

**RANCANGAN STRATEGI PERENCANAAN
INDUSTRI BIODIESEL KELAPA SAWIT YANG
RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN**

TESIS

**R. AGUNG WIJONO
08 06 42 26 81**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PASCASARJANA TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2010**

**RANCANGAN STRATEGI PERENCANAAN
INDUSTRI BIODIESEL KELAPA SAWIT YANG
RAMAH LINGKUNGAN DAN BERKELANJUTAN**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik**

**R. AGUNG WIJONO
08 06 42 26 81**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PASCASARJANA TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : R. Agung Wijono

NPM : 0806422681

Tanda Tangan :

Tanggal : 22 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : R. Agung Wijono
NPM : 0806422681
Program Studi : Pascasarjana Teknik Industri
Judul Skripsi : Rancangan Strategi Perencanaan Industri Biodiesel Kelapa Sawit yang Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Teuku Yuri M.Z., M.Eng.Sc. (_____)

Pembimbing II : Akhmad Hidayatno, ST, MBT (_____)

Penguji : Ir. Fauzia Dianawati, MSi (_____)

Penguji : Ir. Yadrifil, MSc (_____)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbul ‘Alamin. Segala puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat Allah SWT, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Departemen Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sangat menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan rasa terima kasih yang tulus ikhlas dan mendalam kepada :

- (1) Prof. Dr. Ir. Teuku Yuri M.Z., M.Eng.Sc dan Akhmad Hidayatno, ST, MBT, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Carissa, ST, yang hasil skripsinya telah banyak membantu dan memberikan kemudahan untuk bisa menyelesaikan program studi dan tesis saya ini;
- (3) Bapak Ibu Dosen dan Staf Departemen TI-UI yang di Salemba dan Depok, atas bantuan dan kerjasamanya dalam menempuh studi selama dua tahun ini;
- (4) Dr. Ir. Soni Solistia Wirawan, M.Eng. dan kawan-kawan kami seperjuangan di BRDST-BPPT, yang telah banyak memberikan dorongan dan pengarahan mengenai industri biodiesel dari segi teknis dan wawasan lingkungannya;
- (5) Ir. Agus Sugiono, M.Eng, Ir. Rizqon Fajar, M.Eng dan Dr. Tajuddin, M.Sc. yang telah memberikan pengarahan dan bantuan data-data mengenai bidang energi, transportasi, emisi, regulasi dan industri perkebunan kelapa sawit;
- (6) Semua pihak dari Perusahaan Perkebunan Kelapa Sawit, Pabrik Biodiesel, serta Instansi Pemerintah dan Swasta yang terkait lainnya, yang juga telah membantu dalam memberikan informasi dan klarifikasi data-data terkait, baik itu secara langsung maupun via sarana email, faximile, dan telepon;
- (7) Seluruh teman-teman S2 TI-UI Angkatan 2008 untuk Salemba dan Depok, yang selalu bersama-sama di saat suka dan duka selama dua tahun ini;
- (8) Saudara Uci dan Lia yang juga telah membantu penulis dalam mengedit dan pengetikan sehingga bisa terselesaikannya tulisan ini di saat-saat yang kritis;

- (9) Yang tercinta Ibu, Bapak dan Sekeluarga yang telah banyak memberikan dorongan dan do'a restu sehingga menambah semangat dan kekuatan;
- (10) Yang tersayang Susita Novianti dan Ghania R.A. Winola, istri dan anak saya yang telah banyak memberikan dukungan, pengorbanan, dan motivasi;
- (11) Seluruh sahabat, kerabat dan teman-teman yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas dukungan, bantuan dan kerjasamanya yang telah diberikan.

Akhir kata, saya berharap semoga Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah berpartisipasi dan memberikan bantuan baik itu yang berupa moril dan materiil. Dimohon adanya masukan, kritik, saran demi tindak lanjut pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta dalam rangka menuju kebenaran yang hakiki. Semoga tesis ini bisa membawa manfaat bagi pengembangan ilmu, dan yang lebih penting lagi adalah bisa bermanfaat terhadap kehidupan antar sesama.

Terimakasih dan Salam.

Wallahu a'lam bissawab.

Depok, 22 Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : R. Agung Wijono
NPM : 0806422681
Program Studi : Pascasarjana
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

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 :
Rancangan Strategi Perencanaan Industri Biodiesel Kelapa Sawit yang Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan.

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 : 22 Juni 2010

Yang menyatakan

(R. Agung Wijono)

ABSTRAK

Nama : R. Agung Wijono
Program Studi : Pascasarjana Teknik Industri
Judul : Rancangan Strategi Perencanaan Industri Biodiesel Kelapa
Sawit yang Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan

Metoda *life cycle assessment* model *cradle to wheel* industri biodiesel sawit untuk kajian potensi dampak lingkungan dari rantai suplai perkebunan sawit, *CPO mill*, pabrik biodiesel, *blending plant*, SPBU, dan kendaraan transportasi. Analisis kategori dampak dan perhitungan menggunakan skenario roadmap biodiesel nasional, skenario roadmap tanpa membuka lahan baru, skenario transportasi tanpa menggunakan biodiesel, skenario besaran emisi transportasi, skenario pengaruh campuran biodiesel terhadap emisi, serta rencana strategi pelaksanaan roadmap biodiesel nasional. Melimpahnya produksi CPO Indonesia duapuluh juta ton/tahun, kemandirian teknologi industri biodiesel, dan sifat biodiesel yang ramah lingkungan, sehingga biodiesel sawit sebagai bahan bakar alternatif mampu mendukung ketahanan energi nasional yang berkelanjutan.

Kata kunci : Biodiesel kelapa sawit, *life cycle assessment*, transportasi, *roadmap* biodiesel, *biodiesel mix*, *GHG emission*, *sustainable*, strategi perencanaan.

ABSTRACT

Name : R. Agung Wijono
Study Program : Postgraduate Industrial Engineering
Title : Design of Planning Strategy for Oil Palm Biodiesel Industry
Environment-Friendly and Sustainable

Life cycle assessment method with the cradle to wheel model of oil palm biodiesel industry to study the potential environmental impact of the supply chain oil palm plantation, CPO mill, biodiesel plant, blending plant, gas station, and vehicle transportation. Analysis of impact categories and calculation using the national biodiesel roadmap scenarios, roadmap scenario without opening new plantation, transportation scenario without use biodiesel, the scenario of transportation emissions, scenario of effect the biodiesel mixture on emissions, and plan strategies for the national biodiesel roadmap. An abundance of Indonesian CPO production of twenty million tons/year, independent biodiesel industry technology, and environment-friendly nature of biodiesel, so palm oil biodiesel as alternative fuels capable of supporting a sustainable national energy security.

Keywords: Oil palm biodiesel, life cycle assessment, transportation, biodiesel roadmap, biodiesel mix, GHG emission, sustainable, planning strategy.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR RUMUS	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Diagram Keterkaitan Permasalahan	5
1.3 Rumusan Permasalahan	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.6 Metodologi Penelitian	8
1.7 Sistematika Penulisan	11
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Strategi Energi	12
2.1.1 Kebijakan Energi Nasional	12
2.2 Industri kelapa Sawit	14
2.2.1 Tanaman Kelapa Sawit	14
2.2.2 Perkebunan Kelapa Sawit	16
2.2.2.1 Kriteria Lahan Perkebunan Kelapa Sawit	20
2.2.2.2 Pembukaan Lahan	22

2.2.2.3	Pemupukan	24
2.2.2.4	Perlindungan Tanaman dengan Pestisida	29
2.2.3	Pengolahan Minyak dan Inti Sawit	30
2.2.4	Agribisnis Kelapa Sawit	31
2.2.5	Isu Lingkungan dalam Industri Kelapa Sawit	33
2.2.6	RSPO	34
2.2.6.1	Struktur Organisasi RSPO	35
2.2.6.2	RSPO di Indonesia	36
2.2.6.3	Inisiatif RSPO	37
2.2.6.4	Skema Sertifikasi	38
2.2.6.5	Interpretasi Nasional	39
2.3	Biodiesel	40
2.3.1	Peran Biodiesel dalam Transportasi	42
2.3.2	Mandat Penggunaan Bahan Bakar Nabati	46
2.4	Campuran Biodiesel	47
2.4.1	Estimasi Sifat Kimia Fisika Campuran Biodiesel	50
2.5	Emisi Transportasi	53
2.5.1	Efek Kualitas Biodiesel Terhadap Unjuk Kerja Mesin	55
2.5.2	Efek Kualitas Biodiesel Terhadap Emisi Gas Buang	58
2.5.3	Efek Kualitas Biodiesel Terhadap Pembakaran Mesin	59
2.5.4	Efek Kualitas Biodiesel Terhadap Pelumasan	60
2.5.5	Emisi Kendaraan Bermotor	61
2.6	Life Cycle Assessment	67
2.6.1	Karakteristik Umum dari LCA	67
2.6.1.1	Definisi LCA	68
2.6.1.2	Batasan dari LCA	68
2.6.2	Metodologi	69
2.6.2.1	Pendefinisian Tujuan dan Lingkup	69
2.6.2.2	Analisis Inventori	70
2.6.2.3	Pengukuran Dampak	72
2.6.2.4	Interpretasi	80
2.7	Stoikiometri	80

2.7.1	Massa Atom	81
2.7.2	Massa Molekul	81
2.7.3	Rumus Empiris	81
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		82
3.1	Pengumpulan Data	82
3.1.1	Pengumpulan Data pada Unit Bisnis Perkebunan	82
3.1.1.1	Data Umum Perkebunan	83
3.1.1.2	Data Emisi	86
3.1.1.3	Data Produktivitas Lahan	88
3.1.1.4	Data Unsur Hara dalam Pupuk	90
3.1.1.5	Data Herbisida	90
3.1.2	Pengumpulan Data pada Unit Bisnis CPO Mill	91
3.1.3	Pengumpulan Data pada Unit Bisnis Pabrik Biodiesel	92
3.1.5	Blending Plant / Pool Bahan Bakar Minyak (Pertamina)	96
3.1.5	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU)	97
3.1.6	Transportasi Kendaraan Pengguna Biodiesel	97
3.2	Pengolahan Data	99
3.2.1	Tabel Input dan Output	100
3.2.2	Pemilihan kategori dampak	125
3.2.3	Pemilihan metode karakterisasi: indikator kategori, model karakterisasi, dan faktor karakterisas	125
3.2.4	Klasifikasi	125
3.2.5	Karakterisasi	130
3.2.6	Pengukuran Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik	130
3.2.7	Pengukuran Dampak Perubahan Iklim	142
3.2.8	Pengukuran Dampak Bahan Beracun pada Manusia	144
3.2.9	Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Air Tawar	146
3.2.10	Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Air Laut	148
3.2.11	Pengukuran Dampak Beracun pada Ekosistem Terestria	150
3.2.12	Pengukuran Dampak Pembentukan Photo-Oxidant	152
3.2.13	Pengukuran Dampak Pengasaman/Acidification	154
3.2.14	Pengukuran Dampak Eutrophication	156

3.2.15	Normalisasi	158
3.2.16	Hasil Pengolahan Data Agregat	159
3.2.17	Hasil Pengolahan dengan Beberapa Skenario	158
BAB 4	PEMBAHASAN	161
4.1	Analisis Kategori Dampak	161
4.2	Analisis Dampak Lingkungan Roadmap Biodiesel	163
4.2.1	Analisis Dampak Lingkungan Per Unit Bisnis	164
4.2.1.1	Analisis Dampak di Perkebunan Kelapa Sawit	164
4.2.1.2	Analisis Dampak di CPO Mill	168
4.2.1.3	Analisis Dampak di Pabrik Biodiesel	170
4.2.1.4	Analisis Dampak di Blending Plant	171
4.2.1.5	Analisis Dampak di SPBU	173
4.2.1.6	Analisis Dampak di Transportasi	174
4.2.2	Analisis Dampak Lingkungan per Kategori Dampak	177
4.2.2.1	Analisis Dampak Penipisan Smbd Daya Abiotik	177
4.2.2.2	Analisis Dampak Perubahan Iklim	180
4.2.2.3	Analisis Dampak Pembentukan Photo-Oxidant	181
4.2.2.4	Analisis Dampak Pengasaman	182
4.2.2.5	Analisis Dampak Eutrophication	183
4.3	Roadmap Biodiesel Tanpa Buka Lahan Baru	184
4.4	Transportasi Tanpa Menggunakan Biodiesel	187
4.5	Besaran Emisi Pada Kendaraan Transportasi	190
4.6	Pengaruh Campuran Biodiesel Terhadap Emisi	192
4.7	Strategi Pelaksanaan Roadmap Biodiesel Nasional	195
BAB 5	KESIMPULAN	196
5.1	Kesimpulan	196
5.2	Saran	199
	DAFTAR REFERENSI	200
	LAMPIRAN	204
	Roadmap Teknologi Biodiesel	235

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Roadmap Pengembangan Biofuel	13
Tabel 2.2	Pentahapan Kewajiban Minimal Pemanfaatan Biodiesel	14
Tabel 2.3	Kapasitas Biodiesel	14
Tabel 2.4	Ciri-Ciri Buah Dura, Pisifera, Dan Tenera	16
Tabel 2.5	Luas Areal Dan Produksi Perkebunan Seluruh Indonesia Menurut Provinsi Dan Status Pengusaha	17
Tabel 2.6	Luas Areal dan Produksi Perkebunan Seluruh Indonesia	18
Tabel 2.7	Sifat Fisik Tanah Untuk Tanaman Kelapa Sawit	21
Tabel 2.8	Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Pengusahaan Kelapa Sawit	21
Tabel 2.9	Pupuk Anorganik dan Kandungan Hara Utamanya	26
Tabel 2.10	Jenis Pupuk/ Limbah Organik di Perkebunan Kelapa Sawit	28
Tabel 2.11	Kisaran Dosis Pupuk Kelapa Sawit pada Umur Tertentu	29
Tabel 2.12	Perbandingan Alternatif Potensi Substitusi Minyak Solar di Indonesia	44
Tabel 2.13	Standar Biodiesel dari Eropa, Amerika Serikat dan Indonesia	45
Tabel 2.14	Target Minimum Penggunaan Biodiesel untuk Berbagai Sektor	46
Tabel 2.15	Target Minimum Penggunaan Bioethanol untuk Berbagai Sektor	47
Tabel 2.16	Batas Emisi Gas Buang untuk Penggerak Motor Bakar Diesel Kategori M	61
Tabel 2.17	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik	74
Tabel 2.18	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Persaingan Lahan	74
Tabel 2.19	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Perubahan Iklim	75
Tabel 2.20	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Penipisan Lapisan Ozon Stratosfer	75
Tabel 2.21	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Manusia	76
Tabel 2.22	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	76

Tabel 2.23	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	77
Tabel 2.24	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Terrestrial	77
Tabel 2.25	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Pembentukan Photo-Oxidant	78
Tabel 2.26	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Pengasaman	78
Tabel 2.27	Metode Karakterisasi Dasar untuk Dampak Eutrophication	79
Tabel 2.28	Tabel Massa Atom Relatif	81
Tabel 3.1	Tabel Input Output Perkebunan Kelapa Sawit per ton TBS	83
Tabel 3.2	Kebutuhan Pemupukan Awal dengan Lahan 10.000 ha	83
Tabel 3.3	Kebutuhan Pupuk untuk Berbagai Usia Tanaman	84
Tabel 3.4	Kebutuhan Benih dan Pembibitan	84
Tabel 3.5	Pemupukan Bibit Kelapa Sawit di <i>Main Nursery</i> (gram per bibit)	84
Tabel 3.6	Pedoman Pemupukan Kelapa Sawit TBM (143 pohon/hektar)	85
Tabel 3.7	Dosis Pupuk dan Jenis Pupuk yang Selama Observasi	85
Tabel 3.8	Pedoman Pemupukan Kelapa Sawit TM (143 pohon/hektare)	86
Tabel 3.9	Emisi CO ₂ pada Praktik Perkebunan	87
Tabel 3.10	Emisi Pembakaran Lahan per Hektar	88
Tabel 3.11	Produktivitas Kelapa Sawit Varietas Tenera	89
Tabel 3.12	Potensi Produksi Berdasarkan Kelas Lahan	90
Tabel 3.13	Tabel Input dan Output pada Mill CPO per 1 ton CPO	91
Tabel 3.14	Parameter Estimasi Emisi CH ₄ dari POME	92
Tabel 3.15	Tabel Input dan Output pada Pabrik Biodiesel per 1 ton Biodiesel	93
Tabel 3.16	Tabel Daftar Inventori Produksi 1 ton Bio	93
Tabel 3.17	Tabel Input Output Energi dalam Sistem Biodiesel	94
Tabel 3.18	Tabel Input Output Energi dalam Sistem Biodiesel (PME)	95
Tabel 3.19	Data Pompa Sirkulasi <i>Untuk Blending Plant</i>	96
Tabel 3.20	Spesifikasi Alat Transportasi Biodiesel/ BBM	96
Tabel 3.21	Spesifikasi Dispenser SPBU	97
Tabel 3.22	Data Kendaraan di Indonesia	97
Tabel 3.23	Data Koefisien Emisi (BTMP)	98

Tabel 3.24	Data Koefisien Emisi (Collection)	98
Tabel 3.25	Konsumsi BB Kendaraan	98
Tabel 3.26	Tabel Input dan Output pada Perkebunan sebelum Penyesuaian	100
Tabel 3.27	Tabel Input dan Output pada Perkebunan Setelah Penyesuaian	101
Tabel 3.28	Tabel Input dan Output <i>Mill</i> CPO Sebelum Penyesuaian	101
Tabel 3.29	Tabel Input dan Output <i>Mill</i> CPO Setelah Penyesuaian	102
Tabel 3.30	Tabel Input dan Output Pabrik Biodiesel Sebelum Penyesuaian	102
Tabel 3.31	Tabel Input dan Output Pabrik Biodiesel Setelah Penyesuaian	103
Tabel 3.32	Tabel Input dan Output <i>Blending Plant</i>	103
Tabel 3.33	Tabel Input dan Output SPBU	104
Tabel 3.34	Tabel Input dan Output Kendaraan Diesel	104
Tabel 3.35	Data Kebun Kelapa sawit di Indonesia	106
Tabel 3.36	Kebutuhan Solar (ADO) Transportasi di Indonesia	107
Tabel 3.37	Kebutuhan Lahan Disesuaikan Roadmap Biodiesel	108
Tabel 3.38	Tabel Pemetaan Lahan Kelapa Sawit	109
Tabel 3.39	Tabel Kebutuhan Pupuk N, P, K, Mg, B untuk Simulasi di Perkebunan Kelapa Sawit	110
Tabel 3.40	Tabel Produktifitas Kebun Kelapa Sawit Sesuai Kelas Lahan	111
Tabel 3.41	Tabel Pemetaan Produksi Tandan Buah Segar (TBS)	112
Tabel 3.42	Tabel Pemetaan Produksi CPO	113
Tabel 3.43	Tabel Pemetaan Produksi KPO	114
Tabel 3.44	Tabel Koefisien Emisi (BTMP)	115
Tabel 3.45	Tabel Koefisien Emisi (Collection)	116
Tabel 3.46	Tabel Input Perkebunan Kelapa Sawit	117
Tabel 3.47	Tabel Output Perkebunan Kelapa Sawit	118
Tabel 3.48	Tabel Input CPO Mill	119
Tabel 3.49	Tabel Output CPO Mill	120
Tabel 3.50	Tabel Input Output Pabrik Biodiesel	121
Tabel 3.51	Tabel Input Output Blending Plant	122
Tabel 3.52	Tabel Input Output SPBU	123
Tabel 3.53	Tabel Input Output Transportasi	124

Tabel 3.54	Klasifikasi Kategori Dampak Terhadap Seluruh Input Output dari LCA Biodiesel	126
Tabel 3.55	Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari Perkebunan	127
Tabel 3.56	Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari <i>CPO Mill</i>	128
Tabel 3.57	Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari <i>Biodiesel Plant</i>	128
Tabel 3.58	Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari <i>Blending Plant</i>	129
Tabel 3.59	Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari SPBU	129
Tabel 3.60	Tahap Klasifikasi pada Input/Output dari Transportasi	129
Tabel 3.61	Input yang Mempengaruhi Dampak Penipisan Sumber Daya Alam	130
Tabel 3.62	Faktor ADP berdasarkan cadangan terakhir dan tingkat ekstraksi	131
Tabel 3.63	Persentase Perhitungan % Unsur per Massa Input	132
Tabel 3.64	Pengelompokan Input Berdasarkan Unsur yang Sama	134
Tabel 3.65	Perhitungan Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik dari Unit Perkebunan	135
Tabel 3.66	Perhitungan Dampak Penipisan S.D. Abiotik dari Unit <i>Mill CPO</i>	136
Tabel 3.67	Perhitungan Dampak P.S.D. Abiotik dari unit Pabrik Biodiesel	137
Tabel 3.68	Perhitungan Dampak P.S.D. Abiotik dari unit Blending Plant	138
Tabel 3.69	Perhitungan Dampak P.S.D. Abiotik dari unit SBPU	139
Tabel 3.70	Perhitungan Dampak P.S.D. Abiotik dari unit Transportasi	140
Tabel 3.71	Perhitungan Total Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik	141
Tabel 3.72	Output yang Mempengaruhi Dampak Perubahan Iklim	142
Tabel 3.73	Faktor <i>Global Warming Potential/GWP₁₀₀</i>	142
Tabel 3.74	Perhitungan Total Dampak Perubahan Iklim	143
Tabel 3.75	I/O yang Mempengaruhi Dampak Bahan Beracun pada Manusia	144
Tabel 3.76	Faktor <i>Human Toxicity Potential</i> untuk Jangka Waktu Tak Terbatas	144
Tabel 3.77	Perhitungan Total Dampak Bahan Beracun pada Manusia	145
Tabel 3.78	Faktor <i>FAETP</i> untuk jangka waktu tak terbatas	146

Tabel 3.79	Perhitungan Total Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	147
Tabel 3.80	Faktor MAETP untuk jangka waktu tak terbatas	148
Tabel 3.81	Perhitungan Total Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	149
Tabel 3.82	Faktor TETP untuk Jangka Waktu Tidak Terbatas	150
Tabel 3.83	Perhitungan Total Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	151
Tabel 3.84	I/O yang Mempengaruhi Dampak Pembentukan <i>Photo-oxidant</i>	152
Tabel 3.85	Faktor <i>High NOx POCs</i>	152
Tabel 3.86	Perhitungan Total Dampak Pembentukan <i>Photo-oxidant</i>	153
Tabel 3.87	Faktor <i>High SO₂-eq</i>	154
Tabel 3.88	Perhitungan Total Dampak Pengasaman	155
Tabel 3.89	Input/Output yang Mempengaruhi Dampak <i>Eutrophication</i>	156
Tabel 3.90	Faktor Generik EP	156
Tabel 3.91	Perhitungan % Zat dari Massa In	157
Tabel 3.92	Perhitungan Total Dampak <i>Eutrophication</i>	157
Tabel 3.93	Faktor Normalisasi Kategori Dampak Dasar untuk <i>World 1995</i>	158
Tabel 3.94	Hasil Normalisasi	159
Tabel 3.95	Hasil Perhitungan Dampak per Kategori	159
Tabel 3.96	Hasil Perhitungan Dampak per Unit Bisnis	160
Tabel 4.1	Kontribusi Unit Bisnis Terhadap Dampak Lingkungan	164
Tabel 4.2	Kontribusi Kategori Dampak di Perkebunan	164
Tabel 4.3	Sumber Dampak Perubahan Iklim di Per	167
Tabel 4.4	Kontribusi Kategori Dampak di <i>CPO Mill</i>	169
Tabel 4.5	Kontribusi Kategori Dampak di Pabrik Biodiesel	170
Tabel 4.6	Kontribusi Kategori Dampak di <i>Blending Plant</i>	172
Tabel 4.7	Kontribusi Kategori Dampak di SPBU	173
Tabel 4.8	Kontribusi Kategori Dampak di Transportasi	174
Tabel 4.9	Kontribusi Emisi Dari Transportasi	175
Tabel 4.10	Kontribusi Rekapitulasi Kategori Dampak	177
Tabel 4.11	Kontribusi Pada Dampak PSD Abiotik	177

Tabel 4.12	Kontribusi Pada Dampak Perubahan Iklim	180
Tabel 4.13	Kontribusi Pada Dampak Pembentukan <i>Photo-Oxidant</i>	181
Tabel 4.14	Kontribusi Pada Dampak Pengasaman	182
Tabel 4.15	Kontribusi Pada Dampak <i>Eutrophication</i>	183
Tabel 4.16	Kontribusi Unit Bisnis Terhadap Dampak Lingkungan	184
Tabel 4.17	Kontribusi Unit Bisnis Terhadap Dampak Lingkungan	187
Tabel 4.18	Kontribusi Unit Bisnis Terhadap Dampak (MAX)	190



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Keterkaitan Masalah	5
Gambar 1.2	Ruang Lingkup LCA Cradle to Wheel	7
Gambar 1.3	Diagram Alir Metodologi Penelitian	10
Gambar 2.1	Target Komposisi Energi MIX tahun 2025	12
Gambar 2.2	Kontribusi BBN sebagai substitusi BBM 2010	13
Gambar 2.3	Buah Kelapa Sawit	15
Gambar 2.4	Penyebaran Lahan dan Produksi Kelapa Sawit di Indonesia	19
Gambar 2.5	Luas Lahan Sawit dan Produksi Biodiesel di Indonesia	19
Gambar 2.6	Pohon Industri Agribisnis Kelapa Sawit	32
Gambar 2.7	Struktur Organisasi RSPO	36
Gambar 2.8	Proses Trans-esterifikasi	41
Gambar 2.9	Target Bauran Energi Nasional	46
Gambar 2.10	Efek campuran biodiesel terhadap emisi CO	62
Gambar 2.11	Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi HC	63
Gambar 2.12	Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi NO _x	64
Gambar 2.13	Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi Partikel	65
Gambar 2.14	Efek Campuran Biodiesel Terhadap Emisi CO ₂	66
Gambar 2.15	Efek Campuran Biodiesel Terhadap Konsumsi Bahan Bakar	67
Gambar 4.1	Diagram dan Tabel Data Dampak Lingkungan di 6 Unit Bisnis	165
Gambar 4.2	Diagram Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis	165
Gambar 4.3	Grafik Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis	166
Gambar 4.4	Grafik Rekapitulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis	166
Gambar 4.5	Grafik Rekapitulasi Dampak di Perkebunan	168
Gambar 4.6	Grafik Rekapitulasi Dampak di <i>CPO Mill</i>	169
Gambar 4.7	Grafik Rekapitulasi Dampak di Pabrik Biodiesel	171
Gambar 4.8	Grafik Rekapitulasi Dampak di <i>Blending Plant</i>	172
Gambar 4.9	Grafik Rekapitulasi Dampak di SPBU	174
Gambar 4.10	Grafik Rekapitulasi Dampak di Transportasi	176
Gambar 4.11	Diagram dan Tabel Data per Kategori Dampak di 6 Unit Bisnis	178
Gambar 4.12	Diagram Akumulasi Dampak Pada Setiap Kategori	178

Gambar 4.13	Grafik Akumulasi Dampak Pada Setiap Kategori	179
Gambar 4.14	Grafik Rekapitulasi Dampak Pada Setiap Kategori	179
Gambar 4.15	Grafik Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik	180
Gambar 4.16	Grafik Dampak Perubahan Iklim	181
Gambar 4.17	Grafik Dampak Pembentukan Photo-Oxidant	182
Gambar 4.18	Grafik Dampak Pengasaman	183
Gambar 4.19	Grafik Dampak <i>Eutrophication</i>	184
Gambar 4.20	Diagram dan Data Dampak Lingkungan di 6 Unit Bisnis (TBL)	185
Gambar 4.21	Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis (TBL)	185
Gambar 4.22	Grafik Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis (TBL)	186
Gambar 4.23	Grafik Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis (TBL)	186
Gambar 4.24	Diagram dan Data Dampak Lingkungan di 6 Unit Bisnis (B0)	188
Gambar 4.25	Diagram Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis (B0)	188
Gambar 4.26	Grafik Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis (B0)	189
Gambar 4.27	Grafik Rekapitulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis (B0)	189
Gambar 4.28	Diagram dan Data Dampak Lingkungan di 6 Unit Bisnis (MAX)	191
Gambar 4.29	Akumulasi Dampak Pada Setiap Lokasi Unit Bisnis (MAX)	191
Gambar 4.30	Diagram Dampak Emisi Biodiesel (BTMP)	192
Gambar 4.31	Diagram Dampak Emisi Biodiesel (MAX)	192
Gambar 4.32	Diagram Tingkat Emisi Biodiesel (BTMP)	193
Gambar 4.33	Diagram Tingkat Emisi Biodiesel (MAX)	193
Gambar 4.34	Diagram Pengurangan Emisi Biodiesel (BTMP)	194
Gambar 4.35	Diagram Pengurangan Emisi Biodiesel (MAX)	194

DAFTAR RUMUS

(2.1)	Rumus Densitas Hidrokarbon	51
(2.2)	Rumus Densitas Campuran Solar Biodiesel	51
(2.3)	Rumus Viskositas Campuran	51
(2.4)	Rumus Nilai Kalor Campuran	52
(2.5)	Rumus Bilangan Setana Campuran	52
(3.1)	Rumus Konversi Emisi CO ₂ pada Unit Perkebunan	101
(3.2)	Rumus <i>Abiotic Depletion</i> / Dampak Penipisan Sumber Daya Abiotik	130
(3.3)	Rumus <i>Climate Change</i> /Dampak Perubahan Iklim	142
(3.4)	Rumus <i>Human Toxicity</i> /Dampak Bahan Beracun pada Manusia	144
(3.5)	Rumus <i>Freshwater Aquatic Ecotoxicity</i> /Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Tawar	146
(3.6)	Rumus <i>Marine Aquatic Ecotoxicity</i> /Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Air Laut	148
(3.7)	Rumus <i>Terrestrial Ecotoxicity</i> /Dampak Bahan Beracun pada Ekosistem Terrestrial	150
(3.8)	Rumus <i>Photo-oxidant Formation</i> /Dampak Pembentukan <i>photo-oxidant</i>	152
(3.9)	Rumus <i>Acidification</i> /Dampak Pengasaman	154
(3.10)	Rumus <i>Eutrophication</i>	156
(3.11)	Rumus Umum Normalisasi	158