. 45** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Jenis Lahan dan Teknik Pembukaan Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)			
	<i>Peatland</i>		<i>Forestland</i>	
	Teknik Tebang dan Bakar	Teknik Tanpa Bakar	Teknik Tebang dan Bakar	Teknik Tanpa Bakar
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.26E-06	1.26E-06	1.26E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04	4.23E-04	1.97E-04	1.63E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.53E-08	6.53E-08	6.53E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.81E-07	9.81E-07	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.18E-11	1.18E-11	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.75E-07	7.75E-07	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	3.56E-04	4.03E-04	3.54E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	6.28E-06	6.28E-06	6.28E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.69E-04	4.69E-04	4.69E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.26E-03</b>	<b>1.08E-03</b>	<b>9.96E-04</b>

Tabel berikut memberikan hasil perhitungan dampak per unit bisnis dengan skenario jenis lahan dan teknik pembukaan lahan.

**Tabel 3. 46** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Teknik Jenis Lahan dan Pembukaan Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)			
	<i>Peatland</i>		<i>Forestland</i>	
	Teknik Tebang dan Bakar	Teknik Tanpa Bakar	Teknik Tebang dan Bakar	Teknik Tanpa Bakar
Perkebunan	1.40E-03	8.82E-04	7.04E-04	6.21E-04
Mill CPO (PKS)	1.89E-05	1.89E-05	1.89E-05	1.89E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.55E-04	3.55E-04	3.55E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.26E-03</b>	<b>1.08E-03</b>	<b>9.96E-04</b>

#### 3.2.17.6 Skenario Pergantian Data Pemupukan dan *Yield CPO* (MKS)

Pada pengolahan data ini, diberlakukan perubahan data penggunaan pupuk dan yield CPO (MKS) yang berasal dari sumber lain yaitu dari buku Panduan Lengkap Kelapa Sawit, yang membahas kelapa sawit di Indonesia, seperti yang sudah dijelaskan di bagian awal pengolahan data.

Untuk data input lainnya, akan digunakan data input sesuai dengan input baseline yaitu total lahan sebesar 10.000 ha dengan pembukaan lahan 3.000 ha (tahun 1), 3.000 ha (tahun 2), 4.000 ha (tahun 3), dengan kelas lahan 1, jenis lahan gambut, serta teknik pembukaan lahan yaitu teknik tebang dan bakar.

Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak per kategori dan per unit bisnis dengan skenario pergantian data pemupukan dan *yield* CPO (MKS).

**Tabel 3. 47** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Pergantian Data Pemupukan dan *Yield* CPO (MKS)

Dampak	Total Dampak (yr)	
	Skenario 1	Skenario 2
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.08E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04	6.76E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	9.57E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	7.85E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	9.23E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	1.45E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.62E-03</b>

**Tabel 3. 48** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Pergantian Data Pemupukan dan *Yield* CPO (MKS)

Unit	Total Dampak (yr)	
	Skenario 1	Skenario 2
Perkebunan	1.40E-03	1.07E-03
Mill CPO (MKS)	1.89E-05	2.74E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	5.22E-04
<b>Total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.62E-03</b>

## **BAB 4**

### **PEMBAHASAN**

Bab 4 berisikan pembahasan dan analisis dari hasil pengolahan data. Analisis akan membahas perhitungan potensi dampak lingkungan. Perbandingan kepentingan antar dampak di Analisis untuk melihat seberapa besar ancaman lingkungan ini bila dibandingkan dengan dampak yang lainnya.

#### **4.1 ANALISIS KATEGORI DAMPAK**

Pada fase pemilihan kategori dampak, kategori dampak yang dipilih adalah kategori dampak dasar/*baseline impact categories* yang terdiri atas 11 dampak:

- penipisan sumber daya alam,
- dampak dari penggunaan lahan (persaingan lahan),
- perubahan iklim/*climate change*,
- penipisan lapisan ozon stratosfer/*stratospheric ozone depletion*,
- dampak bahan beracun pada manusia/*human toxicity*,
- dampak bahan beracun pada ekosistem/*ecotoxicity* pada ekosistem air tawar,
- dampak bahan beracun pada ekosistem air laut,
- dampak bahan beracun pada ekosistem terestrial,
- pembentukan *photo-oxidant*,
- pengasaman/*acidification*, dan
- *eutrophication*.

Pada tahap selanjutnya dimana dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, ternyata hanya terdapat 9 kategori saja yang terukur yaitu

- penipisan sumber daya alam,
- perubahan iklim/*climate change*,
- dampak bahan beracun pada manusia/*human toxicity*,
- dampak bahan beracun pada ekosistem/*ecotoxicity* pada ekosistem air tawar,

- dampak bahan beracun pada ekosistem air laut,
- dampak bahan beracun pada ekosistem terestrial,
- pembentukan *photo-oxidant*,
- pengasaman/*acidification*, dan
- *eutrophication*.

Dengan demikian ada dua dampak yang tidak terukur yaitu dampak dari penggunaan lahan (persaingan lahan), dan dampak penipisan lapisan ozon stratosfer/*stratospheric ozone depletion*.

Pada dampak penggunaan lahan, hal yang diperhatikan adalah hilangnya lahan sebagai sebuah sumber daya, dalam pengertian untuk sementara waktu tidak dapat digunakan. Metode yang digunakan adalah *unweighted aggregation* dengan menggunakan faktor pengali yaitu 1 untuk semua lahan yang digunakan. Oleh karena itu data yang dibutuhkan untuk perhitungan ini adalah luas lahan yang digunakan (dalam  $m^2.yr$ ). Pada data yang sudah dikumpulkan, hanya terdapat data luas lahan untuk perkebunan saja, sebagai input untuk melakukan perhitungan dampak lainnya, sedangkan untuk *mill CPO* (PKS) dan pabrik biodiesel tidak tersedia data tersebut. Tidak diukurnya dampak penggunaan lahan tidak akan mempengaruhi penelitian ini secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh tidak tersedianya faktor normalisasi yang dapat digunakan untuk membandingkan dampak penggunaan lahan ini dengan dampak-dampak lainnya. Sehingga bila pun data tersedia, maka perhitungan tidak dapat dilanjutkan ke tahap normalisasi dan tidak dapat dibandingkan kepentingan relatifnya terhadap dampak lainnya.

Dampak penipisan lapisan ozon stratosfer disebabkan oleh emisi *anthropogenic*/ yang disebabkan oleh manusia. Emisi ini menyebabkan fraksi yang semakin besar dari sinar radiasi matahari UV-B yang mencapai permukaan bumi, dan akan berpotensi mempengaruhi dampak yang membahayakan pada kesehatan manusia, kesehatan hewan, ekosistem terestrial, akuatik, siklus biokimia, dan siklus material. Berikut merupakan gas-gas yang berpotensi menyebabkan dampak penipisan lapisan ozon stratosfer ini:

- 1,1,1-trichloroethane

- CFC
- HBFC
- HALON
- HBFC
- HCFC
- Metil Bromida
- Metil Klorida
- Tetrachloromethane

Dengan tidak tersedianya data yang berhubungan dengan gas penyebab dampak di atas, maka tidak dapat dilakukan pengukuran terhadap dampak ini.

#### **4.2 ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DARI PERHITUNGAN INPUT *BASELINE***

Input pada perhitungan ini adalah

- Total lahan = 10.000 ha
- Laju pembukaan lahan = Tahun1 sebesar 3.000 ha,  
Tahun2 sebesar 3.000 ha,  
Tahun3 sebesar 4.000 ha
- Kelas lahan = 1
- Jenis lahan = Gambut / *peatland*
- Teknik Pembukaan Lahan = Teknik tebang dan bakar

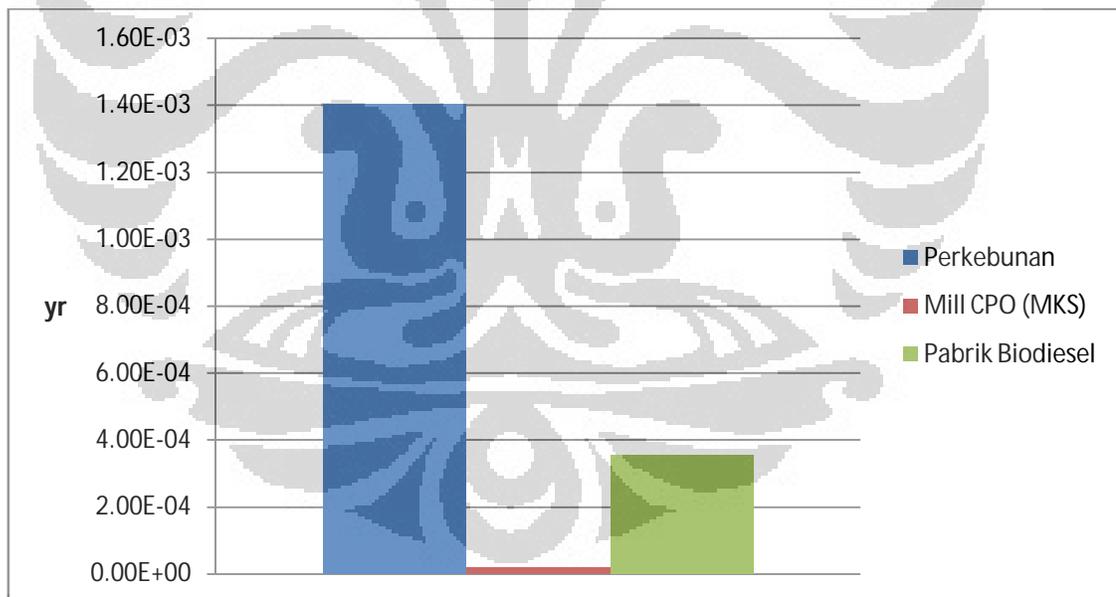
#### 4.2.1 Analisis Dampak Lingkungan per Unit Bisnis

Hasil pengolahan dampak lingkungan per unit bisnis menunjukkan hasil sebagai berikut:

**Tabel 4. 1** Persentase Kontribusi Unit Bisnis Terhadap Dampak Lingkungan

Unit	Total Dampak (yr)	%
Perkebunan	1.40E-03	78.92%
Mill CPO (PKS)	1.89E-05	1.07%
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	20.01%
Total	1.77E-03	100%

Tabel di atas menunjukkan bahwa perkebunan berkontribusi 78.92% untuk keseluruhan dampak lingkungan.



**Gambar 4. 1** Grafik Dampak Lingkungan dan Unit Terkait

Pembahasan lebih lanjut mengenai detail per dampak akan dibahas pada subbab berikutnya.

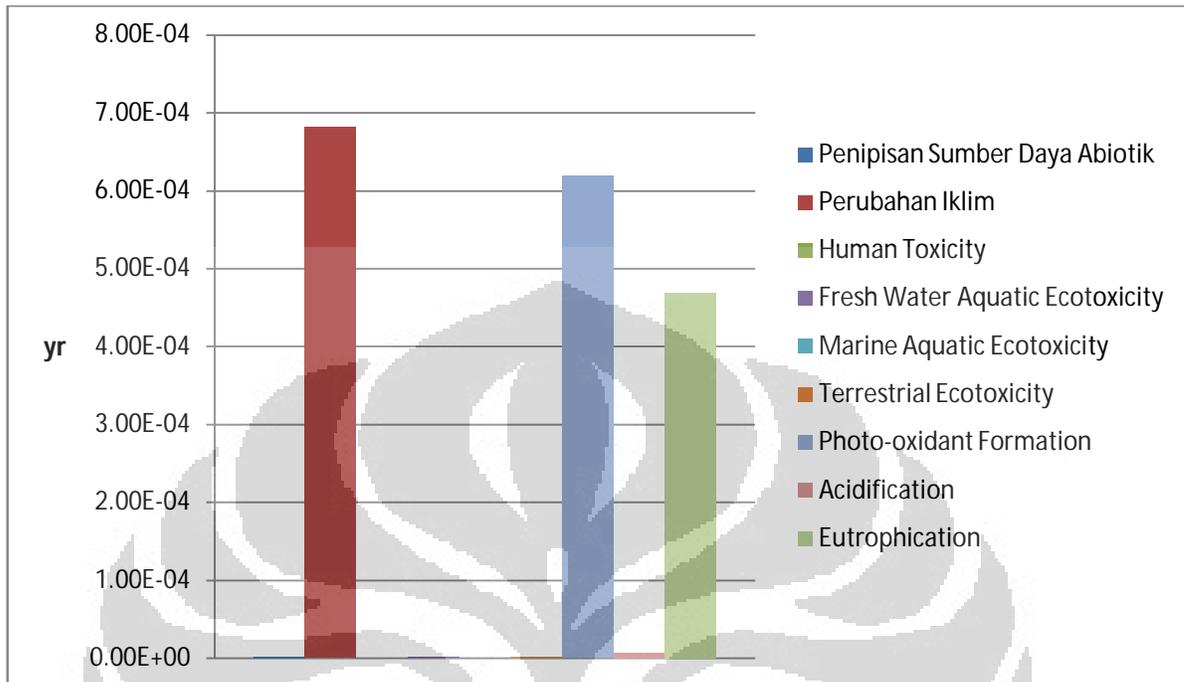
#### 4.2.2 Analisis Dampak Lingkungan per Kategori Dampak

Hasil pengolahan data untuk perhitungan dampak ditunjukkan sebagai berikut:

**Tabel 4. 2** Persentase Kontribusi Kategori Dampak Terhadap Dampak Total

Dampak	Total (yr)	% Grand total
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	0.071%
<b>Perubahan Iklim</b>	<b>6.82E-04</b>	<b>38.328%</b>
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	0.004%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	0.055%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	0.000%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	0.044%
<b>Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i></b>	<b>6.19E-04</b>	<b>34.788%</b>
<i>Pengasaman/Acidification</i>	6.28E-06	0.353%
<b><i>Eutrophication</i></b>	<b>4.69E-04</b>	<b>26.358%</b>
Grand total	1.78E-03	100%

Pengolahan data di atas ditunjukkan pada grafik di bawah ini



**Gambar 4. 2** Grafik Dampak Lingkungan per Kategori

Dari hasil tabel dan grafik yang dihasilkan dapat dilihat bahwa terdapat tiga dampak yang secara signifikan pada keseluruhan proses dari rantai suplai industri biodiesel ini, yaitu:

- Perubahan Iklim
- Pembentukan *photo-oxidant*
- *Eutrophication*

#### 4.2.2.1 Analisis Dampak Perubahan Iklim

Dari hasil pengolahan data, didapatkan bahwa sumber dari dampak perubahan iklim adalah

**Tabel 4.3** Output yang Berkontribusi terhadap Dampak Perubahan Iklim

Unit	Output
Perkebunan	Emisi CO <sub>2</sub>
	Emisi CH <sub>4</sub>
	Emisi N <sub>2</sub> O
Mill CPO	Emisi CO <sub>2</sub>
Pabrik Biodiesel	Emisi CO <sub>2</sub>

dengan kontribusi sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Kontribusi Unit Bisnis terhadap Dampak Perubahan Iklim

Unit	Dampak Perubahan Iklim (yr)	%
Perkebunan	6.71E-04	98.51%
<i>Mill CPO</i> (MKS)	5.38E-06	0.79%
Pabrik Biodiesel	4.74E-06	0.70%
<b>Total</b>	<b>6.82E-04</b>	100.00%

Dengan demikian, diketahui bahwa 98.51% dari dampak perubahan iklim ini disebabkan oleh unit bisnis perkebunan.

Analisis lebih dalam perlu dilakukan pada unit bisnis perkebunan untuk dapat mengidentifikasi penyebab utama dari hal ini. Tabel berikut menampilkan kuantitas emisi penyebab dampak perubahan iklim dalam aktifitas per tahunnya dan juga persentase dari dampak keseluruhan.

**Tabel 4. 5** Kontribusi Aktivitas Tahunan terhadap Dampak Perubahan Iklim

Perkebunan Kelapa Sawit						
Tahun	Emisi			Climate Change (kg CO2 eq)	Normalized Impact	% normalized impact
	CO2 (kg)	CH4 (kg)	N2O (kg)			
1	2,850,000,000	7,125,000	-	3.00E+09	7.77E-05	12%
2	2,850,000,000	7,125,000	-	3.00E+09	7.77E-05	12%
3	3,946,880,000	9,646,880	28,620	4.16E+09	1.08E-04	16%
4	285,600,000	285,600	55,650	3.09E+08	8.00E-06	1%
5	505,920,000	505,920	98,580	5.47E+08	1.42E-05	2%
6	560,320,000	560,320	109,180	6.06E+08	1.57E-05	2%
7	660,960,000	660,960	128,790	7.15E+08	1.85E-05	3%
8	745,280,000	745,280	145,220	8.06E+08	2.09E-05	3%
9	794,240,000	794,240	154,760	8.59E+08	2.23E-05	3%
10	816,000,000	816,000	159,000	8.82E+08	2.29E-05	3%
11	816,000,000	816,000	159,000	8.82E+08	2.29E-05	3%
12	816,000,000	816,000	159,000	8.82E+08	2.29E-05	3%
13	816,000,000	816,000	159,000	8.82E+08	2.29E-05	3%
14	791,520,000	791,520	154,230	8.56E+08	2.22E-05	3%
15	767,040,000	767,040	149,460	8.29E+08	2.15E-05	3%
16	718,080,000	718,080	139,920	7.77E+08	2.01E-05	3%
17	701,760,000	701,760	136,740	7.59E+08	1.97E-05	3%
18	671,840,000	671,840	130,910	7.27E+08	1.88E-05	3%
19	663,680,000	663,680	129,320	7.18E+08	1.86E-05	3%
20	636,480,000	636,480	124,020	6.88E+08	1.78E-05	3%
21	620,160,000	620,160	120,840	6.71E+08	1.74E-05	3%
22	582,080,000	582,080	113,420	6.29E+08	1.63E-05	2%
23	565,760,000	565,760	110,240	6.12E+08	1.59E-05	2%
24	527,680,000	527,680	102,820	5.71E+08	1.48E-05	2%
25	511,360,000	511,360	99,640	5.53E+08	1.43E-05	2%
			Total	2.59E+10	6.71E-04	100%

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa penyebab utama dan signifikan dalam unit bisnis perkebunan dengan persentase terbesar adalah pada tahun pertama, kedua dan ketiga. Aktivitas yang terjadi pada tahun pertama dan tahun kedua adalah pembukaan lahan sebesar 3.000 ha lahan gambut dengan teknik pembukaan lahan tebang dan bakar. Aktivitas yang terjadi pada tahun ketiga adalah pembukaan lahan sebesar 4.000 ha lahan gambut dengan teknik pembukaan lahan tebang dan bakar serta aktivitas panen pada 3.000 ha yang ditanam pada tahun pertama. Bila dilihat dari persebaran % pada tahun-tahun berikutnya yang merupakan aktivitas panen hanya berkontribusi kecil terhadap persentasenya. Dengan demikian, dapat

disimpulkan sementara bahwa proses pembukaan lahan gambut dengan aktivitas tebang dan bakar berkontribusi signifikan terhadap dampak perubahan iklim pada perkebunan.

#### 4.2.2.2 Analisis Dampak Pembentukan *Photo-oxidant*

Dari hasil pengolahan data, didapatkan bahwa sumber dari dampak pembentukan *photo-oxidant* adalah

**Tabel 4. 6** Input/Output yang Berkontribusi Terhadap Dampak Pembentukan *Photo-oxidant*

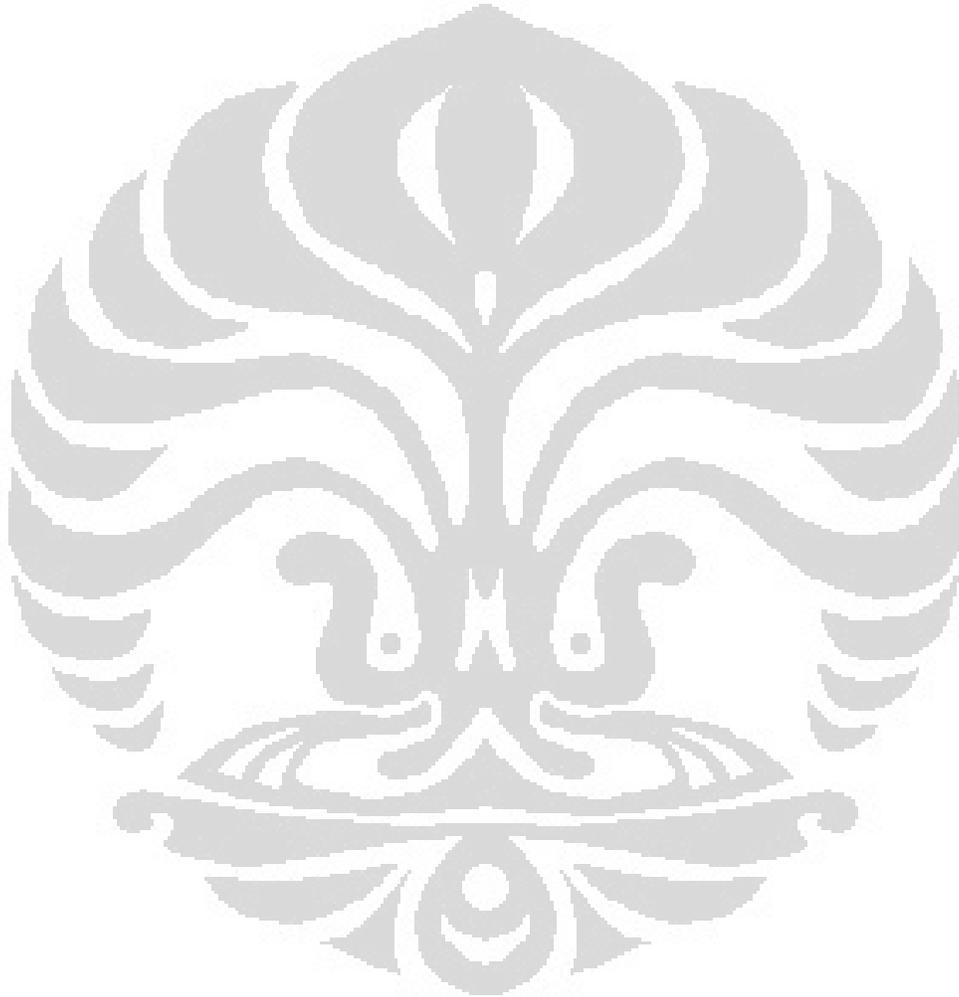
Unit	Input/Output
Perkebunan	Emisi CO
	Emisi CH <sub>4</sub>
Mill CPO (MKS)	Emisi NO <sub>2</sub>
	Emisi CO
Pabrik Biodiesel	Methanol

**Tabel 4. 7** Kontribusi Unit Bisnis Terhadap Dampak Pembentukan *Photo-oxidant*

Unit	Dampak Pembentukan <i>Photo-oxidant</i> (yr)	%
Perkebunan	2.64E-04	42.74%
<i>Mill CPO</i> (MKS)	3.60E-06	0.58%
Pabrik Biodiesel	3.51E-04	56.67%
Total	6.19E-04	100.00%

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa, pabrik biodiesel dan perkebunan adalah unit yang signifikan yang menyebabkan pembentukan dampak ini. Pada pabrik biodiesel, dampak ini disebabkan oleh penggunaan methanol dalam proses produksi biodiesel. Methanol digunakan sebagai katalis untuk mempercepat terjadinya reaksi.

Pada unit perkebunan, dampak ini disebabkan oleh emisi CO dan CH<sub>4</sub> yang dihasilkan pada saat pembukaan lahan dan emisi CH<sub>4</sub> juga dihasilkan pada aktivitas perkebunan pada lahan gambut. Oleh karena itu Analisis lebih dalam perlu dilakukan pada unit bisnis perkebunan untuk dapat mengidentifikasi penyebab utama dari hal ini. Tabel berikut menampilkan kuantitas emisi penyebab dampak penyebab dampak ini dalam aktifitas per tahunnya dan juga persentase dari dampak keseluruhan.



**Tabel 4. 8** Kontribusi Aktivitas Tahunan pada Perkebunan Terhadap Dampak Pembentukan *Photo-oxidant*

Perkebunan					
Tahun	Emisi		Oxidant Formation (kg ethylene eq)	Normalized Impact	% normalized impact
	CO (kg)	CH4 (kg)			
1	131,100,000.00	7,125,000.00	3.58E+06	7.87E-05	29.78%
2	131,100,000.00	7,125,000.00	3.58E+06	7.87E-05	29.78%
3	174,800,000.00	9,646,880.00	4.78E+06	1.05E-04	39.71%
4	-	285,600.00	1.71E+03	3.77E-08	0.01%
5	-	505,920.00	3.04E+03	6.67E-08	0.03%
6	-	560,320.00	3.36E+03	7.39E-08	0.03%
7	-	660,960.00	3.97E+03	8.72E-08	0.03%
8	-	745,280.00	4.47E+03	9.83E-08	0.04%
9	-	794,240.00	4.77E+03	1.05E-07	0.04%
10	-	816,000.00	4.90E+03	1.08E-07	0.04%
11	-	816,000.00	4.90E+03	1.08E-07	0.04%
12	-	816,000.00	4.90E+03	1.08E-07	0.04%
13	-	816,000.00	4.90E+03	1.08E-07	0.04%
14	-	791,520.00	4.75E+03	1.04E-07	0.04%
15	-	767,040.00	4.60E+03	1.01E-07	0.04%
16	-	718,080.00	4.31E+03	9.47E-08	0.04%
17	-	701,760.00	4.21E+03	9.25E-08	0.04%
18	-	671,840.00	4.03E+03	8.86E-08	0.03%
19	-	663,680.00	3.98E+03	8.75E-08	0.03%
20	-	636,480.00	3.82E+03	8.39E-08	0.03%
21	-	620,160.00	3.72E+03	8.18E-08	0.03%
22	-	582,080.00	3.49E+03	7.68E-08	0.03%
23	-	565,760.00	3.39E+03	7.46E-08	0.03%
24	-	527,680.00	3.17E+03	6.96E-08	0.03%
25	-	511,360.00	3.07E+03	6.74E-08	0.03%
Total			1.20E+07	2.64E-04	100.00%

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa penyebab terbesar terjadi pada tahun pertama, kedua dan ketiga dimana terjadi aktivitas pembukaan lahan gambut dengan teknik tebang dan bakar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dampak pembentukan *photo-oxidant* pada unit perkebunan secara signifikan disebabkan oleh adanya aktivitas pembukaan lahan gambut dengan teknik tebang dan bakar.

#### 4.2.2.3 Analisis Dampak *Eutrophication*

Dari hasil pengolahan data, didapatkan bahwa sumber dari dampak pembentukan *eutrophication* adalah

**Tabel 4. 9** Input/Output yang Berkontribusi terhadap Dampak *Eutrophication*

Unit	Input/Output
Perkebunan	Pupuk N (dari amonium sulfat)
	Pupuk P (dari ground rock fosfat)
	<i>Glyphosate</i>
Mill CPO (MKS)	Emisi NO <sub>2</sub>

dengan kontribusi sebagai berikut:

**Tabel 4. 10** Kontribusi Unit Bisnis dalam Dampak *Eutrophication*

Unit	Dampak Pembentukan <i>Eutrophication</i> (yr)	%
Perkebunan	4.66E-04	99.42%
<i>Mill CPO</i> (MKS)	2.71E-06	0.58%
Total	4.69E-04	100.00%

Dari tabel di atas, dapat dilihat bahwa, unit perkebunan menyebabkan 99.42% dampak *eutrophication* ini. Analisis lebih dalam perlu dilakukan pada unit bisnis perkebunan untuk dapat mengidentifikasi penyebab dari hal ini.

Tabel berikut menampilkan kuantitas emisi penyebab dampak penyebab dampak ini dalam aktifitas per tahunnya dan juga persentase dari dampak keseluruhan.

**Tabel 4. 11** Kontribusi Aktivitas Tahunan pada Perkebunan terhadap Dampak *Eutrophication*

Tahun	Perkebunan					
	Emisi			Eutrophication (kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq)	Normalized Impact	% normalized impact
	Amonium (NH <sub>4</sub> ) (kg)	Fosforus (P) (kg)	Fosfor Oksida (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (kg)			
1	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00%
2	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00E+00	0.00%
3	737,166.99	3,957.03	257,040.00	6.00E+05	4.65E-06	1.00%
4	1,433,380.26	7,694.23	499,800.00	1.17E+06	9.04E-06	1.94%
5	2,539,130.74	13,629.78	885,360.00	2.07E+06	1.60E-05	3.44%
6	2,812,155.56	15,095.35	980,560.00	2.29E+06	1.77E-05	3.81%
7	3,317,251.46	17,806.65	1,156,680.00	2.70E+06	2.09E-05	4.49%
8	3,740,439.91	20,078.27	1,304,240.00	3.04E+06	2.36E-05	5.06%
9	3,986,162.24	21,397.29	1,389,920.00	3.24E+06	2.51E-05	5.40%
10	4,095,372.17	21,983.51	1,428,000.00	3.33E+06	2.58E-05	5.54%
11	4,095,372.17	21,983.51	1,428,000.00	3.33E+06	2.58E-05	5.54%
12	4,095,372.17	21,983.51	1,428,000.00	3.33E+06	2.58E-05	5.54%
13	4,095,372.17	21,983.51	1,428,000.00	3.33E+06	2.58E-05	5.54%
14	3,972,511.00	21,324.01	1,385,160.00	3.23E+06	2.51E-05	5.38%
15	3,849,649.84	20,664.50	1,342,320.00	3.13E+06	2.43E-05	5.21%
16	3,603,927.51	19,345.49	1,256,640.00	2.93E+06	2.27E-05	4.88%
17	3,522,020.06	18,905.82	1,228,080.00	2.87E+06	2.22E-05	4.77%
18	3,371,856.42	18,099.76	1,175,720.00	2.74E+06	2.13E-05	4.56%
19	3,330,902.70	17,879.92	1,161,440.00	2.71E+06	2.10E-05	4.51%
20	3,194,390.29	17,147.14	1,113,840.00	2.60E+06	2.01E-05	4.32%
21	3,112,482.85	16,707.47	1,085,280.00	2.53E+06	1.96E-05	4.21%
22	2,921,365.48	15,681.57	1,018,640.00	2.38E+06	1.84E-05	3.95%
23	2,839,458.04	15,241.90	990,080.00	2.31E+06	1.79E-05	3.84%
24	2,648,340.67	14,216.00	923,440.00	2.15E+06	1.67E-05	3.58%
25	2,566,433.23	13,776.33	894,880.00	2.09E+06	1.62E-05	3.47%
			Total	6.01E+07	4.66E-04	100.00%

Penyebaran yang hampir merata ditunjukkan pada % dampak yang dihasilkan pada tabel di atas. Pada proses perkebunan yang terjadi adalah aktivitas perkebunan dan jumlah emisi dihitung per ton FFB (TBS) yang dihasilkan. Dengan cukup meratanya persebaran ini, maka dapat disimpulkan bahwa proses pemupukan dengan

menggunakan pupuk amonium sulfat dan *ground rock* fosfat dan penggunaan herbisida *glyphosate* menyebabkan dampak *eutrophication* ini.

#### 4.2.2.4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisis pada 3 sub-subbab di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

**Tabel 4. 12** Aktivitas Penyebab Dampak yang Signifikan

<b>Dampak</b>	<b>% total dampak keseluruhan</b>	<b>Unit yang berkontribusi secara signifikan</b>	<b>Penyebab dampak yang signifikan</b>
Perubahan Iklim	<b>38.328%</b>	98.61% dihasilkan oleh unit Perkebunan	proses pembukaan lahan gambut dengan aktivitas tebang dan bakar
Pembentukan <i>photo-oxidant</i>	<b>34.788%</b>	56.67% dihasilkan oleh unit pabrik Biodiesel	penggunaan methanol dalam produksi biodiesel
		42.74% dihasilkan oleh unit perkebunan	proses pembukaan lahan gambut dengan aktivitas tebang dan bakar
<i>Eutrophication</i>	<b>26.358%</b>	99.42% dihasilkan oleh unit perkebunan	- proses pemupukan dengan menggunakan pupuk amonium sulfat dan <i>ground rock</i> fosfat - penggunaan herbisida <i>glyphosate</i>

### **4.3 ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DENGAN SKENARIO KELAS LAHAN**

Hasil pengolahan data yang menunjukkan perhitungan dampak lingkungan dengan menggunakan skenario kelas lahan yang berbeda, sedangkan data input yang lain adalah sama untuk keempat perhitungan ini (total lahan sebesar 10.000 ha (dengan pembukaan lahan 3000ha pada tahun pertama, 3000 ha pada tahun kedua, dan 4000 ha) dengan kelas lahan 1, jenis lahan gambut, serta teknik pembukaan lahan yaitu teknik tebang dan bakar)

Kelas lahan yang berbeda akan menyebabkan jumlah produksi yang berbeda pula. Kelas 1 memiliki rata-rata produksi 24.4 ton/tahun, Kelas 2 memiliki rata-rata produksi 22.65 ton/tahun, kelas 3 memiliki rata-rata produksi 20.26 ton/tahun, dan kelas 4 memiliki rata-rata produksi 17.97 ton/tahun.

Dari hasil tabel di bawah ini, menunjukkan bahwa pada perhitungan semua dampak, nilai dampak selalu menurun pada kelas yang lebih rendah. Hal ini juga ditunjukkan pada perhitungan total dampak per kategori dampak, dan total dampak per unit bisnis.

Dengan tabel input dan output yang tersedia dari hasil pengumpulan data, tabel tersebut memang menyediakan input dan output yang sudah dinormalisasi untuk 1 ton produk. Dengan jumlah produksi FFB (TBS) yang lebih besar, input dan output yang dihitung lebih besar dan akan menyebabkan dampak yang lebih besar pula. Maka dapat disimpulkan dengan ketersediaan data seperti ini, dengan kelas lahan yang semakin besar produktivitasnya, akan menghasilkan dampak lingkungan yang lebih besar.

Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak per kategori dengan skenario kelas lahan.

**Tabel 4. 13** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Kelas Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)			
	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.17E-06	1.04E-06	9.27E-07
Perubahan Iklim	6.82E-04	6.51E-04	6.09E-04	5.69E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.06E-08	5.41E-08	4.80E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.10E-07	8.12E-07	7.21E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.10E-11	9.80E-12	8.70E-12
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.19E-07	6.42E-07	5.70E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	5.93E-04	5.57E-04	5.24E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	5.83E-06	5.20E-06	4.62E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.35E-04	3.88E-04	3.44E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.69E-03</b>	<b>1.56E-03</b>	<b>1.44E-03</b>

Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan dampak per unit bisnis dengan skenario kelas lahan.

**Tabel 4. 14** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Kelas Lahan

Unit	Total Dampak (yr)			
	Kelas Lahan 1	Kelas Lahan 2	Kelas Lahan 3	Kelas Lahan 4
Perkebunan	1.40E-03	1.34E-03	1.25E-03	1.17E-03
Mill CPO (MKS)	1.89E-05	1.75E-05	1.56E-05	1.39E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.29E-04	2.94E-04	2.61E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.69E-03</b>	<b>1.56E-03</b>	<b>1.44E-03</b>

#### 4.4 ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DENGAN SKENARIO TOTAL LAHAN DAN LAJU PEMBUKAAN LAHAN

Skenario yang diberlakukan untuk skenario perbedaan total lahan dan laju pembukaan lahan:

- total lahan = 10.000 ha (dengan pembukaan lahan 3.000 ha, 3.000 ha, 4.000 ha)
- total lahan = 10.000 ha (dengan pembukaan lahan 2.000 ha untuk 5 tahun)
- total lahan = 6.000 ha (dengan pembukaan lahan 3.000 ha, dan 3.000 ha)
- total lahan = 6.000 ha (dengan pembukaan lahan 3.000 ha, 2.000 ha, dan 1.000 ha)

sedangkan keempat skenario tersebut memiliki data input yang sama untuk

- Kelas lahan = 1
- Jenis lahan = gambut
- Teknik pembukaan lahan = teknik tebang dan bakar

Tabel berikut memberikan hasil perhitungan dampak per kategori dampak dengan skenario luas lahan dan laju pembukaan lahan

**Tabel 4. 15** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Luas Lahan dan Laju Pembukaan Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)			
	10.000 ha (3.000, 3.000, 4.000)	10.000 ha (2.000, 2.000, 2.000, 2.000)	6.000 ha (3.000, 3.000)	6.000 ha (3.000, 2.000, 1.000)
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.22E-06	7.72E-07	7.68E-07
Perubahan Iklim	6.82E-04	6.68E-04	4.14E-04	4.13E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.32E-08	4.00E-08	3.98E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.50E-07	6.00E-07	5.97E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.15E-11	7.25E-12	7.21E-12
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terestrial	7.75E-07	7.51E-07	4.75E-07	4.72E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	6.07E-04	3.75E-04	3.74E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	6.08E-06	3.85E-06	3.83E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.54E-04	2.87E-04	2.85E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.74E-03</b>	<b>1.08E-03</b>	<b>1.08E-03</b>

Tabel berikut memberikan hasil perhitungan dampak per unit bisnis dengan skenario luas lahan dan laju pembukaan lahan

**Tabel 4. 16** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Luas Lahan dan Laju Pembukaan Lahan

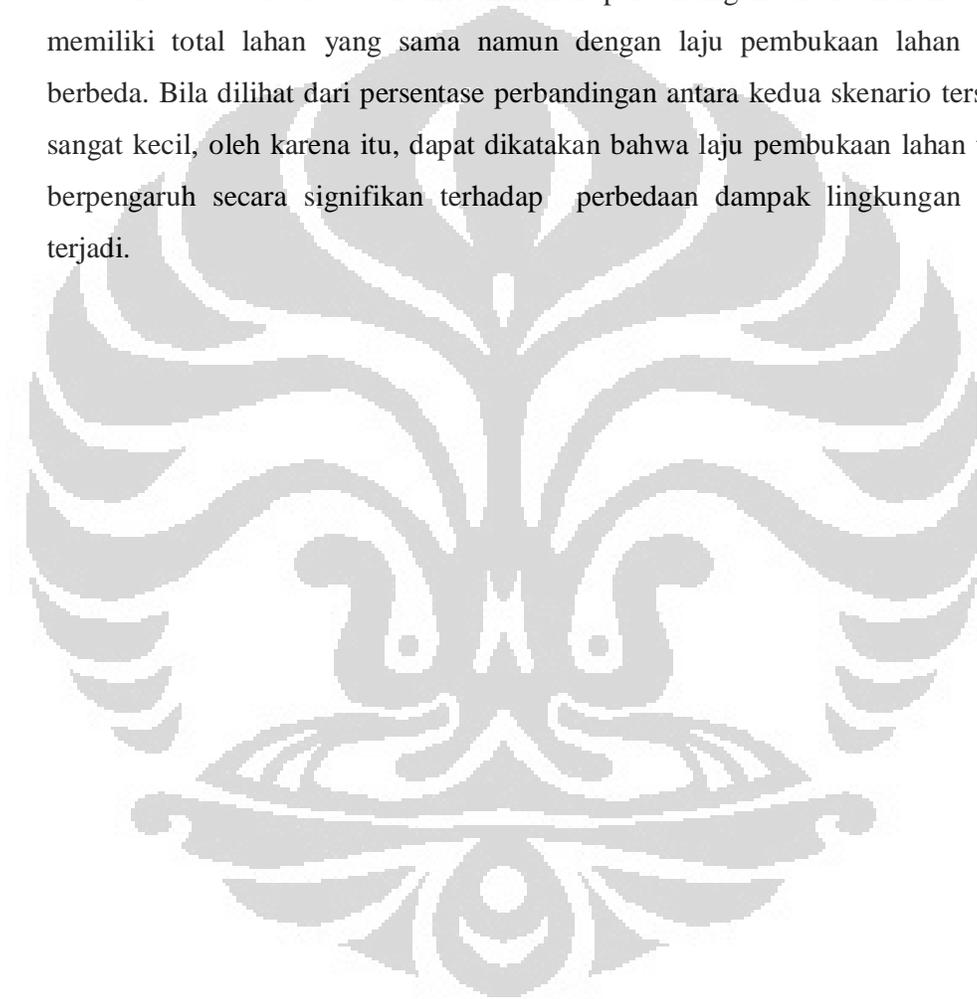
Unit	Total Dampak (yr)			
	10.000 ha (3.000, 3.000, 4.000)	10.000 ha (2.000, 2.000, 2.000, 2.000, 2.000)	6.000 ha (3.000, 3.000)	6.000 ha (3.000, 2.000, 1.000)
Perkebunan	1.40E-03	1.38E-03	8.53E-04	8.50E-04
Mill CPO (MKS)	1.89E-05	1.83E-05	1.16E-05	1.15E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.44E-04	2.17E-04	2.16E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.74E-03</b>	<b>1.08E-03</b>	<b>1.08E-03</b>

Ada dua hal yang bisa diAnalisis dari kedua tabel diatas

- Analisis perbandingan dampak lingkungan dari skenario laju pembukaan lahan
- Analisis perbandingan dampak lingkungan dari skenario total lahan

#### 4.4.1 Analisis Dampak Lingkungan dengan Skenario Laju Pembukaan Lahan

Pada tabel di bawah ini dilakukan perbandingan antar skenario yang memiliki total lahan yang sama namun dengan laju pembukaan lahan yang berbeda. Bila dilihat dari persentase perbandingan antara kedua skenario tersebut sangat kecil, oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa laju pembukaan lahan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perbedaan dampak lingkungan yang terjadi.



Hasil perbandingan skenario laju pembukaan lahan 10.000 ha ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 4. 17** Hasil Perhitungan Dampak dengan Skenario Laju Pembukaan Lahan pada Lahan 10.000 ha

Dampak (yr)	1	2	Perbandingan Skenario 1 dan 2
	10.000 ha (3.000, 3.000, 4.000)	10.000 ha (2.000, 2.000, 2.000, 2.000)	
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.22E-06	3.28%
Perubahan Iklim	6.82E-04	6.68E-04	2.10%
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.32E-08	3.32%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.50E-07	3.26%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.15E-11	2.61%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terestrial	7.75E-07	7.51E-07	3.20%
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	6.07E-04	1.98%
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	6.08E-06	3.29%
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.54E-04	3.30%
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.74E-03</b>	

Hasil perbandingan skenario laju pembukaan lahan 6.000 ha ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 4. 18** Hasil Perhitungan Dampak dengan Skenario Laju pembukaan lahan pada Lahan 6.000 ha

Dampak (yr)	3	4	Perbandingan Skenario 3 dan 4
	6.000 ha (3.000, 3.000)	6.000 ha (3.000, 2.000, 1.000)	
Penipisan Sumber Daya Abiotik	7.72E-07	7.68E-07	0.52%
Perubahan Iklim	4.14E-04	4.13E-04	0.24%
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	4.00E-08	3.98E-08	0.50%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	6.00E-07	5.97E-07	0.50%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	7.25E-12	7.21E-12	0.55%
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	4.75E-07	4.72E-07	0.64%
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	3.75E-04	3.74E-04	0.27%
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	3.85E-06	3.83E-06	0.52%
<i>Eutrophication</i>	2.87E-04	2.85E-04	0.70%
<b>total</b>	<b>1.08E-03</b>	<b>1.08E-03</b>	

Bila dilihat kembali perbedaan antara hasil pengukuran kedua dampak tersebut, kita dapat menemukan satu persamaan antara kedua tabel di atas, yaitu skenario pembukaan lahan yang secara kumulatif lebih banyak dibuka dengan lebih cepat akan memberikan dampak lingkungan yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh pembukaan lahan yang lebih cepat, akan dapat lebih cepat menghasilkan FFB (TBS) dan secara kumulatif akan menghasilkan total FFB (TBS) yang lebih banyak dibandingkan dengan pembukaan lahan yang lebih

lama. Mengingat bahwa tabel input dan output yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah input dan output berdasarkan 1 ton produk. Maka semakin besar total FFB (TBS), akan membutuhkan input yang lebih besar dan output yang lebih banyak pula. Hal ini akan meningkatkan perhitungan dampak lingkungan yang terjadi.

#### 4.4.2 Analisis Dampak Lingkungan dengan Skenario Luas Lahan

Pada bagian ini akan diAnalisis perbedaan dampak lingkungan yang terjadi dengan skenario luas lahan yang berbeda. Data perhitungan di bawah ini menunjukkan bahwa perhitungan dampak lingkungan pada lahan seluas 6.000 ha memiliki nilai 61.37% dari perhitungan dampak lingkungan pada lahan seluas 10.000 ha. Hal ini mendekati salah satu ciri dari *life cycle assessment* yang bersifat linear. Pada Analisis ini, dapat disimpulkan bahwa pendekatan perhitungan secara linear ini dapat digunakan untuk melakukan estimasi dari perhitungan dampak untuk luas lahan yang berbeda.

**Tabel 4. 19** Hasil Perhitungan Total Dampak dengan Skenario Luas Lahan

Dampak (yr)	1	2	3	4
	10.000 ha (3.000, 3.000, 4.000)	10.000 ha (2.000, 2.000, 2.000, 2.000, 2.000)	6.000 ha (3.000, 3.000)	6.000 ha (3.000, 2.000, 1.000)
total	1.78E-03	1.74E-03	1.08E-03	1.08E-03
		<b>% dengan 1</b>	<b>60.67%</b>	<b>60.67%</b>
		<b>% dengan 2</b>	<b>62.07%</b>	<b>62.07%</b>

#### 4.5 ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DENGAN SKENARIO JENIS LAHAN

Skenario yang diberlakukan adalah jenis lahan yaitu *peatland* dan *forestland*, sedangkan untuk data input lainnya merupakan data yang sama yaitu

- Kelas lahan = 1
- Luas lahan = 10.000 ha (pembukaan lahan 3.000, 3.000, 4.000)
- Teknik pembukaan lahan = teknik tebang dan bakar

Tabel berikut memberikan hasil pengolahan data untuk Analisis dampak lingkungan untuk setiap unitnya

**Tabel 4. 20** Hasil Perhitungan Dampak Lingkungan per Unit Bisnis dengan Skenario Jenis Lahan

Unit	Total Dampak (yr)	
	<i>Peatland</i>	<i>Forestland</i>
Perkebunan	1.40E-03	7.04E-04
Mill CPO (MKS)	1.89E-05	1.89E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.55E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.08E-03</b>

Dampak lingkungan pada unit perkebunan pada jenis lahan non gambut hanya 50.29% dari dampak lingkungan pada unit perkebunan pada jenis lahan gambut.

Untuk meneliti apakah hubungan tersebut berlaku untuk semua skenario, dilakukan perhitungan dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4. 21** Perhitungan Perbandingan Dampak dari Unit Perkebunan dalam Skenario Jenis Lahan

Teknik Pembukaan Lahan	Kelas Lahan	Total Lahan	Jenis Lahan	Dampak pada Lingkungan (dari perkebunan)(yr)	% dampak(skenario non gambut /skenario gambut)	% pengurangan dampak	
Teknik Tebang dan Bakar	1	10.000 (3.000, 3.000, 4.000)	Peatland	1.40E-03	50.29%	49.71%	
			Forestland	7.04E-04			
	2		Peatland	1.34E-03	49.19%	50.81%	
			Forestland	6.59E-04			
	3		Peatland	1.25E-03	47.70%	52.30%	
			Forestland	5.97E-04			
	4		Peatland	1.17E-03	46.11%	53.89%	
			Forestland	5.39E-04			
	1		10.000 (@ 2.000 u/ 5	Peatland	1.38E-03	49.74%	50.26%
			Forestland	6.84E-04			
	1		6000 (3.000,3.00	Peatland	8.53E-04	50.41%	49.59%
			Forestland	4.30E-04			
Teknik Tanpa Bakar	1	10.000 (3.000, 3.000, 4.000)	Peatland	8.82E-04	70.4021%	29.5979%	
			Forestland	6.21E-04			
	2		Peatland	8.18E-04	70.4021%	29.5979%	
			Forestland	5.76E-04			
	3		Peatland	7.30E-04	70.4021%	29.5979%	
			Forestland	5.14E-04			
	4		Peatland	6.48E-04	70.4021%	29.5979%	
			Forestland	4.56E-04			
	1		10.000 (@ 2.000 u/ 5	Peatland	8.54E-04	70.4021%	29.5979%
			Forestland	6.01E-04			
	1		6000 (3.000,3.00	Peatland	5.40E-04	70.4021%	29.5979%
			Forestland	3.80E-04			

Dari tabel di atas, dapat dipelajari bahwa, suatu tanah yang dibuka dengan teknik tanpa bakar, perhitungan dampak lingkungan yang berasal dari *peatland* dan *forestland*, memiliki hubungan sebagai berikut dampak lingkungan dari *forestland* adalah sebesar 70.4021% dari dampak lingkungan pada perkebunan dari *peatland*. Dengan kata lain, dengan memilih *forestland* dan dengan menggunakan teknik tanpa bakar, dapat meminimalisasi dampak lingkungan yang berasal dari perkebunan sebanyak 29.6% dibandingkan dengan dampak dari *peatland*. Hal ini

sudah diujikan pada skenario (kelas lahan, dan luas lahan, serta laju pembukaan lahan yang berbeda).

Selain itu, dengan juga dipelajari bagi tanah yang dibuka dengan teknik tebang dan bakar, besarnya dampak lingkungan dari *forestland* dapat diestimasi sebesar 46.11% hingga 50.41% dari besarnya dampak lingkungan dari *peatland*. Hubungan lain yang dapat dipelajari adalah semakin baik kelas lahan (produktivitas semakin tinggi), nilai % akan semakin besar. Hal ini sudah diujikan pada skenario (kelas lahan, dan luas lahan, serta laju pembukaan lahan yang berbeda). Dengan kata lain, dengan memilih *forestland* dan dengan menggunakan teknik tebang dan bakar, dapat meminimalisasi dampak lingkungan yang berasal dari perkebunan sebanyak 49.59% hingga 53.89% dibandingkan dengan dampak dari *peatland*. Hal ini sudah diujikan pada skenario (kelas lahan, dan luas lahan, serta laju pembukaan lahan yang berbeda). Tabel di bawah ini menunjukkan hasil pengolahan data per kategori dampak dengan skenario perbedaan jenis lahan

**Tabel 4. 22** Hasil Perhitungan Dampak per Kategori dengan Skenario Jenis Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)	
	<i>Peatland</i>	<i>Forestland</i>
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.26E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04	1.97E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.53E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	4.03E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	6.28E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.69E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.08E-03</b>

Skenario jenis lahan tidak memberikan perhitungan yang berbeda pada semua dampak. Perbedaan perhitungan terjadi pada dampak berikut:

- Perubahan Iklim
- Pembentukan *Photo-Oxidant*

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan tipe lahan gambut akan meningkatkan dampak lingkungan khususnya pada dampak perubahan iklim dan pembentukan *photo-oxidant*.

#### 4.6 ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DENGAN SKENARIO TEKNIK PEMBUKAAN LAHAN

Skenario yang diberlakukan adalah teknik pembukaan lahan yaitu teknik tebang dan bakar dan teknik tanpa bakar, sedangkan untuk data input lainnya merupakan data yang sama yaitu

- Kelas lahan = 1
- Luas lahan = 10.000 ha (pembukaan lahan 3.000, 3.000, 4.000)
- Jenis lahan = gambut (*peatland*)

Tabel berikut memberikan hasil pengolahan data untuk Analisis dampak lingkungan dengan skenario teknik pembukaan lahan

**Tabel 4. 23** Hasil Perhitungan Dampak Lingkungan per Unit Bisnis dengan Skenario Teknik Pembukaan Lahan

Unit	Total Dampak (yr)	
	Teknik Tebang dan Bakar	Teknik Tanpa Bakar
Perkebunan	1.40E-03	8.82E-04
Mill CPO (MKS)	1.89E-05	1.89E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	3.55E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.26E-03</b>

Tabel perhitungan dampak lingkungan per unit menunjukkan pada perbedaan teknik pembukaan lahan hanya akan merubah dampak lingkungan yang terjadi pada unit perkebunan. Dampak lingkungan pada unit perkebunan yang

dibuka pada teknik tanpa bakar hanya 63.04% dari dampak lingkungan pada unit perkebunan yang dibuka pada teknik tebang dan bakar. Untuk meneliti apakah hubungan tersebut berlaku untuk semua skenario, dilakukan perhitungan dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4. 24** Perhitungan Perbandingan Dampak dari Unit Perkebunan dalam Skenario Jenis Lahan

Jenis Lahan	Kelas Lahan	Total Lahan	Teknik Pembukaan Lahan	Dampak pada Lingkungan (dari perkebunan) (yr)	% dampak (skenario non bakar/bakar)	% pengurangan dampak	
<i>Peatland</i>	1	10.000 (3.000, 3.000, 4.000)	Tebang dan Bakar	1.40E-03	63.04%	36.96%	
			Tanpa Bakar	8.82E-04			
	2		Tebang dan Bakar	1.34E-03	61.07%	38.93%	
			Tanpa Bakar	8.18E-04			
	3		Tebang dan Bakar	1.25E-03	58.34%	41.66%	
			Tanpa Bakar	7.30E-04			
	4		Tebang dan Bakar	1.17E-03	55.42%	44.58%	
			Tanpa Bakar	6.48E-04			
1	10.000 (@ 2.000 u/ 5	Tebang dan Bakar	1.38E-03	62.09%	37.91%		
		Tanpa Bakar	8.54E-04				
1	6000 (3.000,3.00	Tebang dan Bakar	8.53E-04	63.32%	36.68%		
		Tanpa Bakar	5.40E-04				
<i>Forestland</i>	1	10.000 (3.000, 3.000, 4.000)	Tebang dan Bakar	7.04E-04	88.25%	11.75%	
			Tanpa Bakar	6.21E-04			
	2		Tebang dan Bakar	6.59E-04	87.41%	12.59%	
			Tanpa Bakar	5.76E-04			
	3		Tebang dan Bakar	5.97E-04	86.11%	13.89%	
			Tanpa Bakar	5.14E-04			
	4		Tebang dan Bakar	5.39E-04	84.62%	15.38%	
			Tanpa Bakar	4.56E-04			
	1		10.000 (@ 2.000 u/ 5	Tebang dan Bakar	6.84E-04	87.88%	12.12%
				Tanpa Bakar	6.01E-04		
1	6000 (3.000,3.00	Tebang dan Bakar	4.30E-04	88.43%	11.57%		
		Tanpa Bakar	3.80E-04				

Dari tabel di atas, dapat dipelajari bahwa pada *peatland*, besarnya dampak lingkungan dari perkebunan yang membuka lahan dengan teknik tanpa bakar dapat diestimasikan sebesar 55.43% hingga 63.32% dari besarnya dampak lingkungan dari lahan perkebunan yang dibuka dengan teknik tebang dan bakar. Hubungan lain yang dapat dipelajari adalah semakin baik kelas lahan (produktivitas semakin tinggi), nilai % akan semakin besar. Hal ini sudah diujikan pada skenario (kelas lahan, dan luas lahan, serta laju pembukaan lahan yang berbeda). Dengan memilih teknik tanpa bakar pada *peatland*, dapat

meminimalisasi dampak lingkungan yang berasal dari unit perkebunan sebesar 36.68% hingga 44.58%.

Sedangkan, bagi *forestland*, besarnya dampak lingkungan dari perkebunan yang membuka lahan dengan teknik tanpa bakar dapat diestimasikan sebesar 84.62% hingga 88.43% dari besarnya dampak lingkungan dari lahan perkebunan yang dibuka dengan teknik tebang dan bakar. Hubungan lain yang dapat dipelajari adalah semakin baik kelas lahan (produktivitas semakin tinggi), nilai % akan semakin besar. Hal ini sudah diujikan pada skenario (kelas lahan, dan luas lahan, serta laju pembukaan lahan yang berbeda). Dengan memilih teknik tanpa bakar pada *forestland*, dapat meminimalisasi dampak lingkungan yang berasal dari unit perkebunan sebesar 11.57% hingga 15.38%.

Tabel di bawah ini menunjukkan hasil pengolahan data per kategori dampak dengan skenario perbedaan teknik pembukaan lahan

**Tabel 4. 25** Hasil Perhitungan Dampak Lingkungan per Kategori dengan Skenario Teknik Pembukaan Lahan

Dampak	Total Dampak (yr)	
	Teknik Tebang dan Bakar	Teknik Tanpa Bakar
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.26E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04	4.23E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	6.53E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	7.75E-07	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	3.56E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	6.28E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	4.69E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.26E-03</b>

Skenario teknik pembukaan lahan tidak memberikan perhitungan yang berbeda pada semua dampak. Perbedaan perhitungan terjadi pada dampak berikut:

- Perubahan Iklim
- Pembentukan *Photo-Oxidant*

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan teknik tebang dan bakar akan meningkatkan dampak lingkungan khususnya pada dampak perubahan iklim dan pembentukan *photo-oxidant*.

#### **4.7 ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN CARA PEMUPUKAN DAN *YIELD* CPO (MKS) YANG BERBEDA**

Pada bagian ini dilakukan pada hasil pengolahan data ini, diberlakukan Analisis terhadap perubahan dampak lingkungan akibat perubahan data penggunaan pupuk dan *yield* CPO (MKS). Data pupuk dan *yield* CPO (MKS) yang digunakan adalah hasil studi pada *The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)"* di Thailand tahun 2004 dan sumber kedua adalah buku Panduan Lengkap Kelapa Sawit, yang membahas kelapa sawit di Indonesia. Skenario 1 akan menggunakan data dari sumber 1 dan skenario 2 akan menggunakan data dari sumber 2.

Untuk data input lainnya, akan digunakan data input sesuai dengan input baseline yaitu total lahan sebesar 10.000 ha dengan pembukaan lahan 3.000 ha (tahun1), 3.000 ha (tahun2), 4.000 ha (tahun3), dengan kelas lahan 1, jenis lahan gambut, serta teknik pembukaan lahan yaitu teknik tebang dan bakar.

Perubahan skenario ini akan membuat perubahan dosis pemupukan dan dampaknya yang terkait serta proses perhitungan dampak pada unit CPO dan Biodiesel. Dengan *yield* yang semakin besar pada ekstraksi minyak CPO, maka hasil CPO yang dihasilkan pada unit *mill* CPO (MKS) dan akan berdampak bula pada biodiesel yang semakin besar kuantitasnya. Jumlah CPO (MKS) dan Biodiesel yang semakin besar akan meningkatkan semua input dan output yang dibutuhkan pada unit-unit tersebut. Dengan demikian hal ini akan meningkatkan dampak yang disebabkan oleh unit *mill* CPO (MKS) dan biodiesel. Kenaikan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

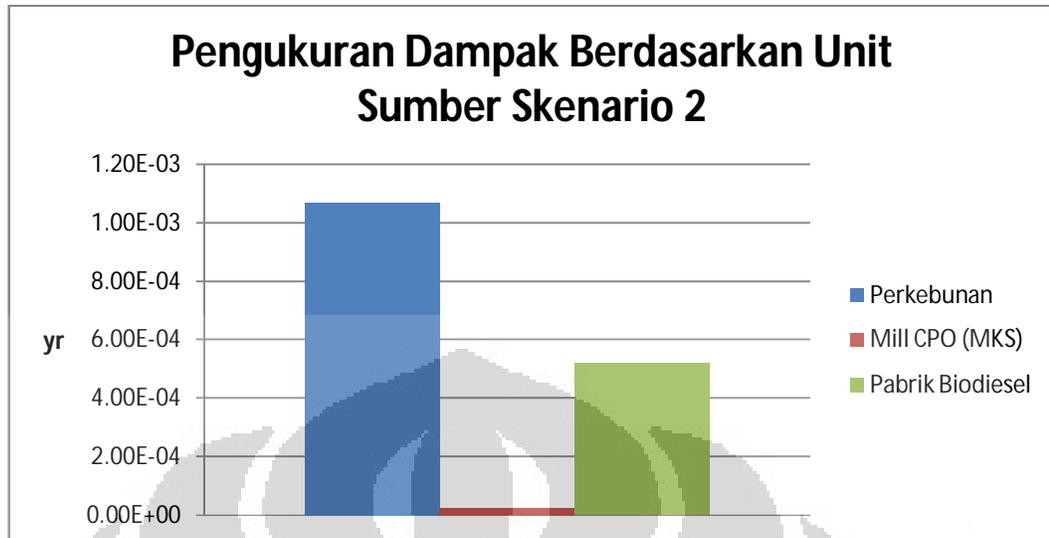
Tabel berikut memberikan gambaran perbandingan antara kedua skenario pada perhitungan dampak dari unit sumber

**Tabel 4. 26** Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario Pergantian Data Pemupukan dan *Yield* CPO

Unit	Dampak (yr)	
	Skenario 1	Skenario 2
Perkebunan	1.40E-03	1.07E-03
Mill CPO (MKS)	1.89E-05	2.74E-05
Pabrik Biodiesel	3.55E-04	5.22E-04
<b>Total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.62E-03</b>



**Gambar 4. 3** Grafik Total Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario 1



**Gambar 4. 4** Grafik Total Dampak per Unit Bisnis dengan Skenario 2

Dengan melihat dari kedua grafik di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa unit perkebunan merupakan unit dalam rantai suplai industri biodiesel yang menyumbang dampak lingkungan yang paling besar, diikuti dengan pabrik biodiesel, dan terakhir adalah pabrik CPO.

Tabel berikut ini memberikan perbandingan dampak antara kedua skenario tersebut

**Tabel 4. 27** Hasil Perhitungan Dampak Berdasarkan Skenario Pergantian Data Pemupukan dan *Yield* CPO

Dampak	Total dampak	
	Skenario 1	Skenario 2
Penipisan Sumber Daya Abiotik	1.26E-06	1.08E-06
Perubahan Iklim	6.82E-04	6.76E-04
Dampak Bahan Beracun pada Manusia	6.53E-08	9.57E-08
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	9.81E-07	9.81E-07
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	1.18E-11	1.18E-11
Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terestrial	7.75E-07	7.75E-07
Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	6.19E-04	7.85E-04
Pengasaman/ <i>Acidification</i>	6.28E-06	9.23E-06
<i>Eutrophication</i>	4.69E-04	1.45E-04
<b>total</b>	<b>1.78E-03</b>	<b>1.62E-03</b>

Perubahan dampak per kategori mengalami perubahan yang signifikan pada dampak penipisan sumber daya abiotik, pembentukan photo-oxidant, pengasaman/acidification, dan eutrophication. Analisis lebih lanjut akan membahas mengenai kenaikan dan penurunan nilai ini.

#### 4.7.1 Analisis Perbedaan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik

Sumber dari dampak penipisan sumber daya abiotik adalah

- Pupuk dan diesel pada unit perkebunan
- Diesel pada unit Mill CPO (MKS)
- Sodium hidroksida pada pabrik biodiesel.

Dari tabel perbandingan dampak penipisan sumber daya abiotik terjadi penurunan dampak. Jumlah diesel pada unit perkebunan diperkirakan tetap, dengan kebutuhan diesel per ton produk FFB (TBS) yang sama. Jumlah diesel pada unit Mill dan jumlah sodium hidroksida pada pabrik biodiesel diestimasikan menaik pada skenario dua, hal ini disebabkan oleh meningkatnya *yield* CPO (MKS) yang akan meningkatkan jumlah produksi CPO (MKS) dan jumlah produksi biodiesel.

Oleh karena itu, penurunan ini pasti disebabkan oleh pupuk pada unit perkebunan. Berikut adalah hasil pengolahan data mengenai total pupuk yang dibutuhkan selama 25 tahun yang ditunjukkan pada gambar berikut:

**Tabel 4. 28** Perbandingan Komposisi Pupuk pada Skenario 1 dan 2

Pupuk					
Skenario 1			Skenario 2		
N (dari ammonium sulphate)	270,600	ton	NPK	0.03	ton
P (dari ground rock phosphate)	75,768	ton	Dolomite	0.4	ton
K (dari potassium chloride)	189,420	ton	Urea	71345.615	ton
Mg (dari kieserite 26% MgO)	48,708	ton	MOP	78159.2	ton
B	5,412	ton	Rock Phospate	37168.958	ton
			CuSO4	238	ton
			ZnSO4	88.4	ton
			LSD	3060	ton
			Kieserite	29688.8	ton
			HGFB	1909.44	ton
total	589,908	ton	total	221,658.84	ton

Total pupuk yang digunakan pada skenario 2 hanya lah 37.58% dari total skenario 1. Hal ini dipastikan merupakan penyebab turunnya dampak penipisan sumber daya abiotik.

#### 4.7.2 Analisis Perubahan Dampak Bahan Beracun pada Manusia

Perubahan skenario menyebabkan kenaikan nilai 46.5% pada dampak bahan beracun pada manusia. Sesuai dengan tabel 3.36, dampak bahan beracun pada manusia disebabkan oleh input *glyphosate* pada perkebunan dan emisi NO<sub>2</sub> pada Mill CPO.

Tidak adanya efek perubahan pada input *glyphosate* pada skenario kedua memastikan emisi NO<sub>2</sub> sebagai satu-satunya penyebab dari kenaikan dampak bahan beracun pada manusia. Hal ini juga dipicu oleh besarnya faktor konversi NO<sub>2</sub> (1.2 kg 1,4-DCB/kg emisi) dibandingkan dengan faktor konversi *glyphosate* (0.015 kg 1,4-DCB/kg emisi). Hal ini juga didukung oleh logika bahwa kenaikan *yield* CPO akan meningkatkan produksi CPO. Kenaikan produksi CPO pasti akan

menaikkan nilai emisi  $\text{NO}_2$  ini dan hal ini akan berdampak pada kenaikan nilai dampak bahan beracun pada manusia.

#### 4.7.3 Analisis Perubahan Dampak Pembentukan *Photo-Oxidant*

Perubahan skenario menyebabkan kenaikan nilai 26.75% pada dampak pembentukan *photo-oxidant*. Dampak pembentukan *photo-oxidant* disebabkan oleh input berikut

**Tabel 4. 29** Input/Output yang Berkontribusi terhadap Dampak Pembentukan *Photo-oxidant*

Unit	Input/Output
Perkebunan	Emisi CO
	Emisi $\text{CH}_4$
Mill CPO (MKS)	Emisi $\text{NO}_2$
	Emisi CO
Pabrik Biodiesel	Methanol

Dengan tidak adanya perubahan output pada emisi di unit perkebunan, maka dapat disimpulkan bahwa kenaikan dampak disebabkan oleh emisi  $\text{NO}_2$  dan emisi CO pada Mill CPO (MKS) dan oleh input methanol pada pabrik biodiesel.

#### 4.7.4 Analisis Perubahan Dampak *Eutrophication*

Perubahan skenario ini menyebabkan penurunan dampak ini sebesar 69.16%. Sebagai informasi, pada skenario 1, dampak *eutrophication* disebabkan oleh  $\text{NH}_4$  (amonium), P,  $\text{P}_2\text{O}_5$  dan  $\text{NO}_2$ . Zat  $\text{NH}_4$ , P dan  $\text{P}_2\text{O}_5$  bersumber dari penggunaan pupuk dan *glyphosate* yang digunakan pada skenario 1. Emisi  $\text{NO}_2$  merupakan emisi yang berasal dari *mill CPO*.

Dengan mempelajari perubahan perilaku antara kedua skenario, emisi  $\text{NO}_2$  dan *glyphosate* tidak mungkin menyebabkan menurunnya nilai dampak ini. Dengan demikian, dapat dipelajari bahwa penurunan ini disebabkan tidak digunakannya pupuk yang mengandung  $\text{NH}_4$  serta pupuk dengan kandungan  $\text{P}_2\text{O}_5$  yang jauh lebih sedikit kuantitasnya digunakan pada skenario 2 dibandingkan pada skenario 1.

## BAB 5 KESIMPULAN

### 5.1 KESIMPULAN

Pada perhitungan dampak lingkungan untuk perkebunan, pabrik CPO, dan pabrik biodiesel dengan total lahan perkebunan sebesar 10.000 ha, dan laju pembukaan lahan 3.000 ha (pada tahun pertama), 3.000 ha (pada tahun kedua), dan 4.000 (pada tahun ketiga), kelas lahan 1 dengan produktivitas rata-rata 24 ton/tahun, jenis lahan gambut, dan teknik pembukaan lahan teknik tebang dan bakar, didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Perkebunan merupakan unit bisnis yang menyumbang dampak lingkungan terbesar dengan kontribusi 78.92%, diikuti dengan pabrik Biodiesel (20.01%), dan pabrik CPO (1.07%).
2. Tiga dampak yang secara signifikan berpengaruh adalah
  - Perubahan iklim, dengan penyebab yang paling signifikan adalah proses pembukaan lahan gambut dengan aktivitas tebang dan bakar
  - Pembentukan *photo-oxidant*, dengan penyebab yang signifikan adalah penggunaan methanol dalam produksi biodiesel dan proses pembukaan lahan gambut dengan aktivitas tebang dan bakar
  - *Eutrophication*, dengan penyebab proses pemupukan dengan menggunakan pupuk amonium sulfat dan *ground rock* fosfat dan penggunaan herbisida *glyphosate*

Dengan uji skenario terhadap perhitungan dampak lingkungan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin baik produktivitas lahan, dampak lingkungan yang dihasilkan semakin besar
2. Perbedaan laju pembukaan lahan pada luas lahan total yang sama, tidak akan mempengaruhi total dampak lingkungan secara signifikan
3. Total dampak lingkungan bersifat linear terhadap luas lahan. Hal ini berlaku bila diberlakukan skenario input kelas lahan, jenis lahan, dan teknik pembukaan lahan yang sama. Hal ini juga sesuai dengan teori LCA bahwa LCA adalah alat yang berdasarkan pemodelan linear

4. Penggunaan lahan gambut/*peatland* menghasilkan dampak lingkungan yang lebih besar dari lahan hutan/*forestland*.
5. Teknik pembukaan lahan dengan teknik tebang dan bakar akan menghasilkan dampak lingkungan yang lebih besar dari teknik pembukaan lahan dengan teknik tanpa bakar.
6. Dengan dilakukannya perubahan dosis pemupukan dan *yield* CPO yang berasal dari tinjauan pustaka lain, perhitungan dampak lingkungan tidak memberikan perubahan total dampak yang dihasilkan yang signifikan dan tidak merubah hasil perhitungan bahwa perkebunan merupakan unit bisnis yang berpotensi paling besar dalam perhitungan dampak lingkungan

Skenario terbaik untuk dampak lingkungan yang minimal didapatkan dengan menggunakan teknik pembukaan lahan tanpa bakar dan pemilihan lahan *forestland*. Skenario luas lahan dan kelas lahan tidak dapat dijadikan pertimbangan untuk input skenario karena luas lahan dan kelas lahan bersifat linear terhadap perhitungan dampak lingkungan yang dihasilkan. Hal ini akan menimbulkan bias karena data sekunder yang tersedia untuk perhitungan LCA telah ternormalisasi untuk setiap 1 ton produk.

## 5.2 SARAN

Berdasarkan pembahasan mengenai Analisis dampak lingkungan dari rantai suplai industri biodiesel ini, dapat dikemukakan beberapa saran berikut ini:

1. Menghindari penggunaan lahan gambut dan teknik pembukaan lahan tebang dan bakar untuk dapat meminimalisasi dampak lingkungan,
2. Perkebunan merupakan unit bisnis yang menyumbang dampak lingkungan terbesar pada rantai suplai industri biodiesel, oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk dapat mengidentifikasi usaha-usaha untuk meminimalisasi dampak lingkungan pada unit perkebunan

## DAFTAR REFERENSI

- Agus, Fahmuddin & Noordwijk, Meine van. (2007, 15 November). CO2 emissions depend on two letters. <http://unfcccbbali.org/unfccc/news-unfccc/news-unfccc/co2-emissions-depend-on-two-letters.html>
- Crutzen, P.J. et al. (2007, 1 August). N2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*. [www.atmos-chem-phys-discuss.net/.../acpd-7-11191-2007.html](http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/.../acpd-7-11191-2007.html)
- Departemen Perindustrian. 2007. Gambaran Sekilas Industri Kelapa Sawit. <http://www.depperin.go.id/PaketInformasi/KelapaSawit/Minyak%20Kelapa%20Sawit.pdf>
- Dillon, Harbrinderjit S., Laan, T. & Dillon, Harya S., 2008. Biofuels-At What Cost? [http://www.iisd.org/pdf/2008/indonesia\\_biofuels.pdf](http://www.iisd.org/pdf/2008/indonesia_biofuels.pdf)
- Finck, A. 1992. Fertilizers and Their Efficient Use, 26p. Dalam W. Wichmann (Ed), *World Fertilizer Use Manual*, <http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/PDF/introd.pdf>
- Greenpeace. n.d. CO2 emissions. <http://www.greenpeace.org/usa/campaigns/global-warming-and-energy/science/co2-emissions>
- Greenpeace. (2008, 21 May). Greenpeace mendorong produsen, pemasok serta pengguna minyak kelapa sawit untuk mendukung moratorium deforestasi di Indonesia. <http://www.greenpeace.org/seasia/id/press/press-releases/greenpeace-mendorong-produsen>
- Guinee, Jeroen B. et al. 2002. *Handbook of Life Cycle Assessment*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Kelapa Sawit Ancam Keanekaragaman Hayati Indonesia. (2008, 17 November).

<http://beritahabitat.net/2008/11/17/kelapa-sawit-ancam-keanekaragaman-hayati-indonesia/>

Kuhlmann, Rolf von. (2001, 22 October). "NMVOC Chemistry in the

Troposphere. <http://www.mpch-mainz.mpg.de/~kuhlmann/rvkdishtml/node6.html>

Kusumadewi, Deuxiemi. (2006, 21 November). *Pendirian RSPO Indonesia*

*Liaison Office (RILO)*. Presentation on RT4 Side Meeting.

<http://www.rspo.org/PDF/RILO/Presentasi%20RILO%20Side%20Event.pdf>

Martin, G. 1981. Quelques Donnees Pratiques de Fertilisation du Palmier a huile-

les Engrais Simples (Practical Advice on Fertilizing Oil Palms-simple Fertilizers). *Oleagineux*, 32(12):519-522.

Murugesan, A. et al. (2008, 8 February). Production and analysis of bio-diesel

from non-edible oils—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 825–834.

Neto, T.G. Soares. (2008, 30 August). Biomass consumption and CO<sub>2</sub>, CO and

main hydrocarbon gas emissions in an Amazonian forest clearing fire.

[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6VH3-4TB77GM1&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_searchStrId=938000175&\\_rerunOrigin=google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&userid=10&md5=cc8c519ff343129f541b19dc28d8eaa5](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VH3-4TB77GM1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=938000175&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&userid=10&md5=cc8c519ff343129f541b19dc28d8eaa5)

Ollagnier, M. dan R. Ochs. 1982. Management of Mineral Nutrition on Industrial

Oil Palm Plantations-Fertiliser Savings, p71-90. Dalam E. Pushparajah dan

P.S. Chew, "The Oil Palms in The Eighties", Incomp. Soc. of Planters, Vol. II.  
Kuala Lumpur

Onrizal. N.d. Pembukaan Lahan dengan dan Tanpa Bakar. [http://library.usu.ac  
.id/download/fp/hutan-onrizal8.pdf](http://library.usu.ac.id/download/fp/hutan-onrizal8.pdf)

Pahan, Iyung. 2008. Panduan Lengkap Kelapa Sawit. Jakarta: Swadaya.

Pangudijatno, G. dan P. Purba. 1987. Kesesuaian Lahan dan Keterkaitannya  
dengan Pembangunan Perkebunan Kelapa Sawit. "Pros. Lok. Man Industri  
Kelapa Sawit Vol. 1". Medan

Pangudijatno, G., A. Panjaitan, dan K. Pamin. 1985. Potensi Produksi Kelapa  
Sawit pada Berbagai Kelas Kesesuaian Lahan. "Bul. Perk. BPP Medan  
16(4):159-168".

Paraquat Information Center. N.d. Paraquat Fact Sheet.  
[http://www.paraquat.com/AboutParaquat/FeaturesArchive/GettheFactsUsethe  
ParaquatFactSheet/tabid/319/Default.aspx](http://www.paraquat.com/AboutParaquat/FeaturesArchive/GettheFactsUsetheParaquatFactSheet/tabid/319/Default.aspx)

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan  
Energi Nasional. 2006.

Plenjai, S., Gheewala, S. H. & Garivait, S. 2004. Environmental Evaluation of  
Biodiesel Production from Palm Oil in a Life Cycle Perspective. The Joint  
International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)"  
[http://www.energy-based.nrct.go.th/Article/Ts-3%20envi  
ronmental%20eva  
luation%20of%20biodiesel%20production%20from%20palm%20oil  
%20in%20a%20life%20cycle%20perspective.pdf](http://www.energy-based.nrct.go.th/Article/Ts-3%20environmental%20evaluation%20of%20biodiesel%20production%20from%20palm%20oil%20in%20a%20life%20cycle%20perspective.pdf)

- Putri, Anastasia. (2009, 18 June). *London Sumatra Terima Sertifikasi RSPO* .  
[http://berita.liputan6.com/ekbis/200906/234030/London. Sumatra. Terima.Sertifikasi.RSPO](http://berita.liputan6.com/ekbis/200906/234030/London.Sumatra.Terima.Sertifikasi.RSPO)
- Reijnders, L & Huijbregts, M.A.J. (2006, 27 October). Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*, 16 (2008) 477- 482.
- RSPO. (2007, 26 June). RSPO Certification Systems. [www.rspo.org/resource\\_centre/RSPO%20certification%20systems.pdf](http://www.rspo.org/resource_centre/RSPO%20certification%20systems.pdf)
- Siahaan, M.M., Suwandi dan A. Panjaitan. 1990. Pemupukan Tanaman Kelapa Sawit”. Kumpulan Makalah Pertemuan Teknis Kelapa Sawit. Pekanbaru.
- Siahaan, M.M., S. Lubis dan A. Panjaitan. 1991. Beberapa Alternatif untuk Menanggulangi Kenaikan Harga Pupuk Bersubsidi pada Perkebunan Kelapa Sawit. “Bberita Pen. Perkeb. 1(1):1-15.
- Suwandi, A. Panjaitan dan A.U. Lubis. 1989. Manajemen Pemupukan Tanaman Kelapa Sawit, p. 191-200, Dalam A.U. Lubis et al. (Eds), *Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.)*. Pematang Siantar: PPP Marihat.
- Suwandi, A. Panjaitan dan F. Chan. 1989. Pemupukan pada Tanaman Kelapa Sawit yang Telah Menghasilkan, p. 229-238, Dalam A.U. Lubis et al. (Eds), *Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.)*. Pematang Siantar: PPP Marihat.
- Syukur, S. dan A.U. Lubis. 1989. Perhitungan Bunga untuk Peramalan Produksi Jangka Pendek pada Kelapa Sawit, p. 353-362, Dalam A.U. Lubis et al. (Eds), *Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.)*. Pematang Siantar: PPP Marihat.
- Tabel Periodik Unsur Kimia. <http://valencia08.files.wordpress.com/2009/02/tabel-kimia.jpg>

- Tan, K.T. et al. (2008, 4 October). Palm oil: Addressing issues and toward sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 420–427.
- Thamsiroroj, T., Murphy, J.D. (2008, 14 September). Is it better to import palm oil from Thailand to produce biodiesel in Ireland. than to produce biodiesel from indigenous Irish rape seed? *Journal of Applied Energy* 86 (2009) 595–604.
- Van Noordwijk, M., P.M. Susswein, T.P. Tomick, C. Diaw, dan S. Vost. 2001. Land use practices in the humid tropics and introduction to ASB benchmark areas. International Centre for Research in Agroforestry-Southeast Asian Regional Research Programme, Bogor, Indonesia.
- Van Noordwijk, M., T.P. Tomick, R. Winahyu, D. Murniyarso, Suyatno, S. Partoharjono, dan A.M. Fagi (Eds). 1995. Alternatives to slash-and-burn in Indonesia, Summary report of phase 1. ASB-Indonesia Report No. 4. ASB-Indonesia and ICRAF-S.E. Asia, Bogor, Indonesia.