

**SIMULASI DAUR HIDUP ENERGI DAN RANTAI SUPLAI
BIODIESEL UNTUK SEKTOR TRANSPORTASI DI
PROPINSI DKI JAKARTA**

SKRIPSI

Oleh:

ANDITA KUSUMA DEWI
04 03 06 005 1



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

**SIMULASI DAUR HIDUP ENERGI DAN RANTAI SUPLAI
BIODIESEL UNTUK SEKTOR TRANSPORTASI DI
PROPINSI DKI JAKARTA**

SKRIPSI

Oleh:

ANDITA KUSUMA DEWI
04 03 06 005 1



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GANJIL 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

SIMULASI DAUR HIDUP ENERGI DAN RANTAI SUPLAJ BIODIESEL UNTUK SEKTOR TRANSPORTASI DI PROPINSI DKI JAKARTA

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan mejadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 6 Januari 2008

(Andita Kusuma Dewi)

NPM 04 03 06 005 1

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

SIMULASI DAUR HIDUP ENERGI DAN RANTAI SUPLAI BIODIESEL UNTUK SEKTOR TRANSPORTASI DI PROPINSI DKI JAKARTA

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 3 Januari 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 6 Januari 2008

Menyetujui,

Dosen Pembimbing ,

Dr.rer.nat.Ir. Yuswan Muharam,MT

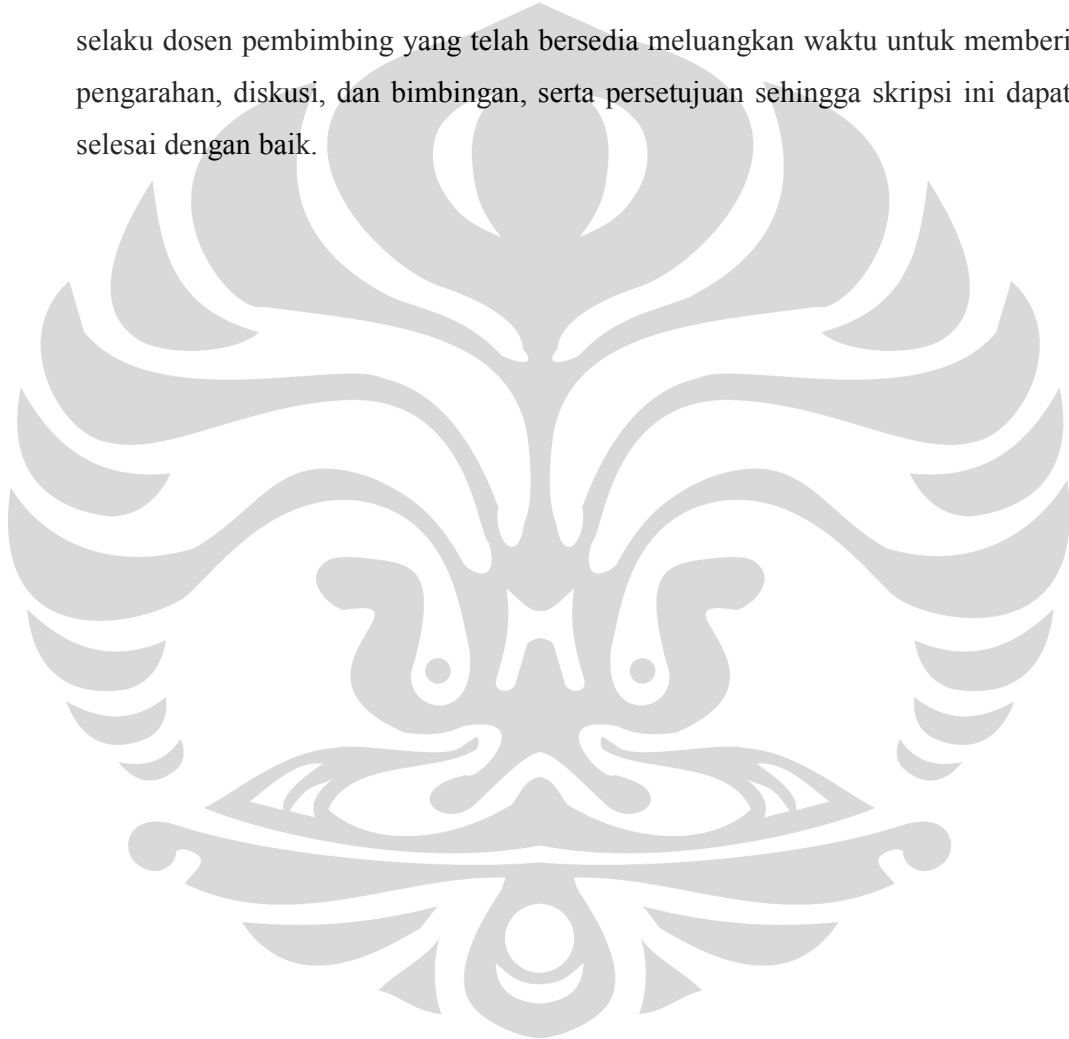
NIP. 132 056 816

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr.rer.nat.Ir. Yuswan Muharam,MT

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan, serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Andita Kusuma Dewi
NPM 04 03 06 005 1
Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing
Dr.rer.nat.Ir.Yuswan Muharam,MT

SIMULASI DAUR HIDUP ENERGI DAN RANTAI SUPLAJ BIODIESEL UNTUK SEKTOR TRANSPORTASI DI PROPINSI DKI JAKARTA

ABSTRAK

Ketergantungan dan kelangkaan bahan bakar fosil adalah masalah energi yang akan dihadapi di masa yang akan datang berikut dampaknya terhadap lingkungan. Pengembangan dan pemanfaatan sumber energi alternatif merupakan hal yang penting untuk dilakukan dalam rangka mengantisipasi masalah energi dan lingkungan tersebut. Salah satu jenis energi alternatif yang telah banyak berkembang di Indonesia adalah biodiesel. Diberlakukannya Keputusan No.3675K/24/DJM/2006 perihal diperbolehkannya pencampuran bahan bakar minyak solar dengan biodiesel membuka pangsa pasar biodiesel sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Namun, belum ada suatu sistem pendistribusian biodiesel yang terstruktur dan terintegrasi yang dapat mengoptimalkan pemanfaatannya dan menjaga keberlangsungan persediaannya dari segi biaya dan energi.

Dalam penelitian ini dirancang sebuah simulasi daur hidup energi dan rantai suplai biodiesel sebagai bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermotor dengan studi kasus di DKI Jakarta. Simulasi rantai suplai ini melibatkan seluruh aspek yang terkait serta mengintegrasikannya mulai dari perkebunan kelapa sawit, pabrik CPO, pabrik olein, pabrik biodiesel, depot, sampai SPBU. Terdapat dua skenario yang digunakan dalam simulasi ini. Pada skenario pertama biodiesel digunakan sebagai bahan bakar substitusi BBM solar sepenuhnya sedangkan skenario kedua mempertimbangkan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif yang menjadi pilihan disamping BBM solar dengan dua alternatif pilihan rute. Rute pertama melalui pabrik olein sebagai bahan baku biodiesel sedangkan rute kedua bahan baku biodiesel langsung berasal dari CPO tanpa diolah menjadi olein terlebih dahulu.

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan didapatkan nilai efisiensi daur hidup energi tertinggi dan rasio energi fosil tertinggi diperoleh pada Skenario Alternatif b yaitu 78,7% dan 1,3. Sedangkan nilai emisi CO₂ yang terendah di atmosfer diperoleh pada Skenario 1.b. Didapatkan pula harga biodiesel terendah diperoleh pada Skenario 1.b yaitu antara Rp 4785,00 – Rp 5041,00. Dari hasil simulasi tersebut didapatkan Skenario 1.b dengan pasokan CPO utama di Sumatera Selatan dan pabrik biodiesel di Cikupa, Tangerang dapat menjadi pilihan untuk menanggulangi masalah energi dan lingkungan.

Kata kunci : Daur Hidup Energi, Rantai Suplai, Biodiesel, Simulasi

Andita Kusuma Dewi
NPM 04 03 06 005 1
Chemical Engineering Department

Counsellor
Dr.rer.nat.Ir Yuswan Muharam,MT

**THE SIMULATION OF BIODIESEL ENERGY LIFE CYCLE AND
SUPPLY CHAIN FOR TRANSPORTATION SECTOR IN DKI JAKARTA
PROVINCE**

ABSTRACT

Dependency and the lack of fossil fuel are problems from the energy crisis in present and in the future plus the impact on the environment. To develop and to use alternative energy has been an important effort in anticipating the crisis of energy and environment. One of the alternative energies that is already being developed in Indonesia is biodiesel. Government regulation No.3675K/24/DJM/2006 that allows the mixing of diesel fuel with biodiesel, enables biodiesel to be used as a transportation fuel and further expand its market. However, there isn't any structurized and integrated system for the distribution of biodiesel that can optimized the usage of biodiesel and sustain its availability from an energy and cost based point of view.

In this research, the simulation of biodiesel energy life cycle and supply chain as an alternative fuel for land transportation is designed with case study in DKI Jakarta province. This simulation involves all aspects that are related to biodiesel production, integrating it from its beginning at palm nursery, CPO producer, olein industry, biodiesel industry, depot, with the final stage at the gas station (SPBU). There are two scenarios that are used in this simulation. In the first scenario, biodiesel is used as a substitution for all diesel fuel. In the second scenario, biodiesel is used as an option to diesel fuel. Each scenario have two alternative routes. In the first route, the raw material for making the biodiesel is obtained from olein industry, while in the second route, the raw material is comes directly from CPO.

Based on the simulation, the highest life cycle energy efficiency and fossil fuel ratio are obtained from Scenario with Alternative b which are 78.7% and 1.3 ratio. The lowest CO₂ emission released to atmosphere is obtained from Scenario 1.b The simulation also resulted the lowest price of the biodiesel which is get from Scenario 1.b around Rp 4785,00 – Rp 5041,00. The simulation concludes that Scenario 1.b with CPO supply from South Sumatera and biodiesel plant on Cikupa, Tangerang could be a scenario that can help to overcome the crisis of energy and environment.

Keywords : Life Cycle Energy, Supply Chain, Biodiesel, Simulation

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 BIODIESEL	6
2.2 CPO	7
2.3 BIODIESEL DI INDONESIA	8
2.4 PROSES PEMBUATAN BIODIESEL	11
2.4.1 Perkebunan Kelapa Sawit	11
2.4.2 Transportasi Kelapa Sawit ke Tempat Pembuatan CPO	13
2.4.3 Pembuatan CPO	13
2.4.4 Transportasi CPO ke Pabrik Olein	14
2.4.5 Pembuatan Olein	15
2.4.6 Transportasi Bahan Baku ke Pabrik Biodiesel	15
2.4.7 Konversi Bahan Baku Menjadi Biodiesel	16
2.4.8 Transportasi Biodiesel	19

2.5 MANAJEMEN RANTAI SUPLAI	19
2.6 DAUR HIDUP ENERGI	21
2.6.1 Definisi dan Gambaran Umum	21
2.6.2 Keseimbangan Energi Daur Hidup	22
2.6.3 Jenis-jenis Energi Input Dari Daur Hidup	22
2.6.4 Definisi dari Efisiensi Energi	23
2.6.5 Emisi CO ₂ Terbentuk	24
2.7 HUBUNGAN RANTAI SUPLAI DENGAN DAUR HIDUP	24
2.8 VISUAL BASIC SEBAGAI ALAT BANTU UNTUK MODEL	25
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 STUDI LITERATUR	27
3.2 PENENTUAN PROSES RANTAI SUPLAI BIODIESEL	27
3.3 PENGUMPULAN DATA	30
3.4 PENENTUAN SKENARIO SIMULASI	31
3.5 PEMBUATAN FORMULASI MATEMATIS	31
3.5.1 Formulasi Matematis Skenario 1 Alternatif a (Skenario 1.a)	32
3.5.2 Formulasi Matematis Skenario 1 Alternatif b (Skenario 1.b)	38
3.5.3 Formulasi Matematis Skenario 2 Alternatif a (Skenario 2.a)	41
3.5.4 Formulasi Matematis Skenario 2 Alternatif b (Skenario 2.b)	46
3.6 SIMULASI MODEL	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
4.1 ANALISIS DASAR PENGOLAHAN DATA	52
4.2 ANALISIS TOTAL ENERGI PRIMER BIODIESEL	56
4.3 ANALISIS ENERGI PRIMER PER LITER DAN BIAYA PER LITER	61
4.4 ANALISIS EFISIENSI DAUR HIDUP DAN RASIO ENERGI FOSIL	64
4.5 ANALISIS TOTAL EMISI CO ₂	67
4.6 ANALISIS <i>ENERGY BREAKDOWN</i> MODEL	70
BAB V KESIMPULAN	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Reaksi transesterifikasi	18
Gambar 2.2 Proses supply chain	20
Gambar 3.1 Diagram alir tahap metode penelitian simulasi daur hidup biodiesel	26
Gambar 3.2 Skema proses rantai suplai biodiesel	27
Gambar 3.3 Rantai suplai biodiesel Alternatif a	28
Gambar 3.4 Rantai suplai biodiesel Alternatif b	29
Gambar 3.5 Algoritma permodelan simulasi daur hidup energi dan rantai suplai biodiesel	51
Gambar 4.1 Model Sistem Perkebunan Kelapa Sawit	52
Gambar 4.2 Model Sistem Pembuatan CPO	54
Gambar 4.3 Model Sistem Pembuatan Olein	54
Gambar 4.4 Model Sistem Pembuatan Biodiesel dari Olein	55
Gambar 4.5 Model Sistem Pembuatan Biodiesel dari CPO	55
Gambar 4.6 Akumulasi total energi primer biodiesel(Sumsel Jabar)	57
Gambar 4.7 Total energi primer biodiesel per tahun (Sumsel-Jabar)	57
Gambar 4.8 Akumulasi total energi primer biodiesel (Sumut-Jabar)	58
Gambar 4.9 Total energi primer biodiesel per tahun (Sumut-Jabar)	58
Gambar 4.10 Total energi primer biodiesel tahun 2006	62
Gambar 4.11 Total energi primer per liter biodiesel tahun 2006	62
Gambar 4.12 Efisiensi energi daur hidup biodiesel	65
Gambar 4.13 Rasio energi fosil	65
Gambar 4.14 Emisi gas CO ₂ yang dihasilkan	68
Gambar 4.15 Emisi gas CO ₂ yang diserap	68
Gambar 4.16 Emisi gas CO ₂ yang tersisa di atmosfer	69
Gambar 4.17 Energy breakdown Skenario 1 Alternatif a (1.a)	71
Gambar 4.18 Energy breakdown Skenario 1 Alternatif b (1.b)	71
Gambar 4.19 Pengaruh kenaikan energi penanaman kelapa sawit dan energi pengolahan biodiesel dan olein terhadap P/L pada skenario 1.a	73

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik Fisik Biodiesel	7
Tabel 2.2 Produksi dan konsumsi minyak diesel di Indonesia (juta liter)	8
Tabel 2.3 Pemupukan Kelapa Sawit (143 pohon/ha)	12
Tabel 2.4 Lokasi dan Kapasitas CPO	14
Tabel 2.5 Lokasi dan Kapasitas Pabrik Olein	15
Tabel 2.6 Lokasi dan Kapasitas Pabrik Biodiesel	15
Tabel 2.7 Kondisi Operasi	18
Tabel 4.1 Pemupukan per Kilogram Kelapa Sawit	34
Tabel 4.2 Total Energi Primer per tahun	59
Tabel 4.3 Akumulasi Total Energi Primer per tahun	60
Tabel 4.4 Total Energi Primer, Energi Primer per Liter dan Biaya per Liter	61
Tabel 4.5 Efisiensi dan Rasio Energi Fosil	64
Tabel 4.6 Data Emisi Gas Karbondioksida	67
Tabel 4.7 Pengaruh kenaikan energi penanaman kelapa sawit terhadap total energi primer	72
Tabel 4.8 Pengaruh kenaikan energi pengolahan CPO terhadap total energi primer	72
Tabel 4.9 Pengaruh kenaikan energi pengolahan biodiesel terhadap total energi primer	72

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data acuan proyeksi kebutuhan solar.	78
1.1 Data realisasi penjualan solar DKI Jakarta tahun 2000-2005	78
1.2 Data PDRB DKI Jakarta tahun 1994-2005	78
Lampiran 2 Lokasi dan jarak distribusi	78
2.1 Lokasi dan jarak SPBU dengan depot di DKI Jakarta	79
2.2 Jarak pabrik olein dengan setiap pabrik biodiesel yang ada	83
2.3 Jarak lokasi CPO dengan setiap pabrik biodiesel yang ada	84
2.4 Jarak lokasi CPO dengan setiap pabrik olein yang ada	85
Lampiran 3 Data untuk rantai suplai	87

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
$\sum_a P$	Akumulasi total energi primer sampai tahun 2025 skenario 1.a	MJ
$\sum_a P_1$	Akumulasi total energi primer sampai tahun 2025 skenario 1.b	MJ
$\sum_a P_2$	Akumulasi total energi primer sampai tahun 2025 skenario 2.a	MJ
$\sum_a P_3$	Akumulasi total energi primer sampai tahun 2025 skenario 2.b	MJ
a	tahun 2006-2025	
EP _B	Energi pembentukan biodiesel	MJ/liter
EP _{OLE}	Energi pembentukan olein	MJ/liter
E _B	Total energi biodiesel keseluruhan skenario 1.a dan 1.b	MJ
E _{B1}	Total energi biodiesel keseluruhan skenario 2.a dan 2.b	MJ
E _{BB}	Total energi <i>blending</i> keseluruhan skenario 1.a dan 1.b	MJ
E _{BB per liter}	Energi <i>blending</i> per liter skenario 1.a dan 1.b	MJ/liter
E _{BB per liter 1}	Energi <i>blending</i> per liter skenario 2.a dan 2.b	MJ/liter
E _{BB1}	Total energi <i>blending</i> keseluruhan skenario 2.a dan 2.b	MJ
E _{CPO}	Total energi CPO keseluruhan skenario 1.a	MJ
E _{CPO1}	Total energi CPO keseluruhan skenario 1.b	MJ
E _{CPO2}	Total energi CPO keseluruhan skenario 2.a	MJ
E _{CPO3}	Total energi CPO keseluruhan skenario 2.b	MJ
E _I	Total energi jika terdapat penambahan infrastruktur	MJ
E _{I1}	Total energi jika terdapat penambahan infrastruktur	MJ
E _{OLE}	Total energi olein keseluruhan skenario 1.a	MJ
E _{OLE1}	Total energi olein keseluruhan skenario 2.a	MJ
energy_x1	Energi angkut CPO ke pabrik olein	MJ/liter/km

energy_x11	Energi angkut CPO ke pabrik biodiesel	MJ/liter/km
energy_x2	Energi angkut olein ke pabrik biodiesel	MJ/liter/km
energy_x21	Energi angkut biodiesel ke depot <i>blending</i> skenario 1.b	MJ/liter/km
energy_x3	Energi angkut biodiesel ke depot <i>blending</i> skenario 1.a	MJ/liter/km
energy_x31	Energi angkut campuran biodiesel-solar dari depot <i>blending</i> ke SPBU skenario 1.b	MJ/liter/km
energy_x4	Energi angkut campuran biodiesel-solar dari depot <i>blending</i> ke SPBU skenario 1.a	MJ/liter/km
E _S	Total energi penyimpanan akhir campuran biodiesel-solar di SPBU	MJ
E _{S per liter}	energi penyimpanan akhir campuran biodiesel-solar di SPBU per liter	MJ/liter
E _t	Total seluruh energi distribusi skenario 1.a	MJ
E _{t'} _B	Total energi distribusi biodiesel pabrik baru skenario 1.a	MJ
E _{t'} _{B1}	Total energi distribusi biodiesel pabrik baru skenario 1.b	MJ
E _{t'} _{B2}	Total energi distribusi biodiesel pabrik baru skenario 2.a	MJ
E _{t'} _{B3}	Total energi distribusi biodiesel pabrik baru skenario 2.b	MJ
E _{t1}	Total seluruh energi distribusi skenario 1.b	MJ
E _{t2}	Total seluruh energi distribusi skenario 2.a	MJ
E _{t3}	Total seluruh energi distribusi skenario 2.b	MJ
E _{tB}	Total energi distribusi biodiesel skenario 1.a	MJ
E _{tB per liter}	Energi distribusi biodiesel per liter skenario 1.a	MJ/liter
E _{tB per liter 1}	Energi distribusi biodiesel per liter skenario 1.b	MJ/liter
E _{tB per liter 2}	Energi distribusi biodiesel per liter skenario 2.a	MJ/liter
E _{tB per liter 3}	Energi distribusi biodiesel per liter skenario 2.b	MJ/liter
E _{tB1}	Total energi distribusi biodiesel skenario 1.b	MJ

E_{tB2}	Total energi distribusi biodiesel skenario 2.a	MJ
E_{tB3}	Total energi distribusi biodiesel skenario 2.b	MJ
E_{tBS}	Total energi distribusi campuran biodiesel dengan solar skenario 1.a	MJ
E_{tBS} per liter	Energi distribusi campuran biodiesel - solar per liter skenario 1.a	MJ/liter
E_{tBS} per liter 1	Energi distribusi campuran biodiesel - solar per liter skenario 1.b	MJ/liter
E_{tBS} per liter 2	Energi distribusi campuran biodiesel - solar per liter skenario 2.a	MJ/liter
E_{tBS} per liter 3	Energi distribusi campuran biodiesel - solar per liter skenario 2.b	MJ/liter
E_{tBS1}	Total energi distribusi campuran biodiesel dengan solar skenario 1.b	MJ
E_{tBS2}	Total energi distribusi campuran biodiesel dengan solar skenario 2.a	MJ
E_{tBS3}	Total energi distribusi campuran biodiesel dengan solar skenario 2.b	MJ
E_{tCPO}	Total energi distribusi CPO skenario 1.a	MJ
E_{tCPO} per liter	Energi distribusi CPO per liter skenario 1.a	MJ/liter
E_{tCPO} per liter 1	Energi distribusi CPO per liter skenario 1.b	MJ/liter
E_{tCPO} per liter 2	Energi distribusi CPO per liter skenario 2.a	MJ/liter
E_{tCPO} per liter 3	Energi distribusi CPO per liter skenario 2.b	MJ/liter
E_{tCPO1}	Total energi distribusi CPO skenario 1.b	MJ
E_{tCPO2}	Total energi distribusi CPO skenario 2.a	MJ
E_{tCPO3}	Total energi distribusi CPO skenario 2.b	MJ
E_{tOLE}	Total energi distribusi olein skenario 1.a	MJ
E_{tOLE} per liter	Energi distribusi olein per liter skenario 1.a	MJ/liter
E_{tOLE} per liter 2	Energi distribusi olein per liter skenario 2.a	MJ/liter
E_{tOLE2}	Total energi distribusi olein skenario 2.a	MJ
D_B	Jumlah kebutuhan biodiesel skenario 1.a dan 1.b	liter
D_{B1}	Jumlah kebutuhan biodiesel skenario 2.a dan 2.b	liter

D_{CPO}	Jumlah kebutuhan CPO skenario 1.a	liter
D_{CPO1}	Jumlah kebutuhan CPO skenario 1.b	liter
D_{CPO2}	Jumlah kebutuhan CPO skenario 2.a	liter
D_{CPO3}	Jumlah kebutuhan CPO skenario 2.b	liter
D_{OLE}	Jumlah kebutuhan olein skenario 1.a	liter
D_{OLE1}	Jumlah kebutuhan olein skenario 2.a	liter
D_S	Jumlah kebutuhan solar skenario 1.a dan 1.b	liter
D_{S1}	Jumlah kebutuhan solar skenario 2.a dan 2.b	liter
F	Jumlah pabrik biodiesel baru yang dibangun untuk skenario 1.a dan 1.b	
F_1	Jumlah pabrik biodiesel baru yang dibangun untuk skenario 2.a dan 2.b	
f_{CPO}	Nilai konversi kebutuhan CPO untuk setiap liter kebutuhan olein	
f_{CPO1}	Nilai konversi kebutuhan CPO untuk setiap liter kebutuhan biodiesel	
f_{OLE}	Nilai konversi kebutuhan olein untuk setiap liter kebutuhan biodiesel	
J	{1...m} jumlah pabrik biodiesel	
K_B	Kapasitas maksimum pabrik biodiesel yang telah ada	liter
$K_{B \text{ baru}}$	Kapasitas 1 pabrik biodiesel baru	liter
K_{BS}	Kapasitas maksimum seluruh SPBU yang ada	liter
K_{CPO}	Kapasitas maksimum seluruh CPO yang ada	liter
K_{OLE}	Kapasitas maksimum seluruh pabrik olein yang ada	liter
M_B	Persentase campuran biodiesel yang digunakan skenario 1.a dan 1.b	%
M_{B1}	Persentase campuran biodiesel yang digunakan skenario 2.a dan 2.b	%
M_S	Persentase yang ingin dipenuhi oleh campuran biodiesel-solar dari total kebutuhan solar	%
N	{1...8} pilihan lokasi pabrik CPO	
EP_{CPO}	Energi pembentukan CPO	MJ/liter

R	{1...f} jumlah pabrik biodiesel baru	
S _B	Jumlah kebutuhan biodiesel yang harus dipenuhi oleh tiap pabrik biodiesel skenario 1.a dan 1.b	liter
S _{B1}	Jumlah kebutuhan biodiesel yang harus dipenuhi oleh tiap pabrik biodiesel skenario 2.a dan 2.b	liter
S _{CPO}	Jumlah kebutuhan CPO yang harus dipenuhi oleh pabrik yang dipilih oleh pabrik biodiesel tertentu skenario 1.b	liter
S _{CPO1}	Jumlah kebutuhan CPO yang harus dipenuhi oleh pabrik yang dipilih oleh pabrik biodiesel tertentu skenario 2.b	liter
S _{OLE}	Jumlah kebutuhan olein yang harus dipenuhi oleh pabrik yang dipilih oleh pabrik biodiesel tertentu skenario 1.a	liter
S _{OLE1}	Jumlah kebutuhan olein yang harus dipenuhi oleh pabrik yang dipilih oleh pabrik biodiesel tertentu skenario 2.a	liter
U	{1...7} pilihan pabrik Olein	
V	{1..w} jumlah kelompok SPBU berdasarkan jarak	
x ₁	jarak antara pabrik CPO dengan pabrik olein	km
x ₁₁	jarak antara pabrik CPO dengan pabrik biodiesel	km
x ₂	jarak antara pabrik olein dengan pabrik biodiesel	km
x ₂₁	jarak antara pabrik biodiesel dengan depot <i>blending</i> skenario 1.b dan 2.b	km
x ₃	jarak antara pabrik biodiesel dengan depot <i>blending</i> skenario 1.a dan 2.a	km
x ₃₁	jarak antara depot <i>blending</i> dengan SPBU skenario 1.b	km
x ₃₂	jarak antara depot <i>blending</i> dengan SPBU skenario 2.b	km
x ₄	jarak antara depot <i>blending</i> dengan SPBU skenario 1.a	km
x ₄₁	jarak antara depot <i>blending</i> dengan SPBU skenario 2.a	km
P	Total energi primer setiap tahun skenario 1.a	MJ
P ₁	Total energi primer setiap tahun skenario 1.b	MJ

P_2	Total energi primer setiap tahun skenario 2.a	MJ
P_3	Total energi primer setiap tahun skenario 2.b	MJ
$P_{\text{per liter}}$	Energi biodiesel per liter skenario 1.a	MJ/liter
$P_{\text{per liter 1}}$	Energi biodiesel per liter skenario 1.b	MJ/liter
$P_{\text{per liter 2}}$	Energi biodiesel per liter skenario 2.a	MJ/liter
$P_{\text{per liter 3}}$	Energi biodiesel per liter skenario 2.b	MJ/liter
CO_{2_1}	Karbondioksida yang di emisikan solar	g/liter
CO_{2_2}	Karbondioksida yang diemisikan biosolar	g/liter



BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang penelitian “Simulasi Daur Hidup Energi dan Rantai Suplai Biodiesel untuk Sektor Transportasi di Propinsi DKI Jakarta“. Selain itu, juga dijelaskan mengenai rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan skripsi ini.

1.1 LATAR BELAKANG

Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005 – 2025 menyebutkan tentang kondisi energi di Indonesia dimana impor BBM mencapai 487 ribu barrel per hari dengan kebutuhan pemakaian 611 ribu barrel per hari. Impor minyak diesel mencapai 30% dari total pemakaian minyak diesel di Indonesia^[1]. Bahan bakar fosil termasuk sumber daya alam yang tidak bisa diperbaharui sehingga untuk mengatasi kelangkaan yang akan terjadi nanti diperlukan sumber energi alternatif. Hal ini sesuai dengan Peraturan Presiden nomor 5 tahun 2006 mengenai kebijakan energi nasional tentang penyediaan energi melalui pengoptimalan produksi energi dan pelaksanaan konservasi energi, dan tentang pemanfaatan energi melalui efisiensi pemanfaatan energi dan diversifikasi energi^[2]. Salah satu energi alternatif yang akan dikembangkan adalah biodiesel

Biodiesel termasuk sumber energi terbarukan sebagai pengganti minyak diesel. Biodiesel berasal dari bahan nabati yang tidak akan habis dan dapat mengurangi efek rumah kaca. Sejauh ini, sebagian besar biodiesel digunakan untuk konsumsi sendiri atau sebagai komoditas ekspor. Dengan adanya revisi yang dilakukan oleh Direktorat Jendral Migas terhadap spesifikasi BBM jenis solar yang diperdagangkan di dalam negeri melalui Keputusan No. 3675 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 yaitu biodiesel diperbolehkan untuk ditambahkan ke minyak solar dengan ketentuan jenis dan spesifikasi mengacu pada ketetapan pemerintah, membuat semakin luasnya pemanfaatan biodiesel dapat dilakukan terutama sebagai bahan bakar untuk sektor transportasi dalam rangka mengurangi pemakaian solar, bahkan telah mulai diterapkan penggunaannya di propinsi DKI Jakarta.^[3] Namun, belum ada suatu sistem

distribusi biodiesel yang terstruktur terutama dalam penggunaannya sebagai bahan bakar sarana transportasi darat.

Sebuah penelitian untuk membuat suatu sistem distribusi yang terstruktur dan terintegrasi untuk biodiesel di Indonesia, kami buat dengan konsep rantai suplai dan dengan melakukan analisis daur hidup energi. Alasan digunakannya manajemen rantai suplai karena merupakan proses yang terintegrasi dimana semua pelaku bisnis terlibat dalam sistem distribusi dari mulai penyediaan barang mentah, produksi produk akhir, hingga pengiriman produk ke penjual sampai ke konsumen.^[4] Manajemen rantai suplai digunakan untuk mengoptimasi biaya suplai agar diperoleh biaya suplai yang minimum, tetapi belum diketahui efisiensi energinya. Analisis daur hidup energi adalah suatu metode yang digunakan untuk menganalisis energi suatu material yang dilakukan mulai dari mengambil bahan mentah dari lingkungan sampai penggunaan akhir. Analisis yang akan dilakukan mengenai energi yang dikonsumsi pada proses perolehan bahan mentah, bahan baku, dan bahan jadi, transportasi dan penggunaan akhir pada mesin. Analisis daur hidup juga menganalisa tentang emisi yang terbentuk^[5]. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui apakah sumber energi ini benar-benar bisa disebut sumber energi yang terbarukan.

Analisis daur hidup ini telah digunakan di negara-negara lain. Analisis daur hidup dilakukan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat dan departemen Energi Amerika Serikat untuk membandingkan antara biodiesel dan petroleum^[5]. Analisis daur hidup dilakukan di Jerman pada biodiesel dilihat dari aspek lingkungan yang berbeda untuk membandingkan penggunaan biodiesel dengan diesel^[6].

Inpres No.1 tahun 2006 menginstruksikan seluruh menteri yang terkait untuk melakukan upaya-upaya sesuai dengan bidangnya dalam mengoptimalkan penyediaan dan pemanfaatan biofuel dari mulai penanaman bahan baku hingga sampai ke masyarakat^[7]. Sesuai dengan instruksi presiden ini maka akan dilakukan analisis daur hidup biodiesel pada sistem distribusi khususnya di DKI Jakarta yang berdasarkan manajemen rantai suplai.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang muncul adalah bagaimana efisiensi energi dan dampak terhadap lingkungan dari biodiesel yang akan didistribusikan di DKI Jakarta berdasarkan konsep rantai suplai. Untuk menganalisisnya kami menggunakan analisis daur hidup. Dengan analisis ini diharapkan dapat dihasilkan perhitungan total energi yang dibutuhkan dan efisiensi energi secara keseluruhan dari proses dan produk. Estimasi efisiensi energi membantu kita untuk menentukan berapa banyak energi tambahan yang harus dipakai untuk mengkonversi energi yang terdapat dalam bahan mentah yang digunakan dalam daur hidup bahan bakar untuk menjadi bahan bakar yang berguna.

Analisis daur hidup ini akan dibuat dalam suatu model, sehingga kita memerlukan parameter-parameter yang mempengaruhi model yang digunakan. Dari parameter ini kita dapat mengetahui kesetimbangan energi dari keseluruhan proses, efisiensi energi, dampak terhadap lingkungan dari penggunaan biodiesel ini.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah diperolehnya suatu model yang dapat menganalisis daur hidup energi dari sistem distribusi biodiesel di DKI Jakarta yang dibuat berdasarkan konsep management rantai suplai. Tujuan lainnya adalah untuk mengetahui efisiensi energi dan dampak sistem tersebut terhadap lingkungan.

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan-batasan yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data-data yang berkenaan dengan biodiesel diambil dari pabrik biodiesel yang telah berdiri dan memproduksi di Indonesia, luar negeri, dan instansi pemerintah.
2. Model yang digunakan adalah model matematis yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak visual basic
3. Model dilakukan sesuai dengan skenario yang telah ditentukan

4. Model daur hidup hanya dilakukan untuk biodiesel sebagai bahan bakar alat transportasi darat berupa kendaraan bermotor di wilayah DKI Jakarta.
5. Model daur hidup energi dilakukan berawal dari penanaman bahan baku, proses pengolahan menjadi CPO, proses pengolahan menjadi olein, proses pengolahan menjadi biodiesel, blending, penggunaannya, serta transportasi yang menyertainya.
6. Energi untuk blending dan penyimpanan sangat kecil dibanding yang lain sehingga diabaikan dalam model daur hidup ini.
7. Infrastruktur rantai suplai sesuai dengan yang telah dibuat oleh Renita Anggreini dalam skripsinya yang berjudul “Simulasi Rantai Suplai Biodiesel untuk Sektor Transportasi di Propinsi Dki Jakarta“
8. Rumus dan data yang digunakan menggunakan kaidah “Rule of Thumbs“
9. Jumlah unit *blending* dan depot yang digunakan berdasarkan yang ada pada saat ini.
10. Distribusi dilakukan ke semua SPBU di DKI Jakarta

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan pada skripsi ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB I : Pendahuluan

Berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan makalah.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Berisi dasar teori yang menjelaskan tentang perkembangan biodiesel secara umum, konsep supply chain dalam sistem distribusi secara umum, penjelasan mengenai analisis daur hidup, jenis-jenis energi yang digunakan dalam analisis daur hidup, efisiensi energi, emisi yang terbentuk, dan penjelasan mengenai perangkat lunak *visual basic*.

BAB III : Metode Penelitian

Berisi skema tahapan penelitian, skema tahapan analisis daur hidup energi dan model yang digunakan, skenario yang akan digunakan, perhitungan kesetimbangan aliran energi untuk

mendapatkan efisiensi energi dan dampak terhadap lingkungan, beserta analisa model.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

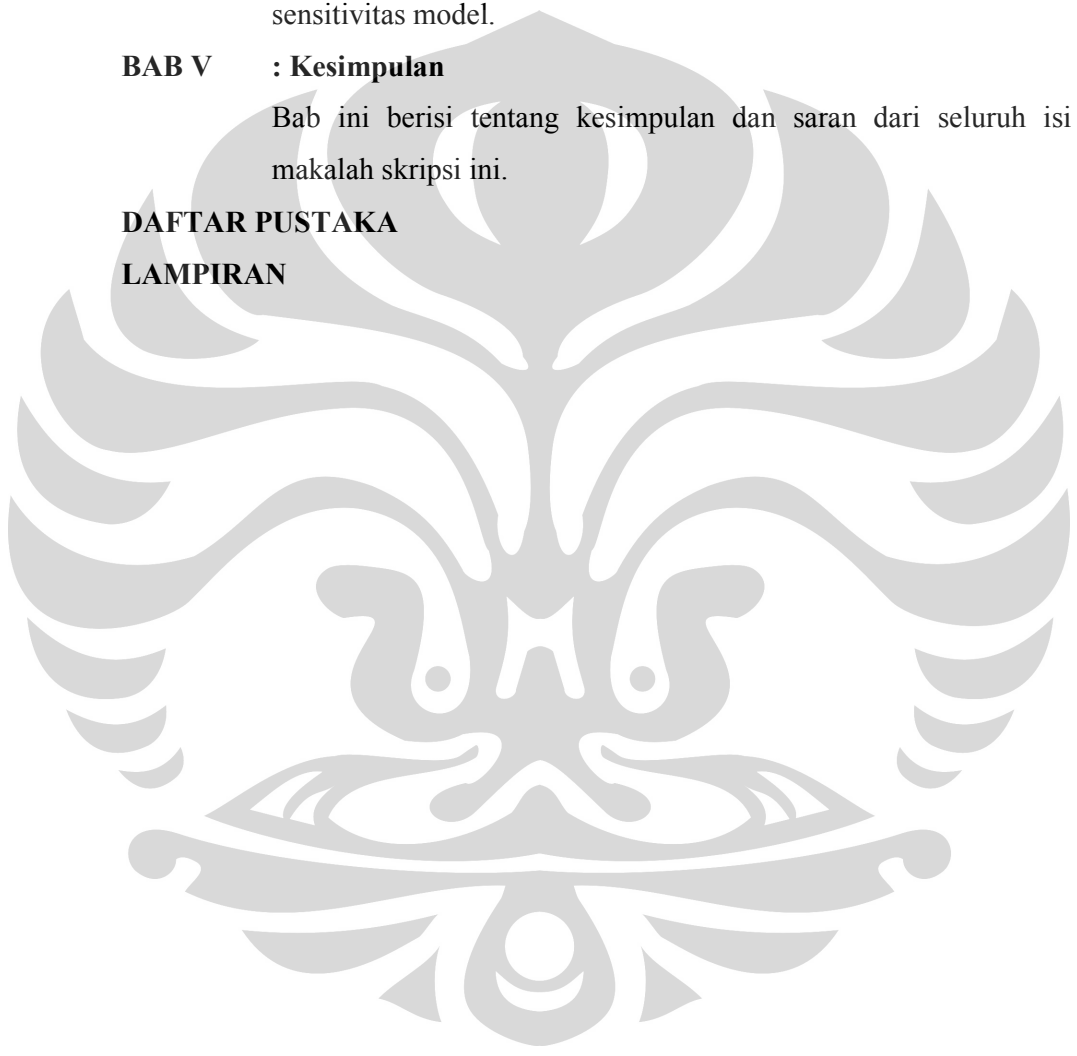
Bab ini berisi tentang pembahasan analisis efisiensi energi, total energi primer dan emisi CO₂ yang dihasilkan biodiesel per liter yang diperoleh dari tiap skenario yang dilakukan, serta analisis sensitivitas model.

BAB V : Kesimpulan

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari seluruh isi makalah skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan mulai dari pengertian tentang biodiesel, kondisinya di Indonesia, manajemen rantai suplai, penjelasan mengenai analisis daur hidup, efisiensi energi, emisi yang terbentuk, dan penjelasan mengenai perangkat lunak *visual basic*.

2.1 BIODIESEL

Ide penggunaan minyak nabati sebagai pengganti bahan bakar diesel didemonstrasikan pertama kalinya oleh Rudolph Diesel (\pm tahun 1900). Penelitian di bidang ini terus berkembang dengan memanfaatkan beragam lemak nabati dan hewani untuk mendapatkan bahan bakar hayati (*biofuel*) dan dapat diperbaharui (*renewable*). Perkembangan ini mencapai puncaknya di pertengahan tahun 80-an dengan ditemukannya alkil ester asam lemak yang memiliki karakteristik hampir sama dengan minyak diesel fosil yang dikenal dengan biodiesel^[8].

Dalam penggunaannya biodiesel dapat dicampur dengan bahan bakar solar ataupun murni. Biodiesel yang tidak dicampur dengan bahan bakar solar dikenal dengan nama B100. Biodiesel 100% ini dapat digunakan di dalam mesin tanpa modifikasi, tetapi memerlukan perhatian khusus. B100 ini dapat melarutkan atau mengembangkan karet neoprena sehingga perlu waspada terhadap selang karet (*hose*) di mesin. Pada suhu dibawah 5°C, biodiesel dapat menimbulkan gel yang bisa memblok filter.^[9]

Campuran 5% sampai 20% biodiesel dengan solar berhasil digunakan di segala macam mesin diesel kendaraan, maupun genset yang juga tanpa modifikasi.^[8] Penggunaan biodiesel di dalam mesin diesel konvensional dapat mengurangi emisi hidrokarbon yang tidak terbakar, karbon monoksida, hidrokarbon aromatik polisiklik, nitrat aromatik polisiklik, dan zat partikulat. Reduksi emisi ini meningkat sesuai dengan meningkatnya jumlah biodiesel yang dicampur dengan bahan bakar solar. Biodiesel (B100) dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (CO₂) hingga mencapai 75% yang melebihi bahan bakar diesel minyak bumi, sedangkan B20 dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 15%.^[10]

Penggunaan biodiesel juga dapat mengurangi fraksi karbon padat dari zat partikulat karena oksigen dalam biodiesel mampu menghasilkan pembakaran sempurna menjadi CO₂, dan juga mengurangi fraksi sulfat karena biodiesel mengandung kurang dari 15 ppm sulfur. Biodiesel bekerja sangat baik dengan teknologi pengontrolan emisi seperti katalis oksidasi diesel yang mereduksi fraksi dapat larut dari partikulat diesel tetapi tidak mereduksi fraksi karbon padat. Adapun karakteristik fisik dari biodiesel dapat dilihat pada Tabel 2.1.^[10]

Tabel 2.1 Karakteristik Fisik Biodiesel^[10]

Gravitasi spesifik	0,87 – 0,89
Viskositas kinematik @ 40°C	3,7 – 5,8
Angka setana	46 – 70
Nilai pemanasan tertinggi (btu/lb)	16928 – 17996
Sulfur, wt%	0,0 – 0,0024
Titik asap (<i>Cloud point</i>) °C	-11 – 16
Titik tuang (<i>Pour point</i>) °C	-15 – 13
Angka iodine	60 – 135
Nilai pemanasan terendah (Btu/lb)	15700 – 16735

Selain itu, penggunaan biodiesel campuran yang hanya memerlukan sedikit bahan bakar solar dapat membuat biodiesel ini menjadi pengganti bahan bakar solar sehingga upaya penghematan bahan bakar fosil dapat dilakukan. Selain itu, keberadaannya dapat mengurangi ketergantungan negara akan minyak diesel impor.^[10]

2.2 CPO

Indonesia adalah negara penghasil minyak nabati terbesar dunia, selain menghasilkan minyak sawit (Crude Palm Oil = CPO), juga menghasilkan minyak lainnya seperti minyak kopra yang jumlahnya cukup besar. Ini merupakan potensi bahan baku yang besar untuk tujuan pengembangan BBM alternatif tersebut. Salah satu bahan baku yang dipakai yaitu fraksi stearin yang diperoleh dari sisa pengolahan CPO di pabrik minyak nabati (*Fractination Refining Factory*).

Produksi minyak sawit dewasa ini cenderung meningkat dan diperkirakan akan berlanjut satu atau dua dekade ke depan.

Pengembangan tanaman kelapa sawit telah dilakukan secara luas di Indonesia, baik di kawasan barat maupun kawasan timur Indonesia. Penyebaran areal yang berpotensi untuk pengembangan kelapa sawit terdapat di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam (454.468 ha), Sumatera Utara (285.652 ha), Sumatera Barat (47.796 ha), Riau (1.557.863 ha), Jambi (511.433 ha), Sumatera Selatan (1.350.275 ha), Kalimantan Barat (1.252.371 ha), Kalimantan Tengah (1.401.236 ha), Kalimantan Timur (2.830.015 ha), Kalimantan Selatan (965.544 ha), Irian Jaya (1.511.276 ha), dan Sulawesi Tengah (215.728 ha).^[11]

Adapun jumlah produksi CPO sendiri di Indonesia sampai tahun 2004 telah mencapai 11,6 juta ton yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia yang dapat dilihat pada Gambar 2.3 dimana setiap satu hektar lahan kelapa sawit dapat menghasilkan 15 – 20 ton kelapa sawit sedangkan dari satu liter CPO dapat menghasilkan 0,95 liter biodiesel.^[12]

Minyak kelapa sawit sangat berpotensi sebagai bahan baku biodiesel dan bagi Indonesia sebagai negara penghasil CPO terbesar dunia mempunyai peluang untuk menghasilkan bahan bakar biodiesel. Tujuan utama adalah bagaimana kita dapat memanfaatkan sumber yang melimpah di Indonesia menjadi lebih bermanfaat. Jika hal ini dilaksanakan maka selain dapat mengendalikan produksi sawit di saat panen besar, keuntungan lainnya adalah mengurangi impor minyak diesel yang menyita cadangan devisa negara^[9].

2.3 BIODIESEL DI INDONESIA

Penggunaan biodiesel di Indonesia dapat membawa banyak dampak positif, diantaranya penghematan biaya subsidi pemerintah yang bisa dihemat sampai Rp 1,8 trilyun, pengurangan impor solar 2,5 juta kL atau 25% volume impor, dan pengurangan impor kerosin 1 juta kL.^[10] Menurut laporan Ditjen Migas (1998) kebutuhan bahan bakar minyak diesel meningkat setiap tahunnya seperti disajikan pada tabel di bawah ini.^[9]

Tabel 2 2. Produksi dan konsumsi minyak diesel di Indonesia (juta liter)^[9]

Tahun	Minyak Diesel	
	Produksi	Konsumsi
1994/1995	11866,2	16342,0
1995/1996	13465,1	17621,5
1996/1997	14345	19706,2
1997/1998	15673,9	22092,1
1998/1999	16208,9	22423,4

Kemampuan memproduksi minyak diesel di Indonesia saat ini sudah sesuai dengan kapasitas yang dimiliki sehingga ada kecenderungan akan meningkatnya impor di tahun-tahun mendatang.^[9]

Adapun status dan rencana pengembangan biodiesel di Indonesia dalam waktu dekat terbagi menjadi 3 bagian yaitu di sektor hulu, sektor tengah, dan sektor hilir. Pada sektor tengah, yang merupakan sektor yang berfokus kepada pengolahan memiliki kegiatan-kegiatan yang akan dilakukan yaitu^[12]:

- Pembangunan pabrik biodiesel dengan kapasitas 8 ton/hari dan penanaman 160 ha di Indramayu oleh Pertamina.
- Pembangunan pabrik biodiesel dengan kapasitas 60000 ton/tahun dikembangkan oleh Bakrie bersama-sama dengan PT. Rekayasa Industri,
- Pembangunan pabrik biodiesel di PTPN IV dengan kapasitas 8 ton/hari.
- Pembangunan pabrik biodiesel di Riau dengan kapasitas 250.000 ton/tahun oleh Hiswana Migas.
- Pembangunan pabrik biodiesel dengan kapasitas 1 ton/*batch* kerjasama Astra Argo Lestari, LAPI ITB, dan Swakarsa Sinar Sentosa.
- Pembangunan pabrik biodiesel 200.000 ton/tahun oleh PT. Eterindo Wahantama.
- Pembangunan pabrik biodiesel oleh Departemen Perindustrian, yaitu :
 - Kapasitas 4 x 6000 ton/tahun di Jawa Timur, Sumatera Selatan, Kalimantan Timur, dan Sulawesi Selatan.

- Kapasitas 6 x 450 ton/tahun di Jawa Barat, Sumatera Barat/Jambi, Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Gorontalo, Sulawesi Tengah.
- Pembangunan pabrik biodiesel oleh Departemen Kelautan dan Perikanan di 30 kabupaten (Kuala Tungkal, Bengkulu Selatan, Sibolga, Bungus, Pariaman, Bangka Selatan, Belitung Selatan, Sukabumi, Sumedang, Cilacap, Tegal, Rembang, Pacitan, Bangkalan, Membrana, Ende, Kupang, Atambua, Bima, Marissa, Minahasa Utara, Banggai Kepulauan, Parigi, Buton, Takalar, Ternate, Tual, Yapen, Wondama, Manokrawi).
- Pembangunan pabrik biodiesel dengan kapasitas 150.000 ton/tahun oleh Asianagro, 200.000 ton/tahun oleh Darmex Oil, 200.000 ton/tahun oleh Sumiais Group, 100.000 ton/tahun oleh Sari Dumai Sejati, 100.000 ton/tahun oleh Indo Bio Fuels, 200.000 ton/tahun oleh Goleen Hope, dan 300.000 ton/tahun oleh Bakrie Holding (untuk tujuan ekspor).

Lalu pada sektor hilir yaitu pemanfaatan, kegiatan-kegiatan yang sedang dan akan dilakukan diantaranya ^[12]:

- Penjualan biodiesel campuran pada beberapa SPBU Pertamina yang direncanakan akan diluncurkan pada tanggal 20 Mei 2006 pada SPBU Jalan Industri, Kemayoran, Jakarta.
- Percontohan SPBU biodiesel oleh DESDM di pool Cakung PERUM DAMRI.
- Percontohan pemanfaatan biodiesel untuk pembangkit listrik oleh DESDM (Gorontalo, Nusa Tenggara Barat).

Perencanaan sosialisasi pemanfaatan biodiesel ke berbagai kalangan masih sangat perlu dilakukan, diantaranya usulan tentang demonstrasi rutin ($\frac{1}{2}$ - 1 tahun) penggunaan biodiesel di berbagai kota (besar) di seluruh Indonesia (misalnya dalam bus-bus kota), agar rakyat (konsumen) menyadari keberadaan dan kemanfaatan biodiesel. Pencerahan-pencerahan yang perlu diupayakan kepada pemerintah-pemerintah daerah (propinsi), terutama yang tak memiliki sumber daya fosil dan kilang minyak, bahwa produksi dan pemanfaatan biodiesel di daerahnya berpotensi besar meningkatkan perekonomian dan kesejahteraan rakyat setempat. ^[12]

Hambatan utama pengembangan biodiesel di Indonesia, diantaranya ketentuan kebijakan bahan bakar yang sangat lamban bahkan cenderung amat sektoral, dan bahan bakar hayati produksi dalam negeri yang bukan saingan BBM (yang impornya semakin meningkat) melainkan mitra untuk meredam penghamburan devisa sambil sekaligus mensejahterakan rakyat banyak.^[12]

Perkembangan terakhir pemanfaatan biodiesel adalah telah diterbitkan spesifikasi solar oleh Direktorat Jendral MIGAS yang mencantumkan pernyataan bahwa solar boleh mengandung FAME (*Fatty Acids Methyl Ester*, yaitu biodiesel) sampai dengan 10 %-volume (B5 dan B10), dengan syarat bahwa FAME/biodiesel yang dicampurkan harus memenuhi syarat mutu Standar Biodiesel Indonesia sehingga B5 dan B10 bisa resmi dijual di SPBU-SPBU. Kesepakatan industri otomotif dan motor bakar sedunia (*World Wide Fuel Charter*) Edisi Desember 2002 baru membolehkan solar mengandung 5 %-vol FAME, tetapi sebagai negara (atas pertimbangan kepentingan dalam negerinya) membolehkan peniagaan B10, B20, B30, bahkan B100 di SPBU-SPBU berlabel.^[12]

2.4 PROSES PEMBUATAN BIODIESEL

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai setiap fase yang terdapat dalam analisis daur hidup energi pada biodiesel. Fase-fasenya akan dijelaskan sebagai berikut:

2.1.1 Perkebunan Kelapa Sawit

Pada bagian perkebunan dari penelitian daur hidup energi ini akan mengidentifikasi bahan-bahan dan lingkungan yang mendukung dalam proses perolehan buah kelapa sawit. Identifikasi ini termasuk tentang bahan-bahan kimia dan bahan bakar yang digunakan, emisi yang dihasilkan, termasuk juga manufaktur, pengepakan dan proses dari bahan-bahan yang digunakan dalam proses penanaman kelapa sawit sampai saat panennya.^[13]

Tanaman kelapa sawit bisa tumbuh dan berbuah hingga ketinggian tempat 1.000 meter di atas permukaan laut (dpl), tetapi lokasi optimalnya adalah pada ketinggian maksimum 400 meter dpl. Kelapa sawit ditanam di lahan yang

memiliki kemiringan lereng 0-12° atau 21%. Tanah yang sering mengalami genangan air umumnya tidak disukai tanaman kelapa sawit karena akarnya membutuhkan banyak oksigen. Drainase yang jelek bisa menghambat kelancaran penyerapan unsur hara dan proses nitrifikasi terganggu, sehingga tanaman akan kekurangan unsur nitrogen (N).^[13]

Tanamam kelapa sawit membutuhkan unsur hara dalam jumlah besar untuk pertumbuhan vegetatif dan generatif. Untuk mendapatkan produksi yang tinggi dibutuhkan kandungan unsur hara yang tinggi juga. Data banyaknya pupuk yang diperlukan oleh tanaman kelapa sawit selama masa tanam sampai berbuahnya akan ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.3 Pemupukan Kelapa Sawit (143 pohon/ha)^[13]

Umur (bulan)	Pupuk	Gram/pohon	Kg/ha
16	N	270	39
	P	375	54
	K	75	11
	Mg	115	16
		935	120
20	N	285	41
	P	400	57
	K	285	41
	Mg	75	11
		1.045	150
24	N	355	51
	P	500	72
	K	355	51
	Mg	95	14
		1.305	188
27	N	535	77
	P	750	107
	K	150	22
	Mg	230	33
		1.665	239
30	N	430	62
	P	600	86
	K	425	61
	Mg	115	16
		1.57	225
36	N	380	54
	P	500	72
	K	1	143
	Mg	500	72
		2.38	341

Satu pohon kelapa sawit yang muda (umur 3 tahun) dapat menghasilkan 10-15 buah kelapa sawit atau dengan berat sekitar sekitar 10 kg. Energi bahan bakar diesel yang digunakan dalam tahap perkebunan kelapa sawit adalah pada saat proses-proses transportasi bahan pendukung dan proses pada masa perawatan kelapa sawit.^[13] Kendaraan yang dipakai secara umum adalah truk dan traktor.

Keperluan listrik pada tahap perkebunan kelapa sawit tidak terlalu besar karena perkebunan kelapa sawit umumnya berada di pedesaan dan listrik yang digunakan sebagian besar untuk penerangan.

2.1.2 Transportasi Kelapa Sawit ke Tempat Pembuatan CPO

Pada konsep desa mandiri energi milik pemerintah dikatakan bahwa di setiap 3 unit perkebunan kelapa sawit terdapat 1 buah pabrik pembuatan CPO.^[11] Dalam penelitian ini energi untuk transportasi kelapa sawit ke tempat pembuatan CPO telah diintegrasikan ke dalam energi bahan bakar diesel yang digunakan pada tahap perkebunan kelapa sawit karena jarak antara perkebunan dan pabrik CPO tidak begitu jauh.

2.1.3 Pembuatan CPO

Pembuatan CPO disini maksudnya adalah mengolah kelapa sawit untuk memperoleh minyak sawit yang berasal dari daging buah (pericarp) dengan urutan pekerjaan sebagai berikut.

Tandan buah segar (TBS) dari kebun ke pabrik diangkut menggunakan truk dan trailer yang ditarik dengan *wheel tractor*. Setelah ditimbang, akan dilakukan sortasi untuk perhitungan rendemen dan penilaian mutu. TBS selanjutnya akan dibersihkan dari pasir dan kotoran lainnya di *loading ramp* dengan cara menyiramkan air dari atas. Setelah bersih, TBS dimasukkan ke dalam lori-lori rebusan berkapasitas 2,5 ton TBS.^[13]

Lori-lori berisi TBS dimasukkan ke dalam ketel rebusan, TBS tersebut dipanaskan menggunakan uap air dengan tekanan $2,6 \text{ kg/cm}^2$ kurang lebih selama 1 jam. Proses perebusan (sterilizer) ini bertujuan diantaranya untuk memudahkan buah lepas dari tandan, menurunkan kadar air daging buah dan memperbaiki proses penjernihan minyak. Lori-lori tandan minyak yang sudah direbus, ditarik

keluar, lalu diangkat menggunakan *hoisting crane* dan diletakkan di atas mesin penebah (*thresher*) dengan tujuan melepaskan buah dari tandannya. Buah yang lepas dari mesin bantingan langsung dimasukkan ke dalam ketel adukan (*digester*). Ketel ini memiliki dinding rangkan dan as putar yang dilengkapi dengan pisau-pisau pengaduk, buah dihancurkan sehingga daging buah (*pericarp*) pecah dan terlepas dari bijinya (*nut*). Temperatur massa buah diupayakan lebih rendah dari 90°C dengan waktu selama 20-25 menit.^[13]

Setelah itu akan dilakukan pengempaan (*pressing*) untuk mengambil minyak dari massa adukan buah di dalam mesin pengempaan secara bertahap dengan bantuan pisau-pisau pelempar dari ketel adukan. Minyak yang keluar ditampung di sebuah talang dan dialirkan ke *crude oil tank*. Lalu, minyak yang masih bercampur dengan *sludge* (lumpur, air, dan kotoran lainnya) akan dipisahkan dan dijernihkan dengan metode sentrifugal dan pengabutan. Minyak hasil proses inilah yang bisa disebut sebagai *crude palm oil (CPO)*.^[13]

Tabel 2.4 Lokasi dan Kapasitas CPO

No.	Propinsi	Kapasitas (ton per tahun)
1	Sumatera Utara	511617
2	Riau	675335
3	Sumatera Selatan	204647
4	Jawa Barat	6431
5	Kalimantan Timur	34176
6	Kalimantan Barat	106007
7	Kalimantan Tengah	64873
8	Papua	19441

2.1.4 Transportasi CPO ke Pabrik Olein

Untuk skenario alternatif a, CPO akan dikonversi menjadi olein sebelum diproses menjadi biodiesel. Sistem transportasi ini akan menjadi salah satu variabel keputusan dalam simulasi daur hidup energi dari biodiesel di Jakarta. Berikut ini adalah beberapa lokasi dan kapasitas dari pabrik penghasil olein di Indonesia.

Tabel 2.5 Lokasi dan Kapasitas Pabrik Olein

No.	Nama	Lokasi	Kapasitas (ton per tahun)
1	PT Asian Agri	Marunda	360000
2	PD Majuan	Karet Pedurenan, Jaksel	36000
3	Sami Jaya PD	Bandengan	1800
4	Unknown	Medan	120000
5	PT Darmex Bekasi	Bekasi	30000
6	Sinar Meadow Int'l Indonesia	Pulo Gadung	30000
7	PT Mikie Oleo	Narogong, Bekasi	30000

2.1.5 Pembuatan Olein

Olein (palm olein) adalah fraksi cair yang merupakan hasil fraksinasi dari CPO setelah dikristalisasi pada temperatur tertentu. Karakteristik fisik dari olein sangat berbeda dari CPO. Olein berwujud lebih cair pada suhu kamar, mempunyai rantai gliserida yang lebih pendek dan dapat tercampur sempurna dengan minyak biji yang lainnya.^[14]

2.1.6 Transportasi Bahan Baku ke Pabrik Biodiesel

Distribusi bahan baku ke pabrik biodiesel memiliki dua jenis alternatif. Alternatifnya adalah transportasi olein ke pabrik biodiesel atau transportasi CPO ke pabrik biodiesel.

Untuk skenario alternatif a, olein akan dikonversi menjadi biodiesel. Sistem transportasi ini akan menjadi salah satu variabel keputusan dalam simulasi daur hidup energi dari biodiesel di Jakarta. Berikut ini adalah beberapa lokasi dan kapasitas dari pabrik penghasil biodiesel di Indonesia.

Tabel 2.6 Lokasi dan Kapasitas Pabrik Biodiesel

No.	Nama	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
1	PT Eterindo Wahantama	Cikupa, Tangerang	132000
2	PT Platinum	Rangkasbitung, Serang, Banten	12000
3	Pabrik Baru 1 (PT Asianagro Agungjaya)	Marunda	100000
4	Pabrik Baru 2 (PT Sumiasih)	Bekasi	36000
5	Pabrik Baru 3 (PT Wahana Abdi)	Bogor	30000
6	Pabrik Baru 4 (PT Bio Energi Nusantara)	Serang	150000

Untuk skenario alternatif b, CPO yang akan langsung dikonversi menjadi biodiesel. Sistem transportasi ini akan menjadi salah satu variabel keputusan dalam simulasi daur hidup energi dari biodiesel di Jakarta.

2.1.7 Konversi Bahan Baku Menjadi Biodiesel

Proses produksi biodiesel yang akan dijelaskan berlaku untuk dua jenis bahan baku. Bahan baku yang digunakan adalah CPO dan Olein. Pada dasarnya proses keduanya sama, hanya saja pada proses konversi olein menjadi biodiesel tidak diperlukan *pre-treatment* karena olein adalah hasil fraksinasi dari CPO yang sudah lebih bersih. Pada bagian ini yang akan dijelaskan secara menyeluruh adalah proses konversi CPO menjadi biodiesel.

Bahan baku utama pembuatan biodiesel adalah CPO atau olein dengan bahan pendukung methanol dan katalis NaOH. Metanol adalah alkohol yang digunakan dalam proses transesterifikasi dilihat dari segi harganya yang murah, sifatnya yang polar dan merupakan rantai alkohol terpendek. Metanol dapat bereaksi cepat dengan trigliserida dan NaOH dapat dengan mudah larut didalamnya. Untuk menyelesaikan reaksi transesterifikasi secara stoikiometri diperlukan rasio molar alkohol:trigliserida = 3:1. Pada praktiknya, karena reaksi transesterifikasi ini reversible maka dibutuhkan alkohol lebih banyak dari pada stoikiometrinya. Katalis yang digunakan adalah NaOH karena lebih murah dibanding dengan KOH. Volume katalis ditentukan berdasarkan metode titrasi yang kisarannya 1,3 – 1,5 % dari volume minyak.^[15]

Tahap persiapan bahan baku terdiri dari pekerjaan utama dan pekerjaan penunjang. Pekerjaan utama terdiri dari pencairan bahan baku; pembersihan bahan baku dengan bentonit atau zeolit yang kemudian disaring dengan alat filter dan proses deguming jika bahan bakunya mengandung gum lebih besar dari 60 ppm.^[15]

Pada pencairan bahan baku CPO parit dimasukkan ke dalam drum. Setelah itu panaskan dengan api agar mencair (suhu 65°C). Campur minyak dengan bentonit dan filtrasi menggunakan saringan 200 mesh. Untuk proses degumming bahan baku ditambah dengan asam fosfat (H₃PO₄ 85%) sebanyak 0.25% dari

volume bahan baku. Proses pengadukan dilakukan selama 1 jam 30 menit, lalu diendapkan. Minyak yang telah jernih dapat dialirkan ke tahap selanjutnya.^[15]

Transesterifikasi adalah proses inti dari pembuatan biodiesel. Konfigurasi proses transesterifikasi yang digunakan adalah pencampuran metanol dengan katalis NaOH, selanjutnya campuran tersebut ditambahkan ke dalam reaktor yang berisi CPO, dan kemudian diaduk sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan.

Parameter kondisi operasi pada proses transesterifikasi meliputi, suhu operasi, waktu operasi, jumlah katalis, rasio molar metanol/CPO dan kecepatan pengadukan. Suhu operasi yang digunakan adalah sekitar 60°C. Suhu merupakan hal yang sangat peka terhadap produk yang dihasilkan. Pada temperatur operasi di bawah 60°C, hasil konversi yang diperoleh lebih rendah, sedangkan pada temperatur di atas 60°C terjadi proses penyabunan. Proses penyabunan ini dapat terjadi disebabkan terjadinya penguapan yang berlebihan dari metanol, sehingga terjadi reaksi antara minyak sawit dengan NaOH.^[15]

Jumlah katalis NaOH yang digunakan dalam kajian dengan skala 500 liter adalah sekitar 1,1% berat minyak sawit, sedangkan dalam skala 5 liter adalah sekitar 1,39% berat minyak sawit.^[15]

Perbandingan atau rasio molar antara metanol dengan minyak kelapa sawit akan mempengaruhi terjadinya reaksi transesterifikasi. Reaksi dapat terjadi sempurna bila jumlah metanol yang diperlukan lebih banyak dari hasil perhitungan.

Rasio molar metanol dengan minyak sawit pada skala 5 liter adalah sekitar 10,65 sedangkan dalam skala 500 liter ternyata cukup efektif pada rasio molar metanol dengan minyak sawit sekitar 9,78.^[15]

Waktu reaksi adalah waktu yang diperlukan agar reaksi dapat terjadi dengan sempurna. Pada percobaan skala 5 liter diperlukan waktu reaksi sekitar 30 menit, demikian juga dengan skala 500 liter, waktu reaksi yang diperlukan juga sekitar 30 menit.^[15]

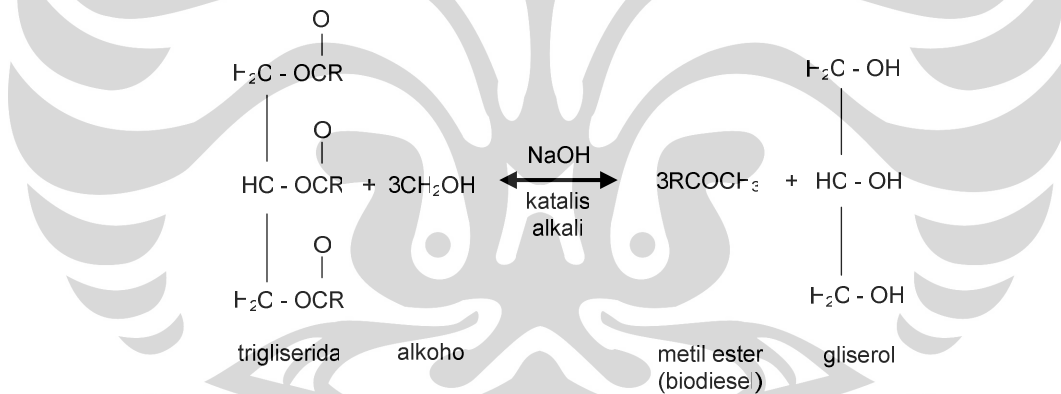
Kecepatan pengadukan yang digunakan pada proses transesterifikasi skala 5 liter adalah sekitar 1500 rpm, berdasarkan korelasi bilangan Reynolds, kecepatan pengadukan pada skala 500 liter adalah sekitar 300 rpm.^[15]

Tabel dibawah menunjukkan perbedaan kondisi operasi yang digunakan pada skala 5 liter dan skala 500 liter.

Tabel 2.7 Kondisi Operasi^[15]

No.	Kondisi Operasi	Skala 5 liter	Skala 500 liter
1.	Temperatur Reaktor, °C	60	60
2.	Kecepatan Pengadukan, Rpm	1500	300
3.	Rasio Molar Metanol/CPO	10,65	9,78
4.	Perbandingan berat NaOH/CPO, %	1,39	1,1
5.	Waktu Reaksi, menit	30	30

Reaksi kimia yang terjadi pada pembuatan biodiesel adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Reaksi transesterifikasi^[9]

Jika kandungan asam lemak bebas terlalu tinggi atau jika terdapat air dalam reaksi, sabun akan terbentuk dengan terlebih dahulu membentuk emulsi dengan metanol dan minyak, sehingga reaksi transesterifikasi tidak dapat terjadi. Karena itu minyak yang digunakan harus diolah sedemikian rupa untuk membuang asam lemak bebas dan semua laju umpan masuk dijaga agar bebas air.

Biasanya dalam pembuatan biodiesel digunakan metanol berlebih supaya minyak ataupun lemak yang digunakan terkonversi secara total membentuk ester. Kelebihan metanol dapat dipisahkan dengan proses destilasi. Metanol yang

diperoleh kembali ini dapat digunakan lagi untuk proses pembuatan biodiesel selanjutnya. Pada tahap ini juga perlu dijaga agar air tidak terakumulasi pada alur pengeluaran metanol.

Selanjutnya adalah tahap pencucian yang bertujuan untuk membuang sabun yang terbentuk dan melarutkan metanol sisa reaksi. Hal ini dilakukan agar pada tahap akhir pemurnian biodiesel tidak ditemukan bahan pengotor (impurities) yang dapat menurunkan kualitas biodiesel. Pada proses pencucian, sejumlah air panas ditambahkan ke dalam campuran yang dikeluarkan dari reaktor esterifikasi. Pencucian dilakukan pada kondisi 1 atm dengan temperatur 80°C. [15]

Setelah reaksi selesai dan metanol telah dipisahkan, terbentuk dua produk utama, yaitu gliserol dan metil ester. Karena adanya perbedaan densitas (gliserol 10 lbs/gal dan metil ester 7,35 lbs/gal) maka keduanya dapat terpisah secara gravitasi di dalam setling tank. Gliserol terbentuk pada lapisan bawah sementara metil ester pada lapisan atas. Proses pemisahan ini dilakukan pada tekanan 1 atm dan temperatur 60°C. [15]

Pemurnian biodiesel dilakukan dengan tujuan mengurangi kandungan air dan sedimen. Biodiesel dipanaskan sampai 80°C di dalam alat vacuum drying. Pengurangan sedimen dilakukan melalui filter berukuran 60-100 mesh. Biodiesel yang keluar dari tahap ini telah siap disalurkan. [15]

2.1.8 Transportasi Biodiesel

Pada tahap ini biodiesel didistribusikan dari pabrik biodiesel ke depot di plumpang untuk diblending dengan solar. Setelah di blending baru didistribusikan ke SPBU di seluruh jakarta. Distribusi diasumsikan dilakukan secara merata sehingga jumlah biosolar yang didistribusikan sesuai dengan kebutuhan per tahunnya

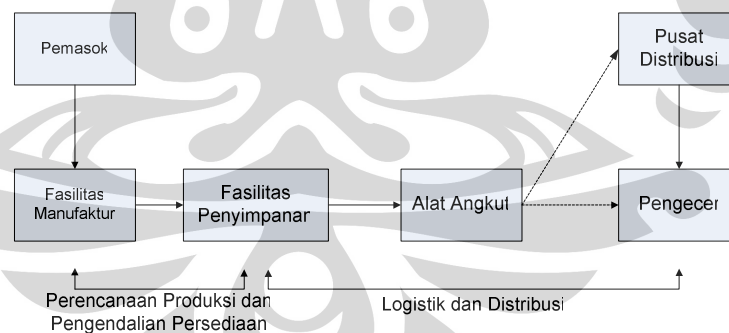
2.5 MANAJEMEN RANTAI SUPLAI

Definisi dari rantai suplai (*supply chain*) adalah sebuah proses yang terintegrasi dimana berbagai pelaku bisnis (*supplier, manufacturer, distributor, retailer*) bekerjasama dalam rangka mencapai ketersediaan barang mentah,

perubahan bahan mentah menjadi produk akhir yang spesifik, dan pengiriman produk ke retailer^[4].

Supply chain memiliki dua konsep dasar yaitu proses perencanaan produksi dan pengendalian persediaan dan Proses distribusi dan logistik. Dua konsep dasar ini merupakan proses yang terintegrasi. Pada proses perencanaan produksi dan pengendalian persediaan, hal yang harus dilakukan dalam perencanaan produksi yaitu menggambarkan disain dan sistem manajemen keseluruhan proses manufaktur, sedangkan pada pengendalian persediaan yaitu menggambarkan disain dan manajemen dari kebijakan penyimpanan dan prosedur untuk bahan mentah, barang setengah jadi, dan barang jadi. Kemudian untuk proses distribusi dan logistik yang harus diperhatikan adalah bagaimana produk disalurkan dari gudang ke pengecer^[4]. Logistik adalah bagian dari proses rantai suplai yang merencanakan, mengimplementasikan, dan mengontrol keefisienan dan keefektifan dari aliran dan penyimpanan barang, pelayanan, dan informasi yang terkait dari mulai titik awal sampai ke titik konsumsi dalam rangka mencapai kebutuhan pelanggan.

Dalam penerapannya, setiap *supply chain* memiliki kerangka kerja atau tahapan aliran. Adapun contoh dari aliran proses supply chain dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses supply chain^[4]

Dalam aplikasinya, terdapat pengukuran kinerja dari supply chain itu sendiri. Tujuan dari pengukuran kinerja ini diantaranya untuk mengetahui efisiensi dan efektifitas sistem yang sudah ada, membandingkan dengan sistem lain, dan mendisain sistem yang tepat. Pengukuran kinerja ini dikategorikan menjadi kualitatif dan kuantitatif. Pengukuran kinerja secara kualitatif yaitu

berdasarkan kepuasan pelanggan pada saat sebelum transaksi, transaksi, dan setelah transaksi, fleksibilitas yaitu bagaimana supply chain bisa merespon fluktuasi permintaan, informasi dan integrasi aliran material, keefektifan manajemen resiko, dan kinerja pemasok. Adapun pengukuran kinerja secara kuantitatif yaitu berdasarkan biaya yaitu meminimalkan biaya, memaksimalkan penjualan, memaksimalkan keuntungan, meminimalkan investasi persediaan, memaksimalkan pengembalian investasi, dan berdasarkan respon pelanggan yaitu memaksimalkan laju pemenuhan, meminimalkan keterlambatan pengiriman produk, meminimalkan waktu respon pelanggan, meminimalkan lead time, meminimalkan fungsi ganda. ^[4]

2.6 DAUR HIDUP ENERGI

Dasar teori yang akan dibahas tentang daur hidup (daur hidup) pada bab ini adalah mengenai definisi, gambaran umum, jenis-jenis energi yang ada dalam daur hidup, efisiensi energi, dan emisi-emisi yang terbentuk.

2.6.1 Definisi dan Gambaran Umum

Analisis daur hidup adalah pembahasan mengenai daur hidup suatu materi dari pembentukannya sampai pengkonsumsian dilihat dari jumlah energi dan aliran lingkungan^[5]. Analisis daur hidup memberikan informasi tentang pengekstraksian bahan mentah dari lingkungan, sumber energi yang dikonsumsi, dan emisi yang terbentuk.

Analisis daur hidup energi menggunakan konsep “cradle to grave”, maksud dari “cradle to grave” adalah semua langkah dari ekstraksi pertama bahan mentah dari lingkungan ke penggunaan akhir produk. Operasi yang dapat dipakai dalam sistem biodiesel adalah produksi bahan mentah, transportasi bahan mentah ke tempat pengolahan menjadi bahan baku, pembentukan bahan baku (minyak nabati), transportasi minyak nabati ke tempat pengkonversian menjadi biodiesel, proses konversi minyak nabati menjadi biodiesel, transportasi biodiesel ke tempat penggunaan, penggunaan biodiesel dalam mesin diesel^[5].

Dalam analisis daur hidup, aliran energi yang dihitung tidak hanya pada material input secara langsung, tetapi juga penggunaan bahan-bahan pembantu lainnya. Contohnya, metanol yang digunakan dalam proses pembentukan biodiesel di lihat daur hidupnya kembali ke ekstraksi dari gas alam sebagai sumbernya.

Asumsi rangka waktu yang dapat digunakan ada dua jenis, model teknologi dan pasar yang ada sekarang, dan model teknologi dan pasar dari skenario masa depan.

2.6.2 Keseimbangan Energi Daur Hidup

Daur hidup dapat menghitung total energi yang dibutuhkan dan energi efisiensi secara keseluruhan dari proses dan produk. Mengetahui kebutuhan energi secara keseluruhan dari biodiesel adalah salah satu kunci untuk meyakinkan kita bahwa biodiesel adalah energi yang dapat diperbaharui. Semakin banyak bahan bakar fosil yang dibutuhkan untuk membuat suatu bahan bakar, semakin tidak bisa dikatakan bahwa bahan bakar ini dapat diperbaharui. Estimasi efisiensi energi dapat membantu kita untuk memutuskan berapa banyak energi tambahan yang harus dikeluarkan untuk mengkonversi energi yang tersedia pada bahan mentah yang digunakan dalam analisis *daur hidup* menjadi energi transportasi yang berguna.^[5]

2.6.3 Jenis-jenis Energi Input Dari Daur Hidup

Pada analisis daur hidup ini energi masukan yang dibahas dapat digolongkan dalam beberapa kategori^[5] :

- Total energi primer. Semua bahan mentah yang diekstraksi dari lingkungan dapat mengandung energi. Dalam mengestimasi total input energi primer, kita memperhitungkan energi kumulatif dari semua sumber yang di ekstraksi dari lingkungan.
- Energi cadangan. Energi yang ada pada bahan mentah yang berakhir pada produk bahan bakar akhir dinamakan energi cadangan.
- Energi proses. Energi yang dibutuhkan untuk memproses energi cadangan menjadi produk bahan bakar final. Energi proses biasanya termasuk batubara,

gas alam, uranium, dan energi listrik yang dikonsumsi secara langsung maupun tidak langsung dalam daur hidup bahan bakar.

- Energi fosil. Karena kita memfokuskan pada sifat biodiesel yang dapat diperbaharui, kita juga harus mempertimbangkan penggunaan dari energi fosil sebagai energi primer (batubara, minyak, dan gas alam).
- Energi produk bahan bakar. Energi yang terkandung di dalam produk bahan bakar final, yang dapat digunakan untuk melakukan kerja di dalam mesin, disebut energi produk bahan bakar. Bila semua kondisi dianggap sama, energi produk bahan bakar adalah fungsi dari densitas dari tiap bahan bakar

2.6.4 Definisi dari Efisiensi Energi

1. Efisiensi energi daur hidup

Efisiensi energi daur hidup setara dengan energi dari bahan bakar yang dianalisa dibanding dengan total energi primer yang digunakan.

Efisiensi energi daur hidup = Energi bahan bakar/ total energi primer^[5]

Ini adalah perhitungan dari energi yang digunakan dalam daur bahan bakar, yang berakhir pada produk bahan bakar. Efisiensi ini menghitung kehilangan dari energi cadangan dan penambahan energi proses yang dibutuhkan untuk membuat bahan bakar.

2. Rasio energi fosil

Rasio energi fosil memberikan informasi apakah bahan bakar yang kita analisis, terbarukan atau tidak. Rasio energi fosil setara dengan perbandingan antara energi bahan bakar yang dianalisa dengan energi fosil yang digunakan.

Rasio energi fosil = energi bahan bakar/ energi fosil masukan^[5]

Jika rasio energi fosil sama dengan nol, maka bahan bakar tidak hanya tidak dapat terbarukan, tetapi juga bahan bakar dianggap tidak berguna, karena dibandingkan dengan energi fosil yang dibutuhkan untuk membuatnya. Jika rasio energi fosil sama dengan 1, tidak ada energi yang hilang selama proses konversi dari energi fosil menjadi bahan bakar, jadi tetap tidak dapat terbarukan. Untuk rasio energi fosil lebih besar dari 1, bahan bakar mulai menciptakan penghematan dalam energi fosil yang dibutuhkan untuk membuat bahan bakar itu berguna untuk transportasi. Jika rasio energi fosil

sama dengan tak hingga, maka bahan bakar yang terbarukan ini tidak membutuhkan energi fosil dalam pembuatannya.

2.6.5 Emisi CO₂ terbentuk

Biomassa memainkan peranan yang unik dalam aliran karbon di biosfir kita.. siklus secara biologis dari karbon muncul ketika tanaman (biomassa seperti kedelai, tanaman jarak, dan kelapa) mengubah CO₂ atmosfer menjadi rantai karbon dasar melalui proses fotosintesis. Biomassa yang menjadi bahan bakar mengurangi carbon di atmosfer dengan dua cara. Pertama, mereka berpartisipasi dengan cepat untuk melakukan siklus biologis karbon ke atmosfer (melalui emisi dari knalpot) dan dari atmosfer (melalui fotosintesis). Kedua, bahan bakar dari biomassa ini menggantikan penggunaan dari bahan bakar fosil. Pembakaran dari bahan bakar fosil melepaskan karbon yang memakan waktu jutaan tahun untuk dapat dipindahkan dari atmosfer, sementara pembakaran dari bahan bakar biomassa dapat menghasilkan recycle CO₂ lebih cepat untuk menjadi bahan bakar kembali^[5].

2.7 HUBUNGAN RANTAI SUPLAI DENGAN DAUR HIDUP

Penggunaan analisis daur hidup pada material yang berada dalam rantai suplai sudah pernah dilakukan. Pada penentuan biaya transportasi dan kesetimbangan energi pada bioenergi secara internasional di Belanda, digunakan supply chain dan analisis *daur hidup*. Untuk mensuplai biomassa dari area produksi ke daerah yang mengimpor energi, dibutuhkan transportasi jarak jauh secara internasional melingkupi logistik tambahan, biaya, konsumsi energi dan hilangnya material dibandingkan dengan penggunaan secara lokal. Rantai bioenergi ini mencakup produksi dari cadangan biomassa yang berbeda, perlakuan awal (pembentukan minyak nabati), mengkonversi minyak nabati menjadi bahan bakar, dan transportasi. Parameter yang digunakan untuk *supply chain* adalah jarak, waktu, dan kapasitas pengiriman^[16].

Biaya dan efisiensi energi dari perdagangan bioenergi internasional dipengaruhi oleh banyak faktor. Biomassa dapat berasal dari penanaman, limbah hutan atau proses industri (cth : sampah dari produksi kertas). Bioenergi dapat

ditransportasi dalam berbagai bentuk : biomassa mentah (chip, kayu), pembawa energi sementara (minyak nabati), pembawa energi berkualitas tinggi (ethanol, methanol, biodiesel, hidrogen, atau listrik). Parameter lainnya adalah urutan dan pemilihan dari operasi pre-treatment, unjuk kerja peralatan, jarak transport, kehilangan material, pola supply dan skala pengiriman^[16].

2.8 VISUAL BASIC SEBAGAI ALAT BANTU UNTUK MODEL

Dengan semakin bertambahnya vendor pembuat computer serta semakin luas pemakaiannya, maka dirasakan mulai perlunya suatu cara berkomunikasi (pemrograman) yang lebih praktis, sederhana, mudah dipelajari, sesuai untuk berbagai komunitas pemakai, dan tidak tergantung mesin computer yang digunakan. Kesederhanaan yang dimaksud adalah bahwa ekspresi matematik yang kompleks dapat dijabarkan sebagai notasi aljabar yang umum, dengan efisiensi yang mendekati bahasa assembler.^[17]

Meskipun Fortran bagi beberapa kalangan senior masih merupakan bahasa komputer teknik dan sains, tapi seiring dengan kemajuan teknologi maka bahasa pemrograman lain telah maju pesat dan dapat menghasilkan aplikasi dengan ketelitian dan kecepatan yang sama, bahkan mampu melakukan pekerjaan lain misalnya multimedia. Bahasa pemrograman yang dimaksud adalah Microsoft Visual Basic yang disingkat sebagai VB.

Microsoft visual basic menyediakan prasarana yang dapat dipergunakan secara cepat dan mudah untuk menciptakan aplikasi komputer dengan antar muka berbasis visual di lingkungan windows. Visual Basic (VB) adalah bahasa pemrograman yang evolusioner, baik dalam hal teknik (mengacu pada event dan berorientasi objek) maupun cara operasinya.^[17]

Keuntungan menggunakan VB dibandingkan dengan bahasa pemrograman lain adalah kurva pembelajaran dan pengembangan yang lebih singkat/mudah dibandingkan bahasa pemrograman lain seperti C/C++, Delphi atau PowerBuilder. VB juga dapat membuat kontrol ActiveX dengan teknologi ActiveXTM sehingga dapat memakai fungsi-fungsi aplikasi lain yang mendukung teknologi tersebut, misalnya Access, Excel dan sebagainya.^[17]

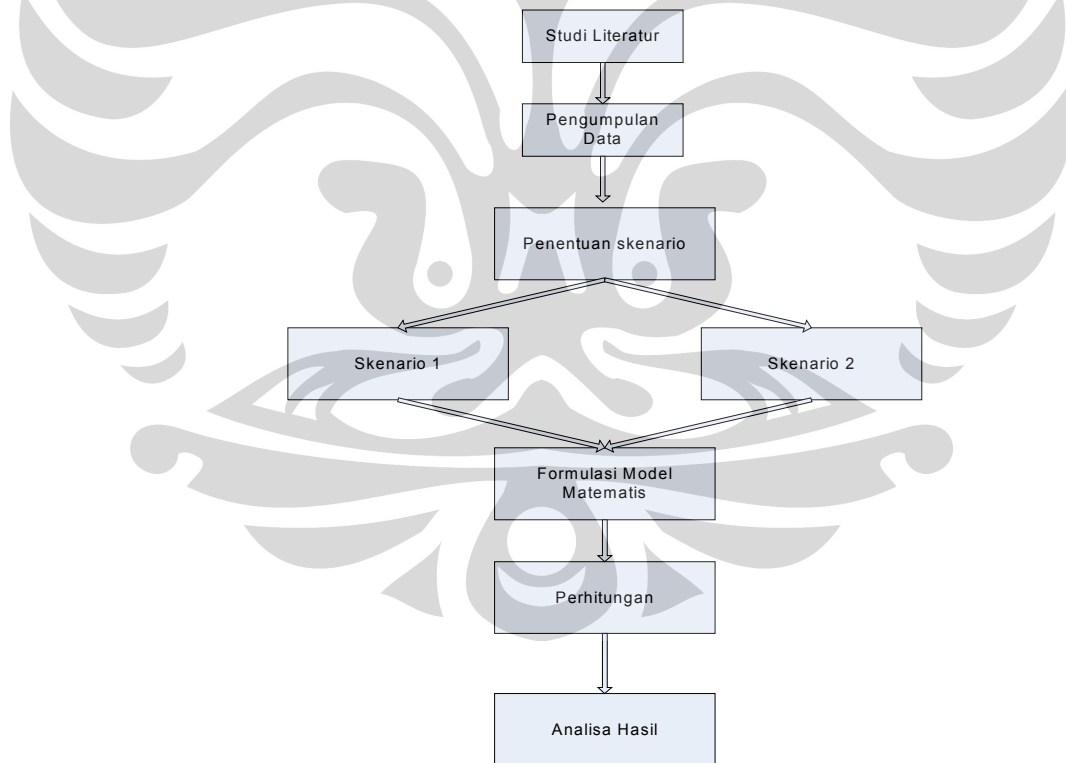
BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam perancangan simulasi daur hidup energi dan rantai suplai biodiesel ini akan digunakan rangkaian metode penelitian dengan tahapan sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Pengumpulan data
3. Penentuan skenario
4. Pembuatan formulasi matematis
5. Perhitungan
6. Analisis hasil

Adapun diagram alir dari tahap metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



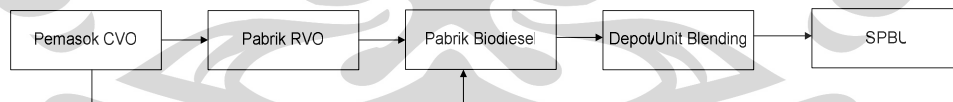
Gambar 3.1 Diagram alir tahap metode penelitian simulasi daur hidup energi biodiesel

3.1 STUDI LITERATUR

Pada tahap ini dilakukan studi yang berkaitan dengan materi-materi yang diperlukan dalam penelitian ini, diantaranya produksi biodiesel, bahan baku biodiesel, kondisi serta perkembangannya di Indonesia. Selain itu, juga dilakukan studi mengenai berbagai hal yang berkaitan dengan analisis daur hidup, mulai dari gambaran secara umum, cara merancang sebuah proses daur hidup, serta piranti lunak visual basic yang menunjang pembuatan simulasi model matematis.

3.2 PENENTUAN PROSES RANTAI SUPLAI BIODIESEL

Berdasarkan kondisi nyata yang terjadi dalam penyediaan biodiesel untuk sektor transportasi di DKI Jakarta, terdapat beberapa pelaku bisnis yang terlibat, diantaranya petani kelapa sawit/jarak, pemilik pabrik minyak nabati (*crude vegetable oil/CVO*), pemilik pabrik RVO (*refined vegetable oil*), pemilik pabrik biodiesel, pemilik depot dan unit *blending*, serta pemilik SPBU. Dalam skripsi ini, model rantai suplai yang digunakan berawal dari pabrik minyak nabati sebagai entitas pertama dan SPBU sebagai entitas terakhir. Pemasok CVO memiliki kemungkinan untuk mensuplai CVO ke pabrik RVO atau langsung ke pabrik biodiesel. Skema proses rantai suplai biodiesel untuk sektor transportasi yang akan digunakan secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.2^[18].

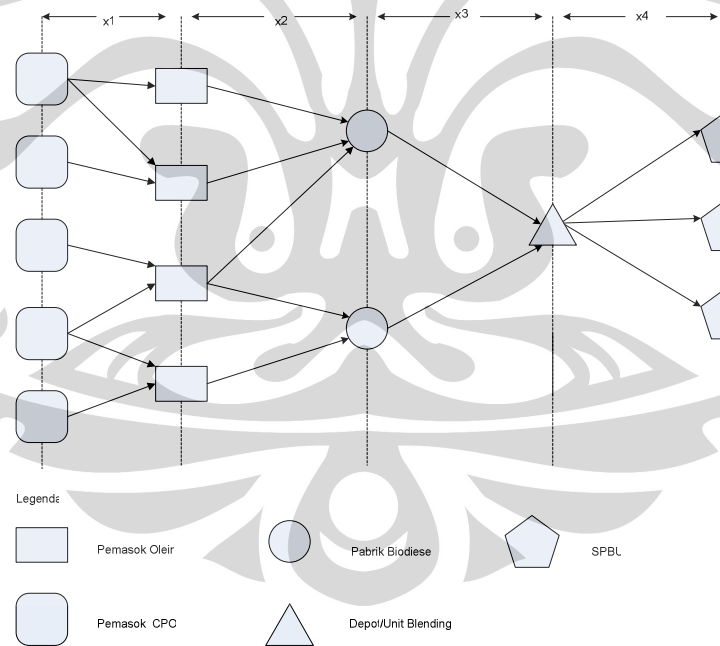


Gambar 3.2 Skema proses rantai suplai biodiesel

Berdasarkan Gambar 3.2, proses rantai suplai biodiesel sektor transportasi berawal dari titik pabrik-pabrik pemasok CVO yang kemudian akan mendistribusikan CVO tersebut ke pabrik penghasil RVO. Dari pabrik RVO, RVO akan didistribusikan ke pabrik biodiesel sebagai bahan baku pembuatan biodiesel atau yang biasa disebut juga FAME (*fatty acid methyl ester*). Disamping itu, terdapat pula kemungkinan alternatif pendistribusian CVO langsung ke pabrik biodiesel sebagai bahan baku. Selanjutnya, biodiesel dari para produsen akan didistribusikan ke depot wilayah DKI Jakarta untuk disimpan dan di-*blending*.

Lalu biodiesel yang telah di-*blending* akan didistribusikan ke SPBU di seluruh DKI Jakarta. Jenis CVO yang akan digunakan dalam simulasi rantai suplai ini adalah CVO yang berasal dari bahan baku kelapa sawit yaitu CPO (*crude palm oil*) sehingga jenis RVO yang digunakan adalah turunan dari CPO yaitu olein.

Kemudian berdasarkan kemungkinan proses rantai suplai biodiesel yang dapat digunakan, maka dapat dihasilkan dua buah alternatif proses rantai suplai biodiesel. Alternatif a dipilih karena hal ini sesuai dengan kondisi nyata yang terjadi saat ini dimana seluruh pabrik biodiesel yang ada di sekitar DKI Jakarta menggunakan bahan baku olein yang umumnya didapat dari berbagai industri minyak makan untuk diolah menjadi biodiesel. Hal ini dikarenakan lokasi sumber olein yang relatif dekat dengan pabrik biodiesel serta mudah didapat sehingga dirasa dapat meringankan biaya transportasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.3^[18].

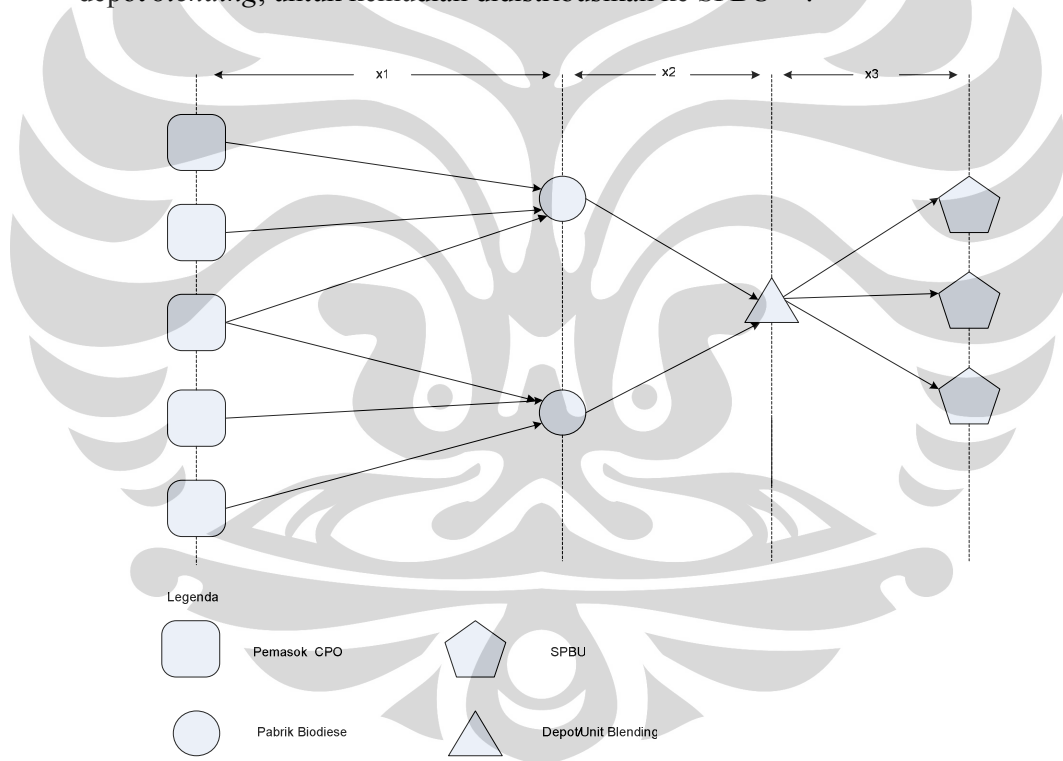


Gambar 3. 3 Rantai suplai biodiesel Alternatif a^[18]

Pada Gambar 3.3 dimana pabrik CPO akan mendistribusikan CPO ke pabrik olein, lalu pabrik olein akan mendistribusikan olein ke pabrik biodiesel,

dan biodiesel akan menuju depot, untuk kemudian didistribusikan ke SPBU dalam bentuk campuran biodiesel dengan BBM solar.

Pada Alternatif b, CPO langsung dijadikan sebagai bahan baku untuk biodiesel tanpa harus melalui proses pemurnian terlebih dahulu menjadi olein. Hal ini digunakan karena pada dasarnya CPO dapat langsung diolah menjadi biodiesel, dan juga dengan menggunakan CPO langsung sebagai bahan baku biodiesel diperkirakan dapat menurunkan biaya pengolahan secara keseluruhan karena proses pengolahan yang harus dilalui hanya satu kali proses yaitu pengolahan CPO langsung menjadi biodiesel tanpa melalui fraksi olein. Adapun proses rantai suplai biodiesel Alternatif b ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 dimana CPO akan didistribusikan ke pabrik biodiesel, lalu biodiesel akan menuju depot *blending*, untuk kemudian didistribusikan ke SPBU^[18].



Gambar 3. 4 Rantai suplai biodiesel Alternatif b^[18]

Pada kedua alternatif tersebut, komponen utama dalam rantai suplai biodiesel yang dirancang terdiri dari:

- Infrastruktur rantai suplai yang terdiri dari lokasi fisik pabrik penghasil CPO, pabrik penghasil olein, pabrik penghasil biodiesel, depot/unit *blending*, dan seluruh SPBU di DKI Jakarta.
- Kebutuhan pergerakan yaitu seluruh informasi transportasi biodiesel mulai dari moda transportasi yang digunakan, jarak antar lokasi, biaya angkut transportasi, dan jumlah material yang akan didistribusikan.

3.3 PENGUMPULAN DATA

Dalam rangka mendukung proses perancangan simulasi rantai suplai biodiesel sektor transportasi, maka perlu dilakukan pengumpulan data baik melalui penelusuran literatur, pengolahan data yang ada, maupun wawancara langsung. Adapun data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- i. Realisasi penjualan solar subsidi wilayah DKI Jakarta;
- ii. Pendapatan Regional Domestik Bruto (PDRB) DKI Jakarta;
- iii. Jumlah, lokasi, dan kapasitas SPBU di DKI Jakarta;
- iv. Jumlah, lokasi, dan kapasitas depot di DKI Jakarta;
- v. Jumlah, lokasi, dan kapasitas pabrik biodiesel di DKI Jakarta dan sekitarnya;
- vi. Jumlah, lokasi, dan kapasitas pabrik olein di DKI Jakarta dan sekitarnya;
- vii. Jumlah, lokasi, dan kapasitas pabrik CPO di DKI Jakarta dan sekitarnya;
- viii. Energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan kelapa sawit;
- ix. Energi yang dibutuhkan untuk mengolah kelapa sawit menjadi CPO;
- x. Energi yang dibutuhkan untuk mengolah CPO menjadi olein;
- xi. Energi yang dibutuhkan untuk mengolah olein menjadi biodiesel;
- xii. Energi yang dibutuhkan untuk *blending* biodiesel dengan solar;
- xiii. Energi yang dibutuhkan berdasarkan moda transportasi yang digunakan;
- xiv. Jarak antar pabrik CPO dengan pabrik olein;
- xv. Jarak antar pabrik olein dengan pabrik biodiesel;
- xvi. Jarak antar pabrik CPO dengan pabrik biodiesel;
- xvii. Jarak antar pabrik biodiesel dengan depot;
- xviii. Jarak antar depot dengan SPBU;

3.4 PENENTUAN SKENARIO SIMULASI

Untuk melengkapi penelitian simulasi rantai suplai biodiesel sektor transportasi, maka perlu ditetapkan skenario simulasi yang akan digunakan. Terdapat 2 skenario besar yang dapat dipilih dalam penelitian ini, yaitu:

1. Skenario BBM Substitusi

Dalam skenario ini biodiesel akan dijadikan sebagai pengganti dari BBM solar sepenuhnya dengan menggunakan campuran 5% dan 10% biodiesel dengan solar

2. Skenario BBM Alternatif

Dalam skenario ini biodiesel akan dijadikan sebagai bahan bakar alternatif (pilihan) yang dijual bersama dengan BBM solar dengan menggunakan campuran 5% dan 10% biodiesel dengan solar.

Pada setiap skenario besar yang telah dijelaskan sebelumnya, terdapat alternatif rute yang dapat dipilih sesuai dengan proses rantai suplai yang telah ditetapkan sebelumnya. Adapun alternatif proses rantai suplai untuk kedua skenario tersebut, yaitu:

- a. Alternatif a

Pada alternatif ini, bahan baku biodiesel berasal dari olein dengan proses rantai suplai berawal dari pabrik CPO menuju pabrik olein, menuju pabrik biodiesel, menuju depot/unit *blending*, dan menuju SPBU.

- b. Alternatif b

Pada alternatif ini, bahan baku biodiesel berasal dari CPO dengan proses rantai suplai berawal dari pabrik CPO menuju pabrik biodiesel, menuju depot/unit *blending*, dan menuju SPBU.

3.5 PEMBUATAN FORMULASI MATEMATIS

Dalam perancangan simulasi rantai suplai biodiesel diperlukan suatu formulasi matematis sebagai aspek penting dalam simulasi yang akan dibuat. Metode yang digunakan dalam pembuatan formulasi matematis ini yaitu dengan pendekatan *linear programming*. Pada formulasi matematis yang akan dirancang akan dijumpai berbagai jenis variabel yang akan digunakan. Adapun klasifikasi dari variabel yang akan digunakan yaitu sebagai berikut:

- Fungsi obyektif (*objective function*) yaitu suatu jenis variabel yang menjadi obyektif (sasaran) dalam simulasi yang akan dibuat. Variabel yang termasuk dalam klasifikasi ini yaitu efisiensi life cycle dari biodiesel, rasio energi fosil dan emisi CO₂ yang terbentuk.
- Variabel keputusan (*decision variables*) yaitu suatu jenis variabel yang dapat menentukan dan mempengaruhi nilai dari fungsi obyektif yang dihasilkan. Adapun yang termasuk dalam variabel keputusan dalam simulasi ini yaitu pemilihan lokasi infrastruktur, moda transportasi, campuran biodiesel yang digunakan, pembagian persentase penyediaan biodiesel dari kebutuhan solar, dan penambahan infrastruktur;

Untuk mendukung perhitungan dalam simulasi ini, maka perlu ditetapkan beberapa asumsi yang akan digunakan yaitu sebagai berikut:

- Jarak antara perkebunan CPO dengan pabrik CPO diabaikan;
- Energi pengolahan olein dan biodiesel dianggap tetap setiap tahun;
- Energi angkut transportasi dianggap tetap setiap tahun;
- *Loss* diabaikan;

Kemudian sesuai dengan jumlah skenario dan alternatif yang akan digunakan, maka dihasilkan empat macam formulasi matematis yang akan dijabarkan pada beberapa sub bab berikut.

3.5.1 Formulasi Matematis Skenario 1 Alternatif a (Skenario 1.a)

Persamaan matematis yang pertama ini (Persamaan 3.1) merupakan fungsi obyektif dari simulasi yang dirancang. Persamaan 3.1 ini digunakan untuk menghitung efisiensi life cycle dari biodiesel secara keseluruhan sesuai dengan jumlah tahun yang digunakan, serta sesuai dengan skenario dan alternatif yang dipilih yaitu Skenario 1.a.

$$\eta_r = \frac{\sum E_p}{\sum_a^a P} \quad (3.1)$$

Adapun persamaan matematis untuk menghitung efisiensi life cycle dari biodiesel setiap tahunnya dapat dilihat pada Persamaan 3.2

$$\eta = \frac{E_p}{P} \quad (3.2)$$

Pada persamaan tersebut terlihat bahwa efisiensi life cycle dari biodiesel ini merupakan perbandingan antara besarnya energi pembakaran yang dihasilkan oleh biodiesel dengan total energi primer yang dibutuhkan untuk memproduksi biodiesel tersebut.

Persamaan untuk menghitung emisi CO₂ yang dihasilkan secara keseluruhan dapat dilihat pada persamaan 3.3

$$\sum_a ECO_2 = \sum_a (P \cdot CO2_1) + \sum_a (E_p \cdot CO2_2) \quad (3.3)$$

Akumulasi dari total energi primer biodiesel secara keseluruhan sesuai dengan jumlah tahun yang digunakan, serta sesuai dengan skenario dan alternatif yang dipilih yaitu Skenario 1.a.

$$\sum_a P = \sum_a (E_{CPO} + E_{OLE} + E_B + E_{BB} + E_t + E_1) \quad (3.4)$$

Adapun persamaan matematis untuk menghitung total energi primer (P) setiap tahunnya dari biodiesel dapat dilihat pada Persamaan 3.2.

$$P = E_{CPO} + E_{OLE} + E_B + E_{BB} + E_t + E_1 \quad (3.5)$$

Pada Persamaan 3.5 dapat dilihat bahwa total energi primer biodiesel per tahun merupakan hasil penjumlahan dari energi produksi CPO setiap tahun (E_{CPO}), energi produksi olein setiap tahun (E_{OLE}), energi produksi biodiesel setiap tahun (E_B), energi untuk *blending* setiap tahun (E_{BB}), total energi transportasi untuk distribusi CPO, olein, biodiesel, serta campuran biodiesel setiap tahunnya (E_t), dan total energi jika terdapat penambahan infrastruktur (E₁). Hal ini serupa dengan Persamaan 3.4 hanya saja tanpa akumulasi dan dihitung secara parsial setiap tahunnya sesuai dengan proyeksi kebutuhan pada tahun tersebut.

Penjabaran dari setiap suku pada Persamaan 3.5 dapat dilihat pada Persamaan 3.6 dimana energi produksi CPO setiap tahunnya bergantung dari energi pengolahan CPO (EP_{CPO}) dan jumlah kebutuhan CPO (D_{CPO}), energi produksi olein bergantung dari energi pengolahan olein (EP_{OLE}) dan jumlah kebutuhan olein (D_{OLE}), sedangkan energi produksi biodiesel bergantung dari energi pengolahan biodiesel (EP_B) dan jumlah kebutuhan biodiesel (D_B).

$$P = (D_{CPO} \cdot EP_{CPO}) + (D_{OLE} \cdot EP_{OLE}) + (D_B \cdot EP_B) + (E_{BB}) + (E_t) + (E_1) \quad (3.6)$$

Adapun kebutuhan dari CPO, olein, dan biodiesel sangat bergantung dari kebutuhan solar (D_S) sesuai dengan proyeksi yang dihasilkan. Lalu dari proyeksi ini dapat ditetapkan proyeksi kebutuhan CPO, olein, dan biodiesel dengan mengalikannya sesuai dengan faktor konversi (f) dan persentase campuran biodiesel (M_B) yang diinginkan sesuai dengan Persamaan 3.7, 3.8, dan 3.9.

$$D_{CPO} = f_{CPO} \cdot D_{OLE} \quad (3.7)$$

$$D_{OLE} = f_{OLE} \cdot D_B \quad (3.8)$$

$$D_B = M_B \cdot D_S \quad (3.9)$$

Lalu berdasarkan hasil perhitungan total energi primer dan variabel pembentuknya, maka dapat dihitung energi untuk memproduksi biodiesel per liter ($P_{\text{per liter}}$) untuk setiap tahunnya. Adapun persamaan untuk menghitung harga biodiesel per liter dapat dilihat pada Persamaan 3.10 dan 3.11 dimana variabel-variabel pembentuknya terdiri dari energi produksi CPO per liter, energi produksi olein dan biodiesel per liter, energi blending per liter, dan juga total energi transportasi seluruh material per liter.

$$P_{\text{per liter}} = EP_{CPO} + EP_{OLE} + EP_B + E_{BB \text{ per liter}} + [(E_{tCPO \text{ per liter}}) + (E_{tOLE \text{ per liter}}) + (E_{tB \text{ per liter}}) + (E_{tBS \text{ per liter}})] \quad (3.10)$$

$$P_{\text{per liter}} = EP_{CPO} + EP_{OLE} + EP_B + E_{BB \text{ per liter}} + [(E_{tCPO} / D_{CPO}) + (E_{tOLE} / D_{OLE}) + (E_{tB} / D_B) + ((E_{tBS} / D_S) \cdot M_B)] \quad (3.11)$$

Untuk perhitungan total energi transportasi terdiri dari perhitungan energi transportasi untuk mendistribusikan CPO (E_{tCPO}), mendistribusikan olein (E_{tOLE}), mendistribusikan biodiesel (E_{tB}), dan mendistribusikan campuran biodiesel dengan solar (E_{tBS}). Persamaan secara umum dari total energi transportasi ini dapat dilihat pada Persamaan 3.12.

$$E_t = E_{tCPO} + E_{tOLE} + E_{tB} + E_{tBS} \quad (3.12)$$

Adapun rincian dari setiap variabel penyusun total energi transportasi ini yaitu terdiri dari:

1. Energi distribusi CPO

Perhitungan energi distribusi CPO dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan CPO, energi angkut ($energy_{x_1}$), dan jarak antara pabrik CPO dengan pabrik olein (x_1) sesuai Persamaan 3.13.

$$E_{tCPO} = D_{CPO} \cdot energy_{x_1} \cdot x_{1n} \quad (3.13)$$

Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik CPO yang dipilih. Jika lokasi berada di luar Pulau Jawa maka energi angkut akan menggunakan energi transportasi laut (kapal laut) dan jika lokasi di Pulau Jawa maka energi angkut akan menggunakan energi transportasi darat (truk).

Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan energi distribusi CPO ini dapat dilihat pada Persamaan 3.14 yaitu ketika kapasitas pabrik yang ada (K_{CPO}) tidak mampu lagi memenuhi jumlah kebutuhan CPO sehingga selisih antara kapasitas pabrik CPO yang ada dengan jumlah kebutuhan CPO tidak sesuai dengan kondisi batas atau kurang dari nol, maka dalam hal ini simulasi akan berhenti memproses walaupun pada kenyataannya kebutuhan CPO yang ada telah lebih dari cukup.

$$Constraints : \quad (K_{CPO}) - (D_{CPO}) \geq 0 \quad (3.14)$$

2. Energi distribusi olein

Perhitungan energi distribusi olein dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan olein (S_{OLE}), energi angkut ($energy_{x_2}$), dan jarak antara pabrik olein dengan pabrik biodiesel (x_2) sesuai Persamaan 3.15.

$$E_{tOLE} = \sum_j S_{OLEm} \cdot energy_{x_2} \cdot x_{2um} \quad (3.15)$$

Dimana untuk jumlah kebutuhan olein merupakan total jumlah dari kebutuhan olein yang diminta oleh pabrik-pabrik biodiesel yang ada sesuai dengan Persamaan 3.16 sedangkan total jumlah kebutuhan olein yang harus dipenuhi ke setiap pabrik biodiesel yang ada bergantung dari jumlah kebutuhan biodiesel yang dipenuhi oleh pabrik tersebut dikalikan dengan faktor konversi yang ada sesuai Persamaan 3.17.

$$D_{OLE} = \sum_j S_{OLEm} \quad (3.16)$$

$$S_{OLEm} = f_{OLE} \cdot S_{Bm} \quad (3.17)$$

Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik olein yang dipilih. Jika lokasi berada di luar Pulau Jawa maka energi angkut akan menggunakan energi transportasi laut (kapal laut) dan jika lokasi di Pulau Jawa maka energi angkut akan menggunakan energi transportasi darat (truk).

Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan energi distribusi olein ini dapat dilihat pada Persamaan 3.18 yaitu ketika kapasitas pabrik yang ada (K_{OLE}) tidak mampu lagi memenuhi jumlah kebutuhan olein sehingga selisih antara kapasitas pabrik olein yang ada dengan jumlah kebutuhan olein menjadi tidak sesuai dengan kondisi batas atau kurang dari nol, maka dalam hal ini simulasi akan berhenti memproses walaupun pada kenyataannya kebutuhan olein yang ada telah lebih dari cukup.

$$\text{Constraints :} \quad (K_{OLE}) - (D_{OLE}) \geq 0 \quad (3.18)$$

3. Energi distribusi biodiesel

Perhitungan energi distribusi biodiesel dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan biodiesel (S_B), energi angkut (*energy_{x3}*), dan jarak antara pabrik biodiesel dengan depot/unit *blending* (x_3) sesuai Persamaan 3.19.

$$E_{tB} = \sum_j S_{Bm} \cdot \text{energy}_{x_3} \cdot x_{3m} \quad (3.19)$$

Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik biodiesel yang ada. Kemudian untuk jumlah kebutuhan biodiesel merupakan total jumlah dari kebutuhan biodiesel yang dipasok oleh seluruh pabrik biodiesel yang ada sesuai dengan persamaan 3.20.

$$D_B = \sum_j S_{Bm} \quad (3.20)$$

Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan energi distribusi biodiesel ini dapat dilihat pada Persamaan 3.21 yaitu ketika kapasitas pabrik yang ada (K_B) tidak mampu lagi memenuhi jumlah kebutuhan biodiesel sehingga selisih antara kapasitas pabrik biodiesel yang ada dengan jumlah kebutuhan biodiesel tidak sesuai dengan kondisi batas, maka dalam hal ini akan dibangun infrastruktur baru berupa pabrik biodiesel di lokasi tertentu.

$$\text{Constraints :} \quad \left(\sum_j K_B \right) - (D_B) \geq 0 \quad (3.21)$$

Adapun sebelum dilakukan pembangunan infrastruktur baru akan dihitung biaya yang harus dikeluarkan setiap tahunnya akibat dari investasi yang dilakukan dan besarnya penjualan setiap tahun. Jika pabrik baru akan dibangun, maka akan ada penambahan biaya distribusi biodiesel baru sesuai dengan Persamaan 3.22.

$$E_{tB}' = \sum_r S_{Bf} \cdot \text{energy}_{x_3} \cdot x_{3f} \quad (3.22)$$

Untuk menentukan banyaknya jumlah pabrik biodiesel baru yang dibangun yaitu berdasarkan selisih antara jumlah kebutuhan biodiesel dengan kapasitas pabrik biodiesel yang ada dan kemudian dibagi dengan kapasitas pabrik biodiesel baru yang akan dibangun dengan pembulatan ke atas sesuai dengan Persamaan 3.23.

$$f = [(D_B) - \left(\sum_j K_B \right)] \cdot (1/K_{B \text{ baru}}) \quad (3.23)$$

4. Energi distribusi campuran biodiesel dengan solar

Perhitungan energi distribusi campuran biodiesel dengan solar dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan solar (D_S), energi angkut (energy_{x_4}), jarak antara depot dengan lokasi SPBU yang ada (x_4) di seluruh wilayah DKI Jakarta, serta persentase biodiesel yang akan dicampur dengan solar (M_B) sesuai Persamaan 3.24. Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik SPBU yang ada.

$$E_{tBS} = \left(\sum_v D_{Sw} \cdot \text{energy}_{x_4} \cdot x_{4w} \right) \cdot M_B \quad (3.24)$$

Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan energi distribusi campuran biodiesel dengan solar ini dapat dilihat pada Persamaan 3.25 yaitu ketika kapasitas SPBU yang ada (K_{BS}) sudah tidak mampu lagi memenuhi jumlah kebutuhan solar sehingga selisih antara kapasitas SPBU yang ada dengan jumlah kebutuhan solar menjadi tidak sesuai dengan kondisi batas atau kurang dari nol, maka dalam hal ini simulasi akan berhenti memproses walaupun pada kenyataannya kebutuhan SPBU yang ada telah lebih dari cukup.

$$\text{Constraints :} \quad (K_{BS}) - (D_S) \geq 0 \quad (3.25)$$

3.5.2 Formulasi Matematis Skenario 1 Alternatif b (Skenario 1.b)

Persamaan matematis pada Skenario 1.b ini secara umum sama dengan persamaan pada Skenario 1.a hanya saja tidak memperhitungkan energi produksi dan distribusi olein karena rantai suplai yang digunakan dari pabrik CPO langsung menuju pabrik biodiesel. Persamaan 3.26 ini digunakan untuk menghitung efisiensi life cycle dari biodiesel secara keseluruhan sesuai dengan jumlah tahun yang digunakan, serta sesuai dengan skenario dan alternatif yang dipilih yaitu Skenario 1.b.

$$\eta_{T1} = \frac{\sum_a E_p}{\sum_a P_1} \quad (3.26)$$

Adapun persamaan matematis untuk menghitung efisiensi life cycle dari biodiesel setiap tahunnya dapat dilihat pada Persamaan 3.27

$$\eta_1 = \frac{E_p}{P_1} \quad (3.27)$$

Pada persamaan tersebut terlihat bahwa efisiensi life cycle dari biodiesel ini merupakan perbandingan antara besarnya energi pembakaran yang dihasilkan oleh biodiesel dengan total energi primer yang dibutuhkan untuk memproduksi biodiesel tersebut.

Persamaan untuk menghitung emisi CO₂ yang dihasilkan secara keseluruhan dapat dilihat pada persamaan 3.28

$$\sum_a E_1 CO_2 = \sum_a (P_1 \cdot CO_{2_1}) + \sum_a (E_p \cdot CO_{2_2}) \quad (3.28)$$

Persamaan matematis 3.29 untuk menghitung akumulasi dari total energi primer biodiesel pada Skenario 1.b ini tidak memperhitungkan energi produksi dan distribusi olein karena rantai suplai yang digunakan dari pabrik CPO langsung menuju pabrik biodiesel.

$$\sum_a P_1 = \sum_a (E_{CPO1} + E_B + E_{BB} + E_{t1} + E_{I1}) \quad (3.29)$$

Adapun persamaan matematis untuk menghitung total energi primer per tahun dari biodiesel dapat dilihat pada persamaan 3.30.

$$P_1 = E_{CPO1} + E_B + E_{BB} + E_{t1} + E_{I1} \quad (3.30)$$

Pada Persamaan 3.30 dapat dilihat bahwa total energi primer biodiesel per tahun merupakan hasil penjumlahan dari energi produksi CPO setiap tahun (suku

pertama), energi produksi biodiesel setiap tahun (suku kedua), energi *blending* setiap tahun (suku ketiga), total energi transportasi untuk distribusi CPO, biodiesel, serta campuran biodiesel setiap tahunnya (suku keempat), dan total energi jika terdapat penambahan infrastruktur (E_I). Hal ini serupa dengan Persamaan 3.29 hanya saja tanpa akumulasi dan dihitung secara parsial setiap tahunnya sesuai dengan proyeksi kebutuhan pada tahun tersebut.

Penjabaran dari setiap suku pada Persamaan 3.30 dapat dilihat pada Persamaan 3.31 dimana energi produksi CPO setiap tahunnya bergantung dari energi pengolahan CPO dan jumlah kebutuhan CPO dan energi kebutuhan biodiesel bergantung dari energi pengolahan biodiesel dan jumlah kebutuhan biodiesel.

$$P_1 = (D_{CPO1} \cdot EP_{CPO}) + (D_B \cdot EP_B) + (E_{BB}) + (E_{t1}) + (E_I) \quad (3.31)$$

Adapun perhitungan kebutuhan biodiesel sama dengan skenario 1.a, tetapi untuk perhitungan kebutuhan CPO berbeda dalam hal nilai faktor konversi yang digunakan sesuai dengan Persamaan 3.32.

$$D_{CPO1} = f_{CPO1} \cdot D_B \quad (3.32)$$

Lalu berdasarkan hasil perhitungan total energi primer dan variabel pembentuknya, maka dapat dihitung energi yang dibutuhkan untuk memproduksi biodiesel per liter untuk setiap tahunnya. Adapun persamaan untuk menghitung harga biodiesel per liter dapat dilihat pada Persamaan 3.33 dan 3.34 dimana variabel-variabel pembentuknya terdiri dari energi pengolahan CPO per liter, energi pengolahan biodiesel per liter, energi *blending* per liter, dan juga total energi transportasi seluruh material per liter.

$$P_{\text{per liter1}} = EP_{CPO} + EP_B + E_{BB \text{ per liter}} + [(E_{tCPO \text{ per liter1}}) + E_{tB \text{ per liter1}}] + (E_{tBS \text{ per lite}}) \quad (3.33)$$

$$P_{\text{per liter1}} = EP_{CPO} + EP_B + E_{BB \text{ per liter}} + [(E_{tCPO1} / D_{CPO1}) + (E_{tB1} / D_B) + ((E_{tBS1} / D_S) \cdot M_B)] \quad (3.34)$$

Untuk perhitungan total energi transportasi Skenario 1.b terdiri dari perhitungan energi transportasi untuk mendistribusikan CPO, mendistribusikan biodiesel, dan mendistribusikan campuran biodiesel dengan solar sesuai dengan Persamaan 3.35.

$$E_{t1} = E_{tCPO1} + E_{tB1} + E_{tBS1} \quad (3.35)$$

Adapun rincian dari setiap variabel penyusun total biaya transportasi ini yaitu terdiri dari:

1. Energi distribusi CPO

Perhitungan energi distribusi CPO dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan CPO, energi angkut, dan jarak antara pabrik CPO dengan pabrik biodiesel sesuai Persamaan 3.36.

$$E_{iCPO1} = \sum_j S_{CPOm} \cdot energy_{-x_{11}} \cdot x_{11nm} \quad (3.36)$$

Dimana jumlah kebutuhan CPO merupakan total dari jumlah kebutuhan CPO yang diminta oleh pabrik-pabrik biodiesel yang ada sesuai dengan Persamaan 3.37, sedangkan total jumlah kebutuhan CPO yang harus dipenuhi ke setiap pabrik biodiesel yang ada bergantung dari jumlah kebutuhan biodiesel yang dipenuhi oleh pabrik tersebut dikalikan dengan faktor konversi yang ada sesuai Persamaan 3.38.

$$D_{CPO1} = \sum_j S_{CPOm} \quad (3.37)$$

$$S_{CPOm} = f_{CPO} \cdot S_{Bm} \quad (3.38)$$

Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik CPO yang dipilih. Jika lokasi berada di luar Pulau Jawa maka energi angkut akan menggunakan energi transportasi laut (kapal laut) dan jika lokasi di Pulau Jawa maka energi angkut akan menggunakan energi transportasi darat (truk).

Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan energi distribusi CPO ini dapat dilihat pada Persamaan 3.39 yaitu ketika kapasitas pabrik yang ada tidak mampu lagi memenuhi jumlah kebutuhan CPO sehingga selisih antara kapasitas pabrik CPO yang ada dengan jumlah kebutuhan CPO menjadi tidak sesuai dengan kondisi batas atau kurang dari nol, maka dalam hal ini simulasi akan berhenti memproses walaupun pada kenyataannya kebutuhan CPO yang ada telah lebih dari cukup.

$$\text{Constraints :} \quad (K_{CPO}) - (D_{CPO1}) \geq 0 \quad (3.39)$$

2. Energi distribusi biodiesel

Perhitungan energi distribusi biodiesel dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan biodiesel, energi angkut, dan jarak antara pabrik biodiesel dengan depot/unit *blending* sesuai Persamaan 3.40.

$$E_{tBI} = \sum_j S_{Bm} \cdot \text{energy}_{-x_{21} \cdot x_{21m}} \quad (3.40)$$

Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik biodiesel yang ada. Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan energi distribusi biodiesel ini dapat dilihat pada skenario 1.a yang telah dijelaskan sebelumnya.

Jika pabrik baru akan dibangun, maka akan ada penambahan energi distribusi biodiesel baru sesuai dengan Persamaan 3.41.

$$E'_{tBI} = \sum_r S_{Bf} \cdot \text{energy}_{-x_{21} \cdot x_{21f}} \quad (3.41)$$

3. Energi distribusi campuran biodiesel dengan solar

Perhitungan energi distribusi campuran biodiesel dengan solar dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan solar, energi angkut, jarak antara depot dengan lokasi SPBU yang ada di seluruh wilayah DKI Jakarta, serta persentase biodiesel yang akan dicampur dengan solar sesuai Persamaan 3.42. Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik SPBU yang ada.

$$E_{tBSI} = \left(\sum_v D_{Sw} \cdot \text{energy}_{-x_{31} \cdot x_{31w}} \right) \cdot M_B \quad (3.42)$$

Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan biaya distribusi campuran biodiesel dengan solar ini dapat dilihat pada skenario 1.a yang telah dijelaskan sebelumnya, dimana jika tidak sesuai dengan kondisi batas maka simulasi akan berhenti.

3.5.3 Formulasi Matematis Skenario 2 Alternatif a (Skenario 2.a)

Persamaan matematis pada Skenario 2.a ini secara umum sama dengan persamaan pada Skenario 1.a hanya saja jumlah demand biodiesel dan campuran biodieselnnya berbeda. Jumlah demand dipengaruhi oleh share solar yang diinginkan. Persamaan 3.43 ini digunakan untuk menghitung efisiensi life cycle dari biodiesel secara keseluruhan sesuai dengan jumlah tahun yang digunakan, serta sesuai dengan skenario dan alternatif yang dipilih yaitu Skenario 2.a.

$$\eta_{T2} = \frac{\sum_a E_p}{\sum_a P_2} \quad (3.43)$$

Adapun persamaan matematis untuk menghitung efisiensi life cycle dari biodiesel setiap tahunnya dapat dilihat pada Persamaan 3.44

$$\eta_2 = \frac{E_p}{P_2} \quad (3.44)$$

Pada persamaan tersebut terlihat bahwa efisiensi life cycle dari biodiesel ini merupakan perbandingan antara besarnya energi pembakaran yang dihasilkan oleh biodiesel dengan total energi primer yang dibutuhkan untuk memproduksi biodiesel tersebut.

Persamaan untuk menghitung emisi CO₂ yang dihasilkan secara keseluruhan dapat dilihat pada persamaan 3.45

$$\sum_a E_2 CO_2 = \sum_a (P_2 \cdot CO_{2,1}) + \sum_a (E_p \cdot CO_{2,2}) \quad (3.45)$$

Persamaan matematis 3.46 untuk menghitung akumulasi dari total energi primer biodiesel pada Skenario 2.a ini secara umum sama dengan persamaan pada Skenario 1.a.

$$\sum_a P_2 = \sum_a (E_{CPO2} + E_{OLE1} + E_{BI} + E_{BB1} + E_{t2} + E_{I1}) \quad (3.46)$$

Adapun persamaan matematis untuk menghitung total energi primer per tahun dari biodiesel dapat dilihat pada Persamaan 3.47.

$$P_2 = E_{CPO2} + E_{OLE1} + E_{BI} + E_{BB1} + E_{t2} + E_{I1} \quad (3.47)$$

Pada Persamaan 3.47 dapat dilihat bahwa total energi primer biodiesel per tahun merupakan hasil penjumlahan dari energi produksi CPO setiap tahun (suku pertama), energi produksi olein setiap tahun (suku kedua), energi produksi biodiesel setiap tahun (suku ketiga), energi *blending* setiap tahun (suku keempat), total energi transportasi untuk distribusi CPO, olein, biodiesel, serta campuran biodiesel setiap tahunnya (suku kelima), dan total energi jika terdapat penambahan infrastruktur baru (suku keenam). Hal ini serupa dengan Persamaan 3.46 hanya saja tanpa akumulasi dan dihitung secara parsial setiap tahunnya sesuai dengan proyeksi kebutuhan pada tahun tersebut.

Penjabaran dari setiap suku pada Persamaan 3.47 dapat dilihat pada Persamaan 3.48 dimana energi produksi CPO setiap tahunnya bergantung dari energi pengolahan CPO dan jumlah kebutuhan CPO, energi produksi olein bergantung dari energi pengolahan olein dan jumlah kebutuhan olein, dan energi

kebutuhan biodiesel bergantung dari energi pengolahan biodiesel dan jumlah kebutuhan biodiesel.

$$P_2 = (D_{CPO2} \cdot EP_{CPO}) + (D_{OLE1} \cdot EP_{OLE}) + (D_{B1} \cdot EP_B) + (E_{BB1}) + (E_{t2}) + (E_{t1}) \quad (3.48)$$

Adapun kebutuhan dari CPO, olein, dan biodiesel sangat bergantung dari kebutuhan solar sesuai dengan proyeksi yang dihasilkan. Lalu dari proyeksi ini akan ditetapkan berapa persentase kebutuhan solar yang ingin diambil untuk mensuplai campuran biodiesel dengan solar sesuai Persamaan 3.49.

$$D_{S1} = D_S \cdot M_S \quad (3.49)$$

Setelah didapatkan jumlah kebutuhan solar yang ingin dipenuhi maka dapat ditetapkan proyeksi dari kebutuhan CPO, olein, dan biodiesel dengan mengalikannya sesuai dengan faktor konversi yang ada dan persentase campuran biodiesel yang diinginkan sesuai dengan Persamaan 3.50, 3.51, dan 3.52 berikut.

$$D_{B1} = M_{B1} \cdot D_{S1} \quad (3.50)$$

$$D_{OLE1} = f_{OLE} \cdot D_{B1} \quad (3.51)$$

$$D_{CPO2} = f_{CPO} \cdot D_{OLE1} \quad (3.52)$$

Lalu dapat dihitung harga biodiesel per liter untuk setiap tahunnya yang serupa dengan persamaan di skenario 1.a. Dapat dilihat pada persamaan 3.53 dan 3.54.

$$P_{\text{per liter2}} = EP_{CPO} + EP_{OLE} + EP_B + E_{S \text{ per liter}} + E_{BB \text{ per liter1}} + [(E_{tCPO \text{ per liter2}}) + (E_{tOLE \text{ per liter2}}) + (E_{tB \text{ per liter2}})] \quad (3.53)$$

$$P_{\text{per liter2}} = EP_{CPO} + EP_{OLE} + EP_B + E_{S \text{ per liter}} + E_{BB \text{ per liter1}} + [(E_{tCPO2} / D_{CPO2}) + (E_{tOLE2} / D_{OLE1}) + (E_{tB2} / D_{B1})] \quad (3.54)$$

Untuk perhitungan total energi transportasi terdiri dari perhitungan energi transportasi untuk mendistribusikan CPO, mendistribusikan olein, mendistribusikan biodiesel, dan mendistribusikan campuran biodiesel dengan solar. Persamaan secara umum dari total energi transportasi ini dapat dilihat pada Persamaan 3.55.

$$E_t = E_{tCPO2} + E_{tOLE1} + E_{tB2} + E_{tBS2} \quad (3.55)$$

Adapun rincian dari setiap variabel penyusun total energi transportasi ini yaitu terdiri dari:

1. Energi distribusi CPO

Perhitungan energi distribusi CPO untuk skenario ini pada dasarnya sama dengan pada Skenario 1.a , tetapi hanya berbeda dalam hal jumlah kebutuhan CPO yang harus dipenuhi sesuai dengan Persamaan 3.56.

$$E_{iCPO2} = D_{CPO2} \cdot energy_{x_1 \cdot x_{1n}} \quad (3.56)$$

Begitu juga dalam hal batasan (*constraints*) dalam perhitungan energi distribusi CPO pada Persamaan 3.57 seperti pada persamaan di skenario 1.a dimana jika tidak sesuai dengan kondisi batas maka simulasi akan berhenti, tetapi hanya berbeda dalam hal jumlah kebutuhan CPO yang harus dipenuhi.

$$Constraints : \quad (K_{CPO}) - (D_{CPO2}) \geq 0 \quad (3.57)$$

2. Energi distribusi olein

Perhitungan energi distribusi olein untuk skenario ini pada dasarnya sama dengan pada Skenario 1.a, tetapi hanya berbeda dalam hal jumlah kebutuhan olein yang harus dipenuhi sesuai dengan Persamaan 3.58.

$$E_{iOLE1} = \sum_j S_{OLE1m} \cdot energy_{x_2 \cdot x_{2um}} \quad (3.58)$$

Dimana untuk jumlah kebutuhan olein sesuai dengan Persamaan 3.59 sedangkan total jumlah kebutuhan olein yang harus dipenuhi ke setiap pabrik biodiesel yang ada sesuai Persamaan 3.60.

$$D_{OLE1} = \sum_j S_{OLE1m} \quad (3.59)$$

$$S_{OLE1} = f_{OLE} \cdot S_{B1m} \quad (3.60)$$

Begitu pula dalam hal batasan (*constraints*) yang digunakan, dimana jika tidak sesuai dengan kondisi batas maka simulasi akan berhenti, mirip seperti persamaan di skenario 1.a tetapi hanya berbeda dalam jumlah kebutuhan olein yang harus dipenuhi sesuai dengan Persamaan 3.61 berikut.

$$Constraints : \quad (K_{OLE}) - (D_{OLE1}) \geq 0 \quad (3.61)$$

3. Energi distribusi biodiesel

Perhitungan energi distribusi biodiesel untuk skenario ini pada dasarnya sama dengan pada Skenario 1.a , tetapi hanya berbeda dalam hal jumlah kebutuhan olein yang harus dipenuhi sesuai dengan Persamaan 3.62.

$$E_{tB2} = \sum_j S_{B1m} \cdot energy_{-x_3} \cdot x_{3m} \quad (3.62)$$

Kemudian untuk jumlah kebutuhan biodiesel merupakan total jumlah dari kebutuhan biodiesel yang dipasok oleh seluruh pabrik biodiesel yang ada sesuai dengan Persamaan 3.63. Adapun batasannya dapat dilihat pada persamaan 3.64

$$D_{B1} = \sum_j S_{B1m} \quad (3.63)$$

$$\text{Constraints :} \quad \left(\sum_j K_B \right) - (D_{B1}) \geq 0 \quad (3.64)$$

Adapun sebelum dilakukan pembangunan infrastruktur baru akan dihitung biaya yang harus dikeluarkan setiap tahunnya akibat dari investasi yang dilakukan dan besarnya penjualan setiap tahun. Jika pabrik baru akan dibangun, maka akan ada penambahan energi distribusi biodiesel baru sesuai dengan Persamaan 3.65.

$$E'_{tB2} = \sum_r S_{B1f} \cdot energy_{-x_3} \cdot x_{3f} \quad (3.65)$$

Untuk menentukan banyaknya jumlah pabrik biodiesel baru yang dibangun yaitu berdasarkan selisih antara jumlah kebutuhan biodiesel dengan kapasitas pabrik biodiesel yang ada dan kemudian dibagi dengan kapasitas pabrik biodiesel baru yang akan dibangun dengan pembulatan ke atas sesuai dengan Persamaan 3.66.

$$f_1 = [(D_{B1}) - \left(\sum_j K_B \right)] \cdot (1 / K_{B \text{ baru}}) \quad (3.66)$$

4. Energi distribusi campuran biodiesel dengan solar

Perhitungan energi distribusi campuran biodiesel dengan solar pada dasarnya sama dengan persamaan pada Skenario 1.a, tetapi hanya berbeda dalam hal jumlah kebutuhan campuran biodiesel dengan solar yang harus dipenuhi sesuai dengan Persamaan 3.67.

$$E_{tBS2} = \left(\sum_v D_{S1w} \cdot energy_{-x_4} \cdot x_{41w} \right) \cdot M_{B1} \quad (3.67)$$

Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan biaya distribusi campuran biodiesel dengan solar ini dapat dilihat pada Persamaan 3.68, dimana jika tidak sesuai dengan kondisi batas maka simulasi akan berhenti.

$$\text{Constraints :} \quad (K_{BS}) - (D_{S1}) \geq 0 \quad (3.68)$$

3.5.4 Formulasi Matematis Skenario 2 Alternatif b (Skenario 2.b)

Persamaan matematis pada Skenario 2.b ini secara umum sama dengan persamaan pada Skenario 2.a hanya saja tidak memperhitungkan energi produksi dan distribusi olein karena rantai suplai yang digunakan dari pabrik CPO langsung menuju pabrik biodiesel. Persamaan 3.69 ini digunakan untuk menghitung efisiensi life cycle dari biodiesel secara keseluruhan sesuai dengan jumlah tahun yang digunakan, serta sesuai dengan skenario dan alternatif yang dipilih yaitu Skenario 2.b.

$$\eta_{T3} = \frac{\sum_a E_p}{\sum_a P_3} \quad (3.69)$$

Adapun persamaan matematis untuk menghitung efisiensi life cycle dari biodiesel setiap tahunnya dapat dilihat pada Persamaan 3.70

$$\eta_3 = \frac{E_p}{P_3} \quad (3.70)$$

Pada persamaan tersebut terlihat bahwa efisiensi life cycle dari biodiesel ini merupakan perbandingan antara besarnya energi pembakaran yang dihasilkan oleh biodiesel dengan total energi primer yang dibutuhkan untuk memproduksi biodiesel tersebut.

Persamaan untuk menghitung emisi CO₂ yang dihasilkan secara keseluruhan dapat dilihat pada persamaan 3.71

$$\sum_a E_3 CO_2 = \sum_a (P_3 \cdot CO_{2_1}) + \sum_a (E_p \cdot CO_{2_2}) \quad (3.71)$$

Persamaan matematis 3.72 untuk menghitung akumulasi dari total energi primer biodiesel pada Skenario 2.b ini tidak memperhitungkan biaya kebutuhan dan distribusi olein karena rantai suplai yang digunakan dari pabrik CPO langsung menuju pabrik biodiesel.

$$\sum_a P_3 = \sum_a (E_{CPO3} + E_{B1} + E_{BB1} + E_{B3} + E_{I1}) \quad (3.72)$$

Adapun persamaan matematis untuk menghitung total energi primer per tahun dari biodiesel dapat dilihat pada Persamaan 3.73.

$$P_3 = E_{CPO3} + E_{B1} + E_{BB1} + E_{t3} + E_{I1} \quad (3.73)$$

Pada Persamaan 3.73 dapat dilihat bahwa total energi primer biodiesel per tahun merupakan hasil penjumlahan dari energi produksi CPO setiap tahun (suku pertama), energi produksi biodiesel setiap tahun (suku kedua), energi *blending* setiap tahun (suku ketiga), total energi transportasi untuk distribusi CPO, biodiesel, serta campuran biodiesel setiap tahunnya (suku keempat), dan total energi jika terdapat penambahan infrastruktur baru (suku kelima). Hal ini serupa dengan Persamaan 3.72 hanya saja tanpa akumulasi dan dihitung secara parsial setiap tahunnya sesuai dengan proyeksi kebutuhan pada tahun tersebut.

Penjabaran dari setiap suku pada Persamaan 3.73 dapat dilihat pada persamaan 3.74 dimana energi produksi CPO setiap tahunnya bergantung dari energi pengolahan CPO dan jumlah kebutuhan CPO dan energi produksi biodiesel bergantung dari energi pengolahan biodiesel dan jumlah kebutuhan biodiesel.

$$P_3 = (D_{CPO3} \cdot EP_{CPO}) + (D_{B1} \cdot EP_B) + (E_{BB1}) + (E_{t3}) + (E_{I1}) \quad (3.74)$$

Adapun perhitungan kebutuhan biodiesel sama dengan persamaan pada skenario 2.a, tetapi untuk perhitungan kebutuhan CPO berbeda dalam nilai hal faktor konversi yang digunakan sesuai dengan Persamaan 3.75.

$$D_{CPO3} = f_{CPO1} \cdot D_B \quad (3.75)$$

Lalu berdasarkan hasil perhitungan energi primer dan variabel pembentuknya, maka dapat dihitung energi yang dibutuhkan untuk memproduksi biodiesel per liter untuk setiap tahunnya yang sesuai dengan Persamaan 3.76 dan 3.77.

$$P_{\text{per liter3}} = EP_{CPO} + EP_B + E_{BB \text{ per liter1}} + [(E_{tCPO \text{ per liter3}}) + (E_{tB \text{ per liter3}}) + (E_{tBS \text{ per liter3}})] \quad (3.76)$$

$$P_{\text{per liter3}} = EP_{CPO} + EP_B + E_{BB \text{ per liter1}} + [(E_{tCPO3} / D_{CPO3}) + (E_{tB3} / D_{B1}) + ((E_{tBS3} / D_{S1}) \cdot M_{B1})] \quad (3.77)$$

Untuk perhitungan total energi transportasi Skenario 2.b terdiri dari perhitungan energi transportasi untuk mendistribusikan CPO, mendistribusikan

biodiesel, dan mendistribusikan campuran biodiesel dengan solar sesuai dengan Persamaan 3.78.

$$E_{t3} = E_{tCPO3} + E_{tB3} + E_{tBS3} \quad (3.78)$$

Adapun rincian dari setiap variabel penyusun total energi transportasi ini yaitu terdiri dari:

1. Energi distribusi CPO

Perhitungan energi distribusi CPO dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan CPO, energi angkut, dan jarak antara pabrik CPO dengan pabrik biodiesel sesuai Persamaan 3.79.

$$E_{tCPO3} = \sum_j S_{CPO1m} \cdot energy_{x_{11}} \cdot x_{11jm} \quad (3.79)$$

Dimana jumlah kebutuhan CPO merupakan total dari jumlah kebutuhan CPO yang diminta oleh pabrik-pabrik biodiesel yang ada sesuai dengan Persamaan 3.80. sedangkan total jumlah kebutuhan CPO yang harus dipenuhi ke setiap pabrik biodiesel yang ada bergantung dari jumlah kebutuhan biodiesel yang dipenuhi oleh pabrik tersebut dikalikan dengan faktor konversi yang ada sesuai Persamaan 3.81. Adapun batasannya dapat dilihat pada persamaan 3.82

$$D_{CPO3} = \sum_j S_{CPO1m} \quad (3.80)$$

$$S_{CPO1m} = f_{CPO1} \cdot S_{B1m} \quad (3.81)$$

$$\text{Constraints :} \quad (K_{CPO}) - (D_{CPO3}) \geq 0 \quad (3.82)$$

2. Energi distribusi biodiesel

Perhitungan energi distribusi biodiesel dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan biodiesel, energi angkut, dan jarak antara pabrik biodiesel dengan depot/unit *blending* sesuai Persamaan 3.83.

$$E_{tB3} = \sum_j S_{B1m} \cdot energy_{x_{21}} \cdot x_{21jm} \quad (3.83)$$

Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik biodiesel yang ada. Kemudian untuk perhitungan jumlah kebutuhan biodiesel sesuai dengan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya. Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan biaya distribusi biodiesel ini dapat dilihat pada persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya, dimana jika tidak sesuai dengan kondisi batas maka akan dilakukan pembangunan pabrik baru.

Adapun sebelum dilakukan pembangunan infrastruktur baru akan dihitung biaya yang harus dikeluarkan setiap tahunnya akibat dari investasi yang dilakukan dan besarnya penjualan setiap tahun. Jika pabrik baru akan dibangun, maka akan ada penambahan energi distribusi biodiesel baru sesuai dengan Persamaan 3.84 yang secara umum sama dengan Persamaan 3.82.

$$E_{tB3}' = \sum_r S_{B1f} \cdot \text{energy}_{-x_{21} \cdot x_{21f}} \quad (3.84)$$

Untuk menentukan banyaknya jumlah pabrik biodiesel baru yang dibangun sesuai dengan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya.

3. Energi distribusi campuran biodiesel dengan solar

Perhitungan energi distribusi campuran biodiesel dengan solar dipengaruhi oleh jumlah kebutuhan solar, energi angkut, jarak antara depot dengan lokasi SPBU yang ada di seluruh wilayah DKI Jakarta, serta persentase biodiesel yang akan dicampur dengan solar sesuai Persamaan 3.85. Untuk energi angkut dan jarak angkut akan bergantung dari lokasi pabrik SPBU yang ada.

$$E_{tBS3} = \left(\sum_v D_{S1w} \cdot \text{energy}_{-x_{31} \cdot x_{32w}} \right) \cdot M_{B1} \quad (3.85)$$

Adapun batasan (*constraints*) dalam perhitungan biaya distribusi campuran biodiesel dengan solar ini dapat dilihat pada persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya, dimana jika tidak sesuai dengan kondisi batas maka simulasi akan berhenti.

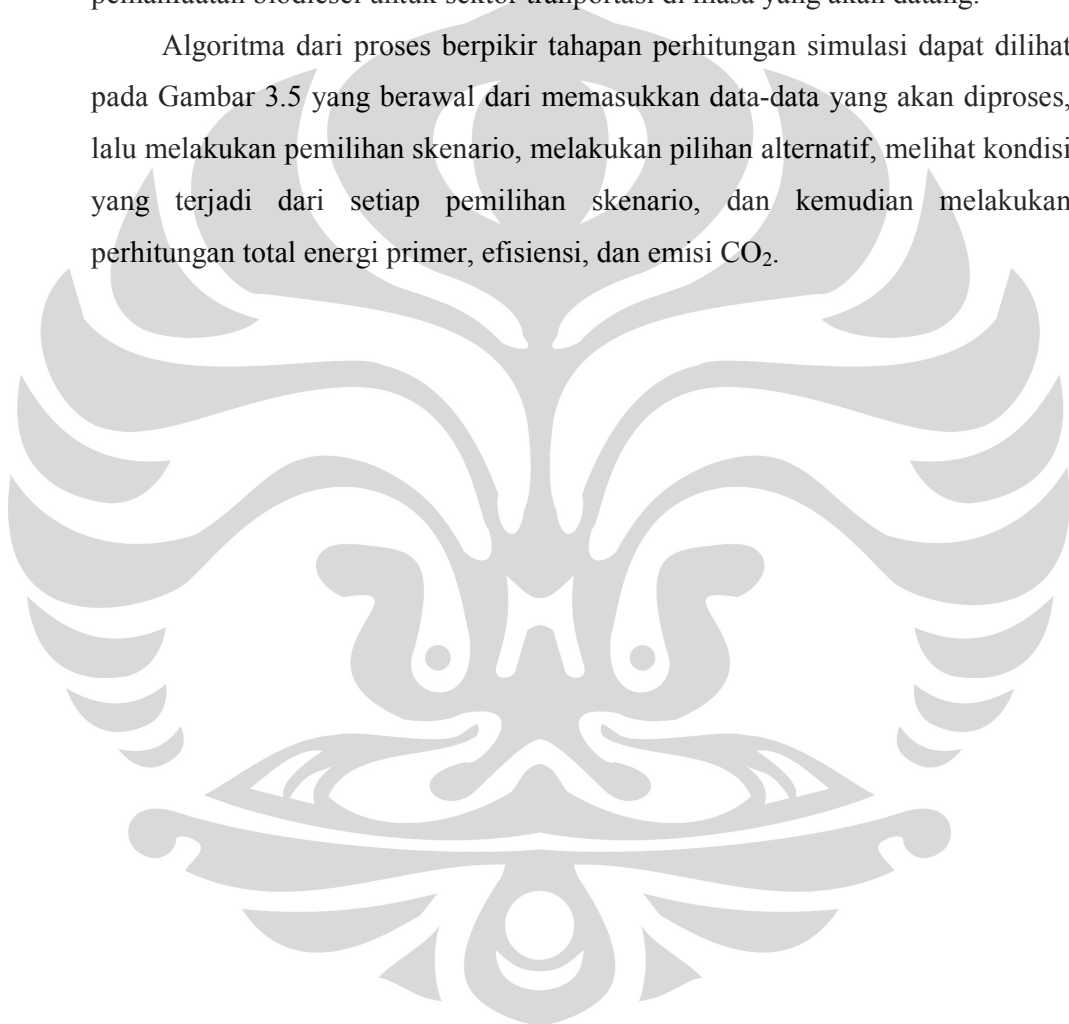
3.6 SIMULASI MODEL

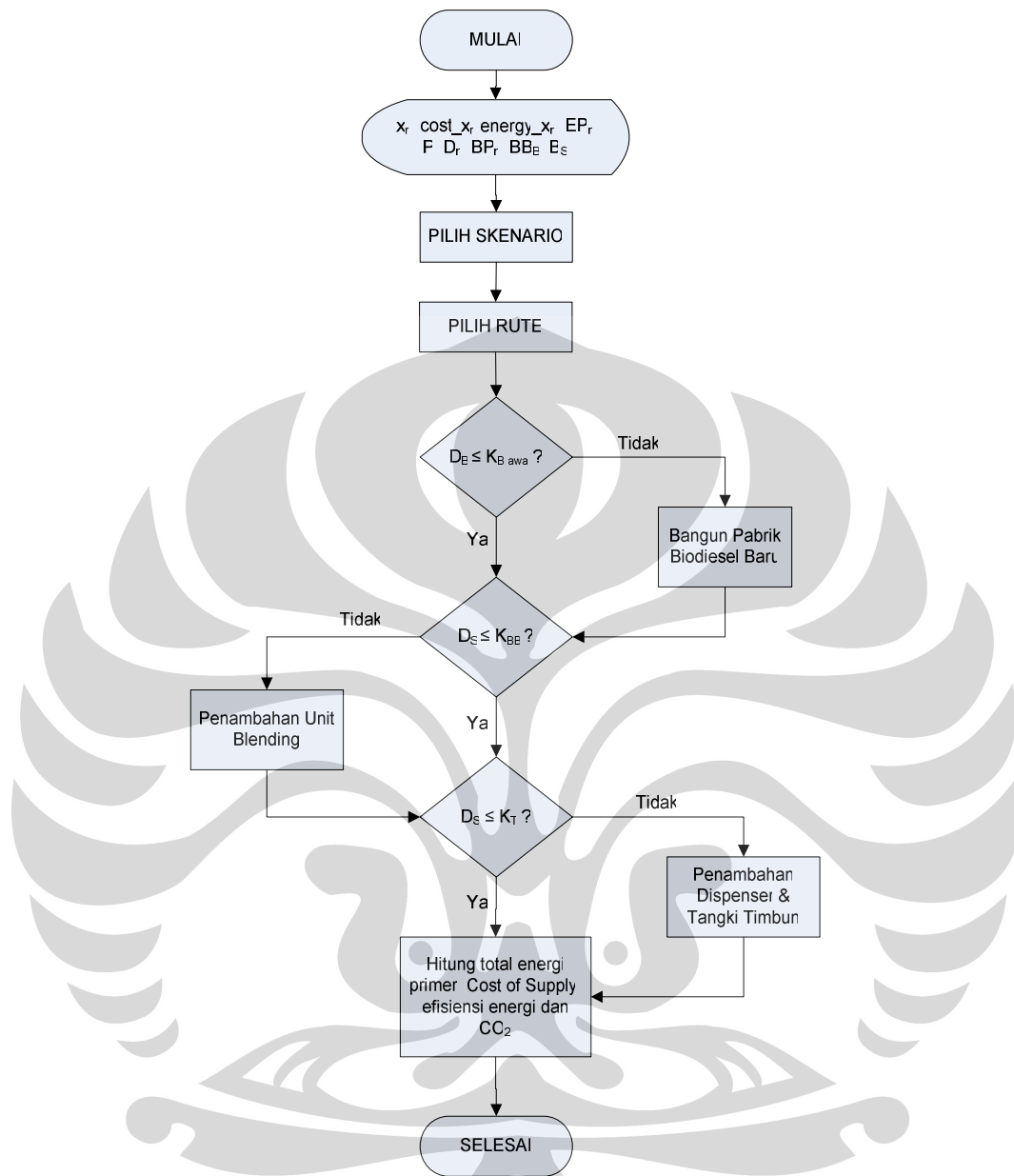
Dalam simulasi ini akan digunakan dua buah skenario dengan masing-masing skenario memiliki dua buah alternatif proses rantai suplai. Adapun masukan (*input*) dari simulasi ini diantaranya yaitu persen campuran biodiesel, pemilihan pabrik CPO, pemilihan pabrik olein, persentase campuran biodiesel dalam BBM solar, persentase pemenuhan kebutuhan campuran biodiesel dengan solar dari kebutuhan BBM solar, harga CPO, energi dan biaya angkut transportasi, energi dan biaya *blending*, energi dan biaya pengolahan olein dan biodiesel, serta energi dan biaya penyimpanan pada SPBU.

Adapun solusi atau output dari setiap model matematis yang dibuat adalah energi efisiensi per tahun, jumlah emisi CO₂ yang dihasilkan, biaya suplai per

tahun mulai dari tahun 2006 sampai tahun 2025, akumulasi biaya suplai sampai tahun 2025, harga biodiesel per liter, dan kondisi infrastruktur. Dari sini kita dapat melakukan analisa hal-hal apa saja yang dapat mempengaruhi efisiensi energi dan biaya suplai tersebut dan bagaimana dampak lingkungan dalam hal ini emisi CO₂ dalam pengembangan biodiesel, serta bagaimana kondisi infrasturktur yang ada sehingga dapat dihasilkan suatu rekomendasi untuk perkembangan pemanfaatan biodiesel untuk sektor tranportasi di masa yang akan datang.

Algoritma dari proses berpikir tahapan perhitungan simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.5 yang berawal dari memasukkan data-data yang akan diproses, lalu melakukan pemilihan skenario, melakukan pilihan alternatif, melihat kondisi yang terjadi dari setiap pemilihan skenario, dan kemudian melakukan perhitungan total energi primer, efisiensi, dan emisi CO₂.





Gambar 3. 5 Algoritma permodelan simulasi daur hidup energi dan rantai suplai biodiesel

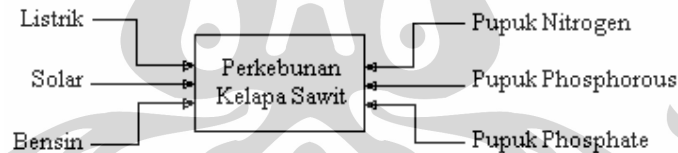
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 ANALISIS DASAR PENGOLAHAN DATA

Dari data sekunder yang ada diolah menjadi data siap pakai untuk melakukan simulasi. Pada bagian ini akan dijelaskan batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini, data-data apa saja yang akan dipakai dalam proses penanaman kelapa sawit hingga terbentuknya biodiesel. Data-data wilayah, peralatan awal dan bahan pendukung didapat dari sumber sekunder. Perhitungan kesetimbangan energi proses dalam penelitian ini didasarkan kepada hasil penelitian analisis life cycle minyak kedelai menjadi biodiesel di Amerika Serikat.

Tanaman kelapa sawit adalah tanaman yang membutuhkan pasokan nutrisi yang cukup banyak. Semakin kritis lahannya semakin banyak pupuk yang dibutuhkan untuk dapat membuahkannya kelapa sawit. Untuk sistem perkebunan di Indonesia pemakaian bahan bakar dan listrik adalah untuk penggunaan kendaraan, traktor dan penerangan. Gambar 4.1 mendeskripsikan model dari perkebunan kelapa sawit yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.1 Model Sistem Perkebunan Kelapa Sawit

Jika data diolah akan didapatkan kebutuhan pupuk per kilogram kelapa sawit seperti pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Pemupukan per Kilogram Kelapa Sawit

Pupuk	g/pohon	kg pupuk/kg sawit	MJ/kg	MJ/kg sawit
N	2255	0,226	48,900	11,027
P	3125	0,313	17,430	5,447
K	1291	0,129	10,380	1,340
Mg	1130	0,113	2,320	0,262

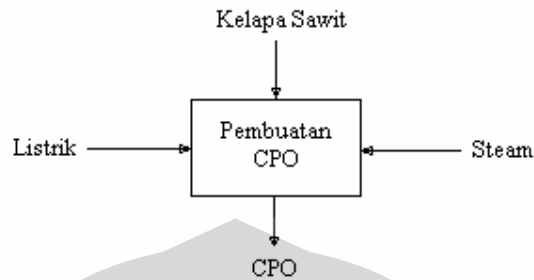
Data pada kolom MJ/kg menunjukkan besar energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kilogram pupuk yang dimaksud atau bisa juga dikatakan sebagai kandungan energi per kilogram pupuk. Data energi ini diambil dari US Dept of Energy, 2004. Dengan demikian dapat kita simpulkan, untuk menghasilkan 1 kg kelapa sawit dibutuhkan energi sebesar 18,076 MJ dari pupuk yang digunakan. Untuk menghasilkan 1 kg kelapa sawit dibutuhkan energi sebesar 0,981 MJ dari bahan bakar diesel yang digunakan. Sehingga untuk menghasilkan 1 kg kelapa sawit dibutuhkan energi sebesar 0,019 MJ dari listrik yang digunakan.

Total energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg kelapa sawit adalah penjumlahan dari energi yang berasal dari pupuk, energi listrik dan energi bahan bakar yaitu sebesar 19,076 MJ. Satu kilogram kelapa sawit dapat menghasilkan 0,95 kg minyak kelapa sawit dengan massa jenis 0.88 kg/liter. Energi yang dibutuhkan untuk membuat 1 liter kelapa sawit adalah 17,67 MJ/liter, nilai ini didapat dengan mengalikan total energi perkilogram dengan fraksi dan massa jenis.

Tandan buah segar yang dihasilkan dari perkebunan kelapa sawit siap diolah menjadi minyak kelapa sawit (CPO). Pada bagian ini akan dijelaskan tentang bagaimana pembuatan CPO dimodelkan dalam analisis ini. Untuk membuat 0,21 kg CPO dibutuhkan energi listrik sebesar 0,31 MJ sebagai sumber energi gerak benda-benda berputar dan penerangan. Pada proses perebusan (sterilizer) menggunakan uap air dengan tekanan $2,6 \text{ kg/cm}^2$ yang setara dengan 1,1 MJ. Total energi yang dibutuhkan untuk membuat 0,21 kg CPO adalah penjumlahan energi listrik dengan uap air yaitu sebesar 1,41 MJ. Dengan massa jenis 0,88 kg/liter didapatkan total energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 liter minyak kelapa sawit yaitu sebesar 5,908 MJ. Gambar 4.2 mendeskripsikan model dari proses pembuatan CPO yang digunakan dalam penelitian ini. Perhitungan kesetimbangan energi proses dalam penelitian ini didasarkan kepada hasil penelitian analisis life cycle minyak kedelai menjadi biodiesel di Amerika Serikat.

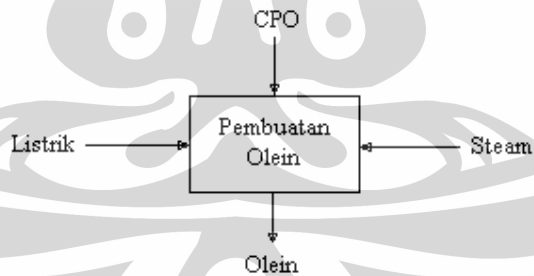
Dalam penelitian ini diasumsikan jarak antara perkebunan kelapa sawit dan tempat pengolahannya menjadi CPO tidak begitu jauh. Maka energi

pengolahan CPO yang didapatkan adalah hasil penjumlahan dari proses perkebunan dan pembuatan CPO adalah sebesar 23,578 MJ/L.



Gambar 4.2 Model Sistem Pembuatan CPO

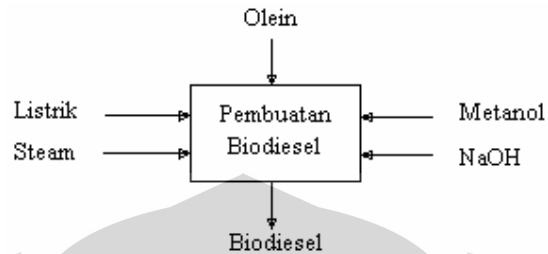
Pada Skenario Alternatif a CPO yang dihasilkan akan dikonversi menjadi olein sebelum diproses menjadi biodiesel. Olein (palm olein) adalah fraksi cair yang merupakan hasil fraksionasi dari CPO setelah dikristalisasi pada temperatur tertentu. Gambar 4.3 mendeskripsikan model dari proses pembuatan olein yang digunakan dalam penelitian ini. Perhitungan kesetimbangan energi proses dalam penelitian ini didasarkan kepada hasil penelitian analisis life cycle minyak kedelai menjadi biodiesel di Amerika Serikat. Dari hasil perhitungan didapatkan total energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 liter olein adalah sebesar 2,608 MJ.



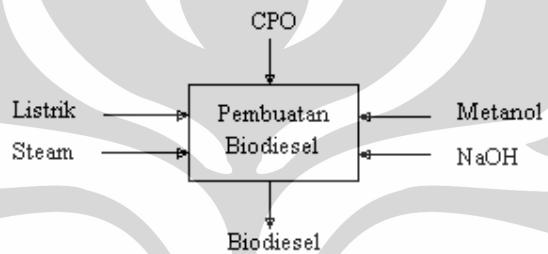
Gambar 4.3 Model Sistem Pembuatan Olein

Olein yang diperoleh akan dikonversi menjadi biodiesel. Gambar 4.4 mendeskripsikan model dari proses pembuatan biodiesel yang digunakan dalam penelitian ini. Dari hasil perhitungan didapatkan total energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 liter biodiesel dari CPO adalah sebesar 4,46 MJ. Pada Skenario Alternatif b biodiesel dibuat dengan bahan baku CPO. Gambar 4.5

mendeskripsikan model dari proses pembuatan biodiesel yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4.4 Model Sistem Pembuatan Biodiesel dari Olein



Gambar 4.5 Model Sistem Pembuatan Biodiesel dari CPO

Pada Skenario Alternatif b kelapa sawit yang telah diolah menjadi CPO akan langsung dikonversi menjadi biodiesel. Untuk memodelkan proses konversi CPO ini diambil komponen utama dalam proses yaitu metanol, NaOH, listrik dan uap air (steam). Untuk membuat 0,20 kg biodiesel dibutuhkan energi listrik sebesar 0,021 MJ sebagai sumber energi gerak benda-benda berputar dan penerangan. Untuk memanaskan biodiesel dan distilasi digunakan uap air (steam) sebesar 0,27 MJ. Energi yang dibutuhkan untuk membentuk metanol dan NaOH yang diperlukan dalam proses adalah sebesar 0,72 dan 0,01 MJ.

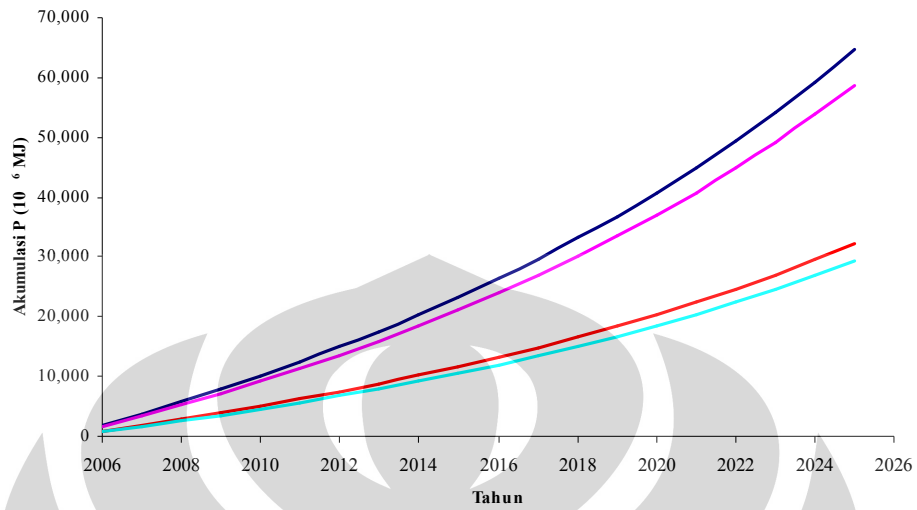
Total energi yang dibutuhkan untuk membuat 0,20 kg biodiesel adalah penjumlahan energi listrik, uap air dan bahan pendukung yang digunakan yaitu sebesar 1,41 MJ. Dengan massa jenis 0,88 kg/liter didapatkan total energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 liter minyak kelapa sawit yaitu sebesar 4,46 MJ. Pada tahap konversi biodiesel ini energi yang terkandung didalam minyak kelapa sawit ikut diperhitungkan yaitu sebesar 19,3 MJ. Total energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 liter biodiesel dari CPO adalah penjumlahan

dari energi proses dan energi yang terkandung dalam minyak kelapa sawit yaitu sebesar 23,76 MJ.

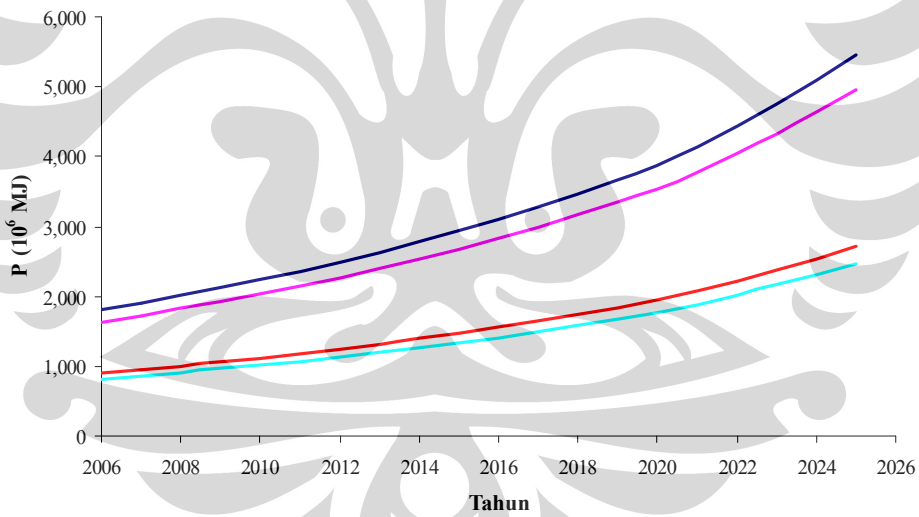
4.2 ANALISIS TOTAL ENERGI PRIMER BIODIESEL

Total energi primer yang didapat untuk setiap skenario dan alternatif berbeda-beda. Dalam perhitungan total energi primer, energi-energi yang digunakan seperti energi pengolahan dan energi angkut diasumsikan sama setiap tahunnya. Total energi primer akan dilihat dengan mengambil dua buah studi kasus. Grafik pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 adalah hasil simulasi dengan pasokan CPO utama di Sumatera Selatan dengan cadangan CPO di Jawa Barat, pabrik olein Asian Agri di Marunda, dan pabrik biodiesel Eterindo di tangerang sebagai studi kasus yang pertama. Studi kasus yang kedua mengambil simulasi dengan pasokan CPO utama di Sumatera Utara dengan cadangan CPO di Jawa Barat, pabrik olein Asian Agri di Marunda, dan pabrik biodiesel Eterindo di tangerang dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9. Studi kasus yang digunakan adalah skenario pilihan pasokan CPO utama dengan kapasitas dan jarak yang berbeda.

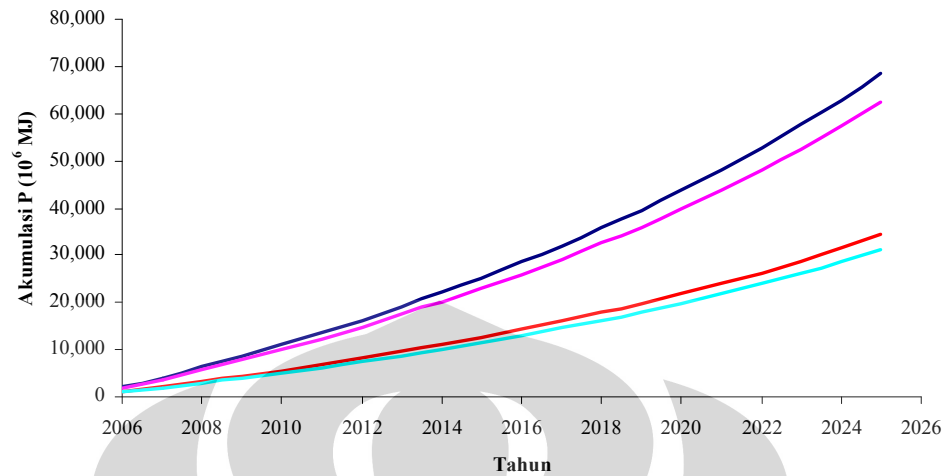
Pada setiap skenario dan alternatif pada kedua studi kasus didapatkan bahwa akumulasi total energi primer dan total energi primer setiap tahunnya selalu mengalami peningkatan, hal ini dikarenakan permintaan atau kebutuhan biodiesel yang juga selalu meningkat setiap tahunnya berdasarkan hasil proyeksi yang telah dilakukan sehingga menyebabkan energi yang harus dikeluarkan untuk memenuhi kenaikan permintaan ini juga akan meningkat.



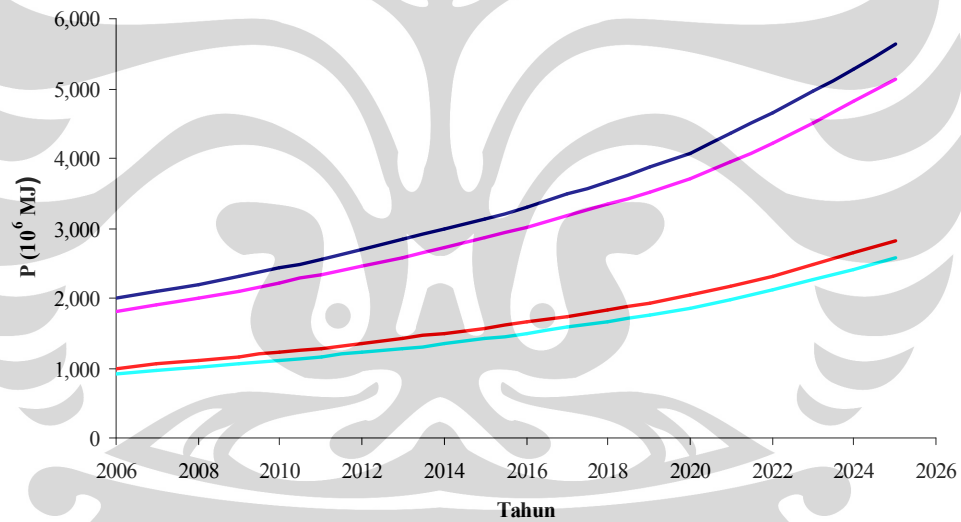
Gambar 4. 6 Akumulasi total energi primer biodiesel (Sumsel-Jabar)
 (— Skenario 1.a; — Skenario 2.a; — Skenario 1.b; — Skenario 2.b)



Gambar 4. 7 Total energi primer biodiesel per tahun (Sumsel-Jabar)
 (— Skenario 1.a; — Skenario 2.a; — Skenario 1.b; — Skenario 2.b)



Gambar 4. 8 Akumulasi total energi primer biodiesel (Sumut-Jabar)
 (— Skenario 1.a; — Skenario 2.a; — Skenario 1.b; — Skenario 2.b)



Gambar 4. 9 Total energi primer biodiesel per tahun (Sumut-Jabar)
 (— Skenario 1.a; — Skenario 2.a; — Skenario 1.b; — Skenario 2.b)

Berdasarkan hasil perhitungan dari tiap skenario dan alternatifnya untuk kedua studi kasus, didapatkan bahwa akumulasi total energi primer dan total energi primer per tahun terendah diperoleh pada Skenario 2.b. Hal ini dikarenakan jumlah kebutuhan biodiesel yang harus dipenuhi lebih sedikit jika dibandingkan Skenario 1 dimana biodiesel bertindak sebagai pengganti solar sepenuhnya

sehingga. Selain itu, rantai suplai yang digunakan adalah yang paling pendek dimana CPO langsung digunakan sebagai bahan baku biodiesel tanpa melalui proses produksi olein. Skenario 2.a memiliki jumlah kebutuhan biodiesel yang sama dengan Skenario 2.b karena biodiesel bertindak sebagai bahan bakar alternatif. Dengan kebutuhan biodiesel yang sama Skenario 2.a menempati peringkat kedua terendah karena dalam rantai suplainya terdapat proses konversi menjadi olein.

Skenario yang menghasilkan akumulasi total energi primer dan total energi primer per tahun tertinggi adalah Skenario 1.a lalu yang kedua tertinggi adalah Skenario 1.b. Hal ini dikarenakan pada Skenario 1, biodiesel bertindak sebagai pengganti solar sepenuhnya sehingga jumlah kebutuhan biodiesel yang harus dipenuhi sebanding dengan permintaan akan solar. Akumulasi total energi primer dan total energi primer per tahun pada Skenario 1.b lebih rendah jika dibandingkan dengan Skenario 1.a karena CPO langsung digunakan sebagai bahan baku biodiesel tanpa melalui proses produksi olein.

Perbedaan antara kedua studi kasus adalah pada besar nilainya, studi kasus pasokan CPO utama Sumatera Utara memiliki nilai total energi primer dan akumulasi total energi primer yang lebih besar dibandingkan dengan studi kasus pasokan CPO di Sumatera Selatan. Data pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 menunjukkan nilai total energi primer dan akumulasinya untuk setiap skenario, alternatif dan studi kasus yang berbeda. Data yang diambil adalah data pada tahun 2006 dan tahun 2025.

Tabel 4.2 Total Energi Primer per tahun

Pasokan CPO	Tahun	Skenario 1.a	Skenario 1.b	Skenario 2.a	Skenario 2.b
Sumsel-Jabar	2006	1.801	1.635	901	818
	2025	5.450	4.958	2.725	2.479
selisih		3.649	3.323	1.825	1.662
Sumut-Jabar	2006	1.997	1.815	999	908
	2025	5.646	5.139	2.823	2.570
selisih		3.649	3.324	1.825	1.662

Tabel 4.3 Akumulasi Total Energi Primer per tahun

Pasokan CPO	Tahun	Skenario 1.a	Skenario 1.b	Skenario 2.a	Skenario 2.b
-------------	-------	--------------	--------------	--------------	--------------

Sumsel-Jabar	2006	1.801	1.635	900	817
	2025	64.620	58.754	32.310	29.377
selisih		62.819	57.119	31.409	28.559
Sumut-Jabar	2006	1.997	1.815	998	907
	2025	68.549	62.366	34.274	31.183
selisih		66.552	60.551	33.276	30.275

Nilai total energi primer untuk Skenario 1 Alternatif a studi kasus Sumut-Jabar pada tahun 2006 adalah 1.997 MJ. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan total energi primer Sumsel-Jabar yang sebesar 1.801 MJ. Perbedaan nilai sebesar 196 MJ ini disebabkan oleh adanya perbedaan jarak antara Sumatera Utara dan Sumatera Selatan.

Pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 terdapat baris selisih, selisih di tabel tersebut adalah perbedaan nilai antara total energi primer dan akumulasinya pada tahun 2025 dengan tahun 2006. Total energi primer per tahun memiliki nilai selisih yang sama pada skenario dan alternatif yang sama dengan studi kasus yang berbeda. Adanya persamaan nilai ini dikarenakan data kebutuhan biodiesel yang harus dipenuhi besarnya sama pada setiap studi kasus, sehingga untuk nilai total energi primer yang berbeda didapatkan selisih yang sama. Nilai selisih yang sama tidak berlaku untuk akumulasi total energi primer. Pada Skenario 1 Alternatif a studi kasus Sumut-Jabar selisih akumulasinya lebih besar dibanding dengan selisih pada Sumsel-Jabar. Perbedaan selisih ini diakibatkan oleh perbedaan besarnya nilai total energi primer per tahun antara kedua studi kasus. Akumulasi adalah penjumlahan dari total energi primer setiap tahun. Dengan nilai total energi primer studi kasus Sumut-Jabar yang lebih besar daripada Sumsel-Jabar, akumulasinya pun akan lebih besar. Sehingga menyebabkan adanya perbedaan selisih akumulasi pada studi kasus yang berbeda walaupun memiliki selisih total energi primer yang sama.

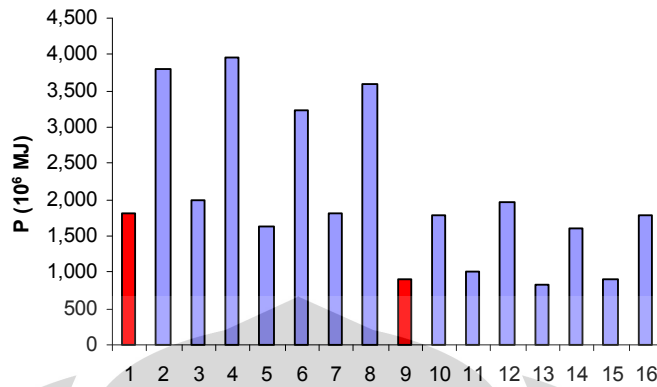
4.3 ANALISIS ENERGI PRIMER PERLITER DAN BIAYA PER LITER

Total energi primer per liter adalah energi yang dibutuhkan untuk membentuk 1 liter biodiesel. Total biaya per liter adalah biaya yang dibutuhkan untuk membentuk 1 liter biodiesel. Data-data untuk energi primer per liter dan biaya per liter dapat dilihat pada Tabel 4.4

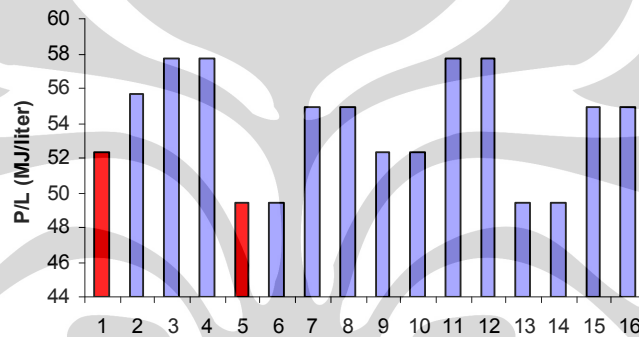
Tabel 4.4 Total Energi Primer, Energi Primer per Liter dan Biaya per Liter

	Pasokan CPO	M	P th 2006	P/L	Z/L
Skenario 1.a	Sumsel-Jabar	5%	1.801	52,29	5.951
		10%	3.804	55,64	6.480
	Sumut-Jabar	5%	1.997	57,74	6.813
		10%	3.956	57,75	6.813
Skenario 1.b	Sumsel-Jabar	5%	1.635	49,45	5.041
		10%	3.232	49,45	5.043
	Sumut-Jabar	5%	1.815	54,91	5.903
		10%	3.593	54,91	5.903
Skenario 2.a	Sumsel-Jabar	5%	900	52,29	5.989
		10%	1.781	52,29	5.989
	Sumut-Jabar	5%	998	57,74	6.851
		10%	1.978	57,75	6.851
Skenario 2.b	Sumsel-Jabar	5%	817	49,45	5.079
		10%	1.616	49,45	5.080
	Sumut-Jabar	5%	907	54,91	5.941
		10%	1.796	54,91	5.942

Data pada Tabel 4.4 diambil dari hasil simulasi untuk setiap skenario, alternatif dan studi kasus yang berbeda untuk tahun 2006. Nilai total energi primer pada Skenario 1 Alternatif a studi kasus Sumsel-Jabar adalah 1.801 MJ sedangkan pada Skenario 2 Alternatif a adalah 900 MJ. Perbedaan nilai ini terjadi karena pembagian kebutuhan solar pada Skenario 2 bernilai 50% sehingga nilai total energi primer per tahun pada Skenario 2.a adalah setengah kalinya nilai total energi primer per tahun pada Skenario 1.a. Nilai dan posisinya dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Total energi primer biodiesel tahun 2006



Gambar 4.11 Total energi primer per liter biodiesel tahun 2006

Total energi primer per liter pada setiap alternatif dan studi kasus yang sama dengan skenario yang berbeda adalah sama. Perbedaan antara skenario 1 dan skenario 2 adalah pada jumlah kebutuhan biodiesel yang harus dipenuhi tetapi kalau dilihat per liternya, energi yang dibutuhkan untuk membuat 1 liter biodiesel adalah sama. Berbeda dengan total energi primer per liter, nilai biaya per liter pada Skenario 1 Alternatif a studi kasus Sumsel-Jabar adalah Rp. 5.951,- sedangkan pada Skenario 2 Alternatif a adalah Rp.5.989,-. Dapat dilihat bahwa untuk setiap alternatif dan studi kasus yang sama dengan skenario yang berbeda nilainya adalah berbeda. Pada Skenario 2 biayanya lebih besar dibandingkan Skenario 1, hal ini dikarenakan walaupun jumlah kebutuhan yang harus dipenuhi pada Skenario 2 lebih sedikit tetapi pada Skenario 2 dibutuhkan biaya tambahan berupa biaya penyimpanan.

Pada Skenario Alternatif b untuk kedua studi kasus, nilai total energi primer per liter dan biaya per liter lebih kecil dibanding dengan Skenario Alternatif a pada studi kasus yang sama. Skenario 1 Alternatif b studi kasus Sumsel-Jabar memiliki nilai total energi per liter sebesar 49,45 MJ/L dan biaya sebesar Rp. 5.041,-. Nilai tersebut lebih kecil dari pada nilai total energi per liter dan biaya per liter Skenario 1 Alternatif a studi kasus Sumsel-Jabar yaitu sebesar 52,29 MJ/L dan Rp. 5.951,-. Perbedaan nilai ini dikarenakan pada Skenario Alternatif b CPO tidak diolah dulu menjadi olein tetapi langsung diolah menjadi biodiesel. Posisi dan nilainya dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.4

Skenario 1 Alternatif b studi kasus Sumsel-Jabar memiliki nilai total energi per liter sebesar 49,45 MJ/L dan biaya sebesar Rp. 5.041,-. Skenario 1 Alternatif b studi kasus Sumut-Jabar memiliki nilai total energi per liter sebesar 54,91 MJ/L dan biaya sebesar Rp. 5.903,-. Jarak Sumatera Utara ke Jakarta lebih jauh dibandingkan jarak Sumatera Selatan ke Jakarta karena itu total energi dan total biaya yang diperlukan juga lebih besar. Total energi primer per liter dan total biaya per liter pada studi kasus Sumut-Jabar mengalami kenaikan sebesar 11% dan 17% dibandingkan studi kasus Sumsel-Jabar.

Biaya per liter pada data didapatkan dengan asumsi harga CPO Rp.3.764. Pada bulan September 2007 harga CPO dipatok \$813 per ton^[20] sekitar Rp.7.560,- dengan kurs \$1 = Rp.9.300,-. Dengan memasukkan harga CPO Rp. 7.560,- pada simulasi, untuk Skenario 1.b studi kasus Sumsel-Jabar didapatkan biaya per liter biodiesel sebesar Rp. 8.521 – Rp.8.777. Dari data didapatkan untuk harga biodiesel per liter di Indonesia adalah Rp. 9.000,-^[21] dan harga biodiesel internasional adalah US\$ 800,- atau sekitar Rp.7.440,-. Harga biodiesel yang didapat dari simulasi masih cukup sesuai dengan kondisi pasar saat ini. Harga biodiesel sangat bergantung dengan harga CPO, harga CPO yang semakin melonjak akan menyebabkan harga biodiesel semakin mahal.

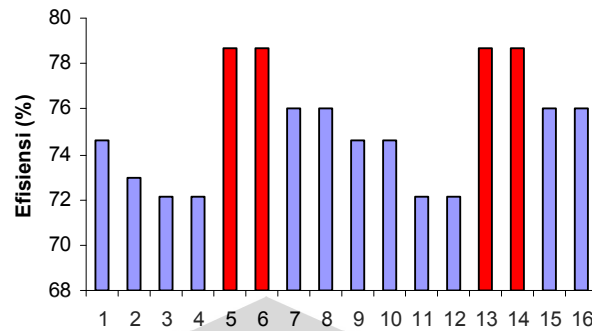
4.4 ANALISIS EFISIENSI DAUR HIDUP DAN RASIO ENERGI FOSIL

Pada sub bab ini akan dianalisa efisiensi daur hidup dan rasio energi fosil yang didapatkan dari hasil simulasi penelitian ini. Efisiensi dan rasio akan dilihat dengan mengambil dua buah studi kasus. Studi kasus yang diambil sama seperti studi kasus pada analisa total energi primer di sub bab sebelumnya. Data pada Tabel 4.5 menunjukkan efisiensi energi daur hidup dan rasio energi fosil pada setiap skenario dan studi kasus.

Tabel 4.5 Efisiensi dan Rasio Energi Fosil

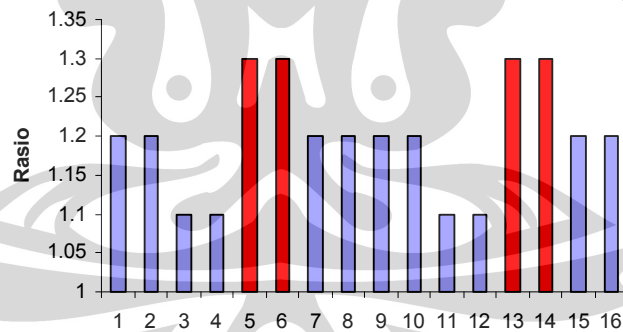
	Pasokan CPO	M	Efisiensi	Rasio
Skenario 1.a	Sumsel-Jabar	5%	74,6	1,2
		10%	73	1,2
	Sumut-Jabar	5%	72,1	1,1
		10%	72,1	1,1
Skenario 1.b	Sumsel-Jabar	5%	78,7	1,3
		10%	78,7	1,3
	Sumut-Jabar	5%	76	1,2
		10%	76	1,2
Skenario 2.a	Sumsel-Jabar	5%	74,6	1,2
		10%	74,6	1,2
	Sumut-Jabar	5%	72,1	1,1
		10%	72,1	1,1
Skenario 2.b	Sumsel-Jabar	5%	78,7	1,3
		10%	78,7	1,3
	Sumut-Jabar	5%	76	1,2
		10%	76	1,2

Efisiensi energi daur hidup tertinggi yang diperoleh adalah angka 78,7% dari hasil perhitungan simulasi Skenario Alternatif b pada studi kasus Sumsel-Jabar. Efisiensi energi daur hidup adalah perbandingan antara energi pembakaran bahan bakar per liter dan total energi primer per liter. Dilihat dari nilai efisiensinya, Skenario Alternatif b pada studi kasus Sumsel-Jabar adalah pilihan yang paling baik. Dari 49,45 MJ energi yang dibutuhkan, 78,7%nya diubah menjadi energi bahan bakar. Efisiensi energi daur hidup ini digunakan untuk melihat energi cadangan dan tambahan energi yang diperlukan untuk membuat bahan bakar tersebut.



Gambar 4.12 Efisiensi energi daur hidup biodiesel

Nilai rasio energi fosil yang didapat memiliki tiga variasi nilai yaitu 1,1; 1,2 dan 1,3. Perbandingan nilai rasio dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Tabel 4.4. Rasio energi fosil tertinggi didapatkan pada Skenario Alternatif b studi kasus Sumsel-Jabar. Nilai ini menunjukkan bahwa untuk Skenario Alternatif b studi kasus Sumsel-Jabar energi bahan bakar yang dihasilkan lebih terbarukan, semakin besar nilai rasio energi fosil maka semakin besar pula derajat terbarukannya.



Gambar 4.13 Rasio energi fosil

Rasio energi fosil adalah perbandingan antara energi pembakaran bahan bakar per liter dan total energi fosil yang digunakan per liter. Untuk nilai di atas satu berarti bahan bakar itu termasuk bahan bakar yang dapat diperbaharui. Rasio energi fosil ini didapat dengan memperhitungkan energi yang dimiliki minyak kelapa sawit karena pada dasarnya saat tanaman kelapa sawit tumbuh, tanaman

kelapa sawit memperoleh energi dari sinar matahari. Energi yang didapat dari radiasi sinar matahari ini seolah tidak diperhitungkan dalam daur hidup energi, karena dianggap energi “gratis”. Energi dari sinar matahari yang membantu tanaman untuk tumbuh sangat sulit untuk dihitung karena itu diambil nilai energi yang dimiliki oleh minyak kelapa sawit. Sehingga energi yang dimiliki kelapa sawit ini tidak berasal dari energi fosil.

Minyak bumi atau petroleum juga menyimpan energi matahari. Perbedaan antara minyak bumi dan minyak kelapa sawit adalah skala waktunya. Minyak kelapa sawit memerangkap energi matahari dalam waktu yang cepat “real time” sedangkan minyak bumi memerangkap sinar matahari dalam proses yang terjadi dengan skala waktu geologis

Energi yang terperangkap didalam minyak kelapa sawit dianggap sebagai energi terbarukan karena energi sinar matahari yang tersimpan dalam bentuk cairan melalui proses biologis dapat lebih cepat terbentuk dibanding dengan batasan waktu geologis yang berkaitan dengan pembentukan energi fosil atau petroleum.

Untuk perbandingannya dengan energi fosil atau minyak bumi dapat dilihat dengan data dari US Dept. Efisiensi daur hidup energi dari minyak bumi dengan teknologi saat ini adalah sebesar 83,28%. Rasio energi fosilnya adalah 0.8337, dari 1 MJ energi bahan bakar yang dihasilkan diperlukan 1,1995 MJ energi fosil.

Efisiensi biodiesel memang lebih kecil, 78,7 % di bandingkan dengan 83,28% tetapi nilai efisiensi ini bisa terus ditingkatkan. Kekurangan dari segi efisiensi ini bisa ditutup dengan derajat terbarukannya energi dari biodiesel, dengan menggunakan biodiesel krisis energi bisa sedikit demi sedikit teratasi.

4.5 ANALISIS TOTAL EMISI CO₂

Pada sub bab ini akan dianalisa emisi gas karbondioksida yang dilepaskan, diserap, dan yang tersisa di atmosfer yang didapatkan dari hasil simulasi penelitian ini. Emisi gas karbondioksida yang akan dilihat dengan mengambil dua buah studi

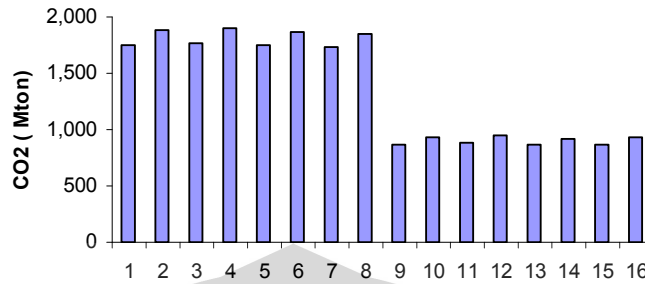
kasus. Data pada Tabel 4.6 diambil dari hasil simulasi sesuai dengan studi kasus pada analisa efisiensi energi dan rasio energi fosil.

Selama masa pertumbuhannya, tanaman penghasil bahan bakar nabati, dalam penelitian ini adalah tanaman kelapa sawit akan terus menyerap CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesa. Inilah salah satu bukti bahwa biodiesel dari CPO ini bersifat ramah lingkungan, karena jumlah gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakarannya akan dikompensasi dengan penyerapan gas tersebut yang dilakukan oleh tanaman kelapa sawit itu sendiri. Semua jenis tanaman yang menghasilkan minyak nabati yang dibakar sebagai bahan bakar, jumlah karbondioksida yang diserap dalam proses fotosintesa adalah 1,8 kg per kg bagian kering tanaman.

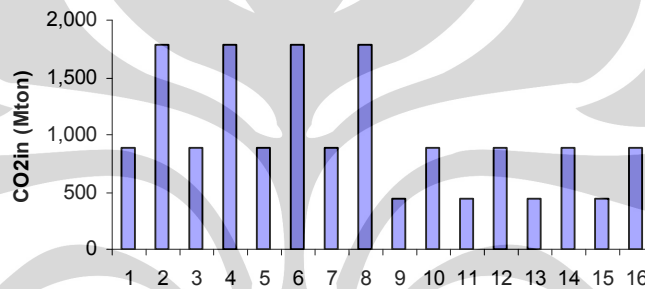
Tabel 4.6 Data Emisi Gas Karbondioksida

	Pasokan CPO	M	CO ₂	CO ₂ in	CO ₂ nett
Skenario 1.a	Sumsel-Jabar	5%	1.748	893	854
		10%	1.888	1.787	100
	Sumut-Jabar	5%	1.762	893	868
		10%	1.898	1.787	110
Skenario 1.b	Sumsel-Jabar	5%	1.749	893	855
		10%	1.873	1.787	85
	Sumut-Jabar	5%	1.737	893	843
		10%	1.848	1.787	60
Skenario 2.a	Sumsel-Jabar	5%	874	446	427
		10%	935	893	41
	Sumut-Jabar	5%	881	446	434
		10%	949	893	55
Skenario 2.b	Sumsel-Jabar	5%	868	446	421
		10%	924	893	30
	Sumut-Jabar	5%	874	446	427
		10%	936	893	42

Data yang ditampilkan pada Tabel 4.6 adalah jumlah karbondioksida yang dikeluarkan atau dihasilkan selama proses pembuatan biodiesel dan pembakaran campuran biodiesel dan solar di dalam mobil dalam kolom CO₂, jumlah karbondioksida yang diserap kembali oleh tanaman kelapa sawit pada kolom CO₂in, dan emisi akhir karbondioksida yang berada di atmosfer pada kolom CO₂nett. Posisi untuk setiap kolom dapat dilihat pada Gambar 4.14, Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.



Gambar 4.14 Emisi gas CO₂ yang dihasilkan

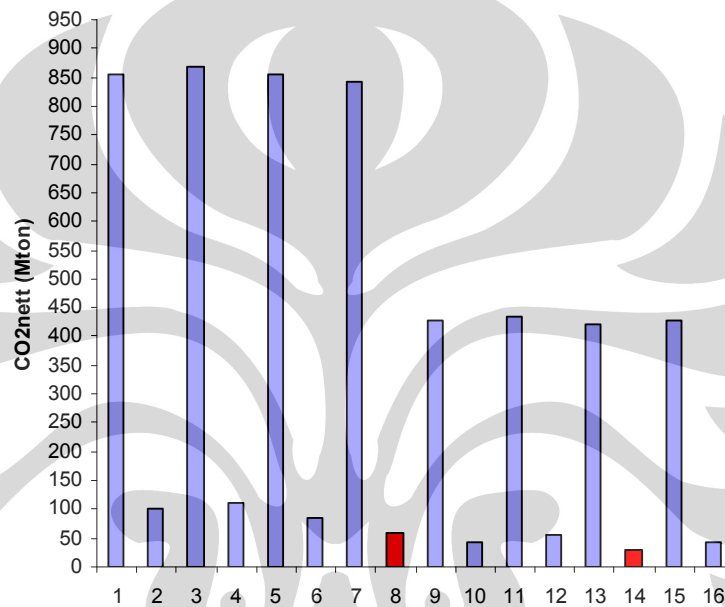


Gambar 4.15 Emisi gas CO₂ yang diserap

Pada skenario dan alternatif yang sama dengan studi kasus yang berbeda dapat dilihat bahwa semakin besar campuran biodiesel pada solar akan meningkatkan emisi yang dihasilkan, tetapi jumlah karbondioksida yang diserap oleh tanaman kelapa sawit juga meningkat secara signifikan sehingga karbondioksida yang tersisa di atmosfer akan semakin berkurang. Hal ini diakibatkan semakin banyak biodiesel yang digunakan berarti semakin banyak juga CPO yang dibutuhkan dan mengakibatkan semakin banyak pula tanaman kelapa sawit yang digunakan. Bila satu pohon dapat menghasilkan 10 – 15 buah kelapa sawit, dan perbandingan antara berat buah dan berat pohon adalah 1 : 15 maka akan sangat signifikan perubahan yang terjadi pada karbondioksida yang diserap oleh tanaman.

Pada skenario yang sama dan alternatif yang berbeda, jumlah gas karbon dioksida yang terlepas ke atmosfer memiliki nilai yang lebih kecil pada alternatif

b. Hal ini dikarenakan pada alternatif b CPO langsung diolah menjadi biodiesel tanpa perantara olein, sehingga energi yang dibutuhkan berkurang dan energi yang dibakar pun berkurang yang mengakibatkan emisi yang dihasilkan dari pembakaran energi itu pun menjadi tidak ada. Hal tersebut bisa dilihat dengan semakin berkurangnya nilai pada kolom CO₂. Jumlah CPO yang dibutuhkan pada setiap alternatif adalah sama, karena itu pada kolom CO₂in tidak ada perubahan nilai.



Gambar 4.16 Emisi gas CO₂ yang tersisa di atmosfer

Jika dibandingkan secara keseluruhan maka emisi gas karbondioksida yang berada di atmosfer memiliki nilai paling kecil pada Skenario 2 Alternatif b studi kasus Sumsel-Jabar. Selain karena CPO dikonversi langsung menjadi biodiesel tanpa melalui fasa olein, jumlah kebutuhan akan CPOnya pun lebih sedikit karena disesuaikan dengan pembagian penjualan solar dan campuran yang diinginkan.

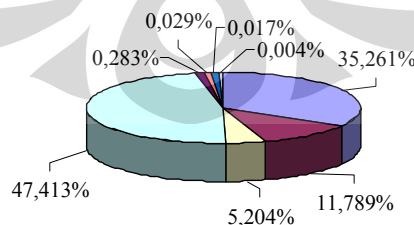
Sekilas memang terlihat bahwa pada Skenario 2.b Sumsel-Jabar adalah skenario yang paling tepat untuk mengurangi keberadaan gas karbondioksida di atmosfer. Data pada Skenario 2 mengambil persentase 50% pembagian kebutuhan antara solar dan biosolar. Emisi yang dihasilkan dari pembakaran solar juga perlu

diperhatikan. Emisi dari pembakaran solar akan terlepas begitu saja ke atmosfer tanpa ada biomassa yang akan menyerap kembali gas karbon dioksida tersebut berbeda dengan biosolar. Sehingga dari penelitian ini untuk membantu menanggulangi masalah gas rumah kaca di atmosfer adalah dengan Skenario 1.b Sumsel-Jabar dimana CPO langsung diubah menjadi biodiesel. Jika persentase campuran biodiesel dalam solar diperbesar maka akan dapat mengurangi gas karbondioksida di atmosfer lebih besar lagi.

4.6 ANALISIS *ENERGY BREAKDOWN* MODEL

Berdasarkan pada model simulasi yang telah dibuat, terdapat berbagai variabel bebas yang mempengaruhi hasil akhir yang diinginkan. Variabel bebas itu diantaranya energi angkut, energi pengolahan, dan energi bahan bakar. Semua jenis variabel itu mempengaruhi total energi primer, efisiensi dan rasio energi fosil yang dihasilkan. Karena nilai total energi primer per liter biodiesel pada alternatif yang sama adalah sama, maka *energy breakdown* yang akan dibahas adalah untuk alternatif yang berbeda.

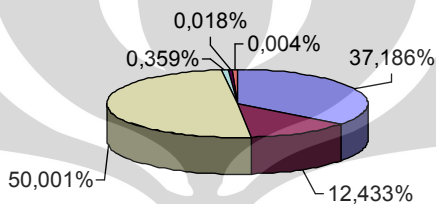
Kontribusi dari seluruh variabel tersebut dapat dilihat dari *energy breakdown* seperti pada Gambar 4.17 untuk Skenario dengan Alternatif a, didapatkan bahwa variabel yang berkontribusi terbesar untuk menghasilkan total energi primer biodiesel per liter adalah energi pengolahan biodiesel yaitu sebesar kurang lebih 47,4%, yang diikuti dengan proses perkebunan kelapa sawit (35,3%), energi pengolahan CPO (11,7%), energi angkut CPO (0,99%), energi angkut olein (0,79%), energi angkut biodiesel (0,18%), dan energi angkut biosolar (0,004%).



Gambar 4. 17 Energy breakdown Skenario 1 Alternatif a (1.a)
 (■ Perkebunan kelapa sawit; ■ Konversi menjadi CPO; ■ Energi pengolahan olein; ■ Energi pengolahan biodiesel; ■ Energi angkut CPO;

■ Energi angkut olein; ■ Energi angkut biodiesel; ■ Energi angkut biosolar)

Kemudian untuk Skenario dengan Alternatif b sesuai dengan Gambar 4.18, didapatkan bahwa variabel yang berkontribusi terbesar untuk menghasilkan total energi primer biodiesel per liter adalah proses konversi menjadi biodiesel yaitu sebesar kurang lebih 50%, yang diikuti dengan proses perkebunan kelapa sawit (37,2%), konversi menjadi CPO (12,4%), energi angkut CPO (0,359%), energi angkut biodiesel (0,018%), dan energi angkut biosolar (0,004%).



Gambar 4. 18 Energy breakdown Skenario 1 Alternatif b (1.b)
 (■ Perkebunan kelapa sawit; ■ konversi menjadi CPO; ■ konversi menjadi biodiesel; ■ Energi angkut CPO; ■ Energi angkut biodiesel; ■ Energi angkut biosolar)

Untuk mengetahui pengaruh dari variabel tersebut dapat dilakukan dengan mencari sensitivitas dari setiap variabel yaitu dengan melihat pengaruh kenaikan setiap variabel terhadap kenaikan total energi primer biodiesel. Variabel yang akan dilihat pengaruhnya hanyalah proses penanaman kelapa sawit, energi pengolahan CPO, dan energi pengolahan biodiesel karena memiliki kontribusi terbesar dalam setiap *energy breakdown*. Persentase kenaikan yang akan dipakai yaitu 10%, 20%, 30% dan 40%. Kenaikan pada proses penanaman kelapa sawit dipengaruhi dengan semakin banyaknya penggunaan pupuk. Kenaikan pada pengolahan CPO dan pengolahan biodiesel dikarenakan adanya perubahan penggunaan teknologi dengan menggunakan energi yang lebih besar. Nilai yang akan diambil sebagai sampel untuk melakukan perbandingan yaitu nilai-nilai pada tahun 2006 sebagai harga acuan. Hasil dari perhitungan ini dapat dilihat pada

Tabel 4.12, 4.13, dan 4.14 untuk mengetahui pengaruh dari kenaikan ketiga variabel tersebut terhadap total energi primer.

Tabel 4. 7 Pengaruh kenaikan energi penanaman kelapa sawit terhadap total energi primer

	Energi penanaman kelapa sawit				
	100%	110%	120%	130%	140%
P/L Alternatif a	50	52	53	55	57
P/L Alternatif b	47	49	51	53	54

Tabel 4.8 Pengaruh kenaikan energi pengolahan CPO terhadap total energi primer

	Energi pengolahan CPO				
	100%	110%	120%	130%	140%
P/L Alternatif a	50	51	51	52	52
P/L Alternatif b	47	48	49	49	50

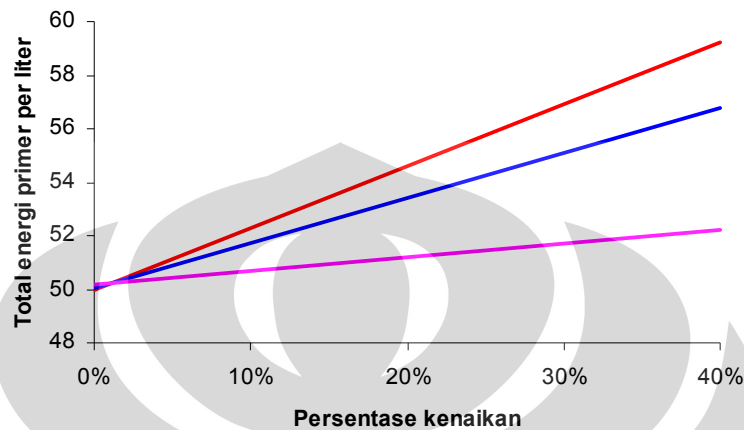
Tabel 4. 9 Pengaruh kenaikan energi pengolahan biodiesel terhadap total energi primer

	Energi pengolahan biodiesel				
	100%	110%	120%	130%	140%
P/L Alternatif a	50	52	55	57	59
P/L Alternatif b	47	50	52	54	57

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.7, 4.8, dan 4.9 didapatkan bahwa kenaikan energi pengolahan biodiesel menyebabkan kenaikan total energi primer per liter yang terbesar dibandingkan kenaikan energi penanaman kelapa sawit dan energi pengolahan biodiesel. Asumsi teknologi pengolahan yang digunakan pada penelitian ini adalah yang sederhana, transesterifikasi pada reaktor dengan tekanan atmosfer, karena memang yang saat ini telah berkembang di Indonesia adalah yang seperti itu. Pada kenaikan 20%, energi pengolahan biodiesel mampu menaikkan total energi primer per liter sebesar 5 MJ sedangkan energi penanaman kelapa sawit dan energi pengolahan biodiesel hanya mampu menaikkan total energi primer sebesar 3 MJ dan sebesar 1 MJ.

Untuk lebih jelasnya perbandingan dari ketiganya dapat dilihat pada Gambar 4.19 untuk Skenario alternatif a dimana terlihat kenaikan energi

pengolahan biodiesel sangat mempengaruhi kenaikan total energi primer biodiesel per liter.



Gambar 4. 19 Pengaruh kenaikan energi penanaman kelapa sawit dan energi pengolahan biodiesel dan olein terhadap P/L pada skenario 1.a
(— Kenaikan energi penanaman kelapa sawit; — Kenaikan energi pengolahan CPO; — Kenaikan energi pengolahan biodiesel)

Trend kenaikan ini juga berlaku pada penurunan masing-masing variabel. Dengan menanam kelapa sawit pada daerah yang subur sehingga tidak memerlukan pupuk dalam jumlah banyak dan menggunakan teknologi pengolahan yang menggunakan energi lebih sedikit dapat mengurangi total energi primer yang diperlukan untuk membuat 1 liter biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*. Diakses dari:
<http://www.migas-indonesia.com/files/article/BlueprintEnergiNasional.pdf>.
Pada tanggal 3 April 2006.
- [2] *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006*. Diakses dari:
<http://www.djgsm.esdm.go.id/en,65.html>. Pada tanggal 15 April 2006.
- [3] *Kebijakan Insentif dan Tarif untuk Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Alternatif*, Direktur Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. Diakses dari: www.djlpe.esdm.go.id. Pada tanggal 3 April 2006.
- [4] Beamon, Benita M. *Supply chain Design and Analysis Models and Methods*. International Journal Production Economics 55 (1998) 281 – 294.
- [5] *Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus*. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy Final Report No. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503
- [6] Kaltschmitt, M., dkk. *Daur hidup Analysis Of Biofuels Under Different Environmental Aspects*. Biomassaa and Bioenergy Vol. 12, No. 2, pp. 121-134, 1997
- [7] *Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2006 Tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain*. Diakses dari:
<http://www.djlpe.esdm.go.id/images/content/13957729652.pdf>. Pada tanggal 3 April 2006.
- [8] Bode, Haryanto. *Bahan Bakar Alternatif Biodiesel (Bagian I. Pengenalan)*. Diakses dari:
<http://library.usu.ac.id/modules.php?op=modload&name=Downloads&file=index&req=getit&lid=292>, Perpustakaan Digital Universitas Sumatera Utara. Pada tanggal 12 Mei 2006.
- [9] BPPT. Biodiesel. Diakses dari: <http://ec.bppt.go.id/biodiesel/index.htm> Pada tanggal 12 Mei 2006

- [10] U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy, Alternative Fuels Data. *Alternative Fuels: Biodiesel*. Diakses dari : <http://www.eere.energy.gov/afdc/altfuel/biodiesel.html>. Pada tanggal 12 Mei 2006
- [11] Timnas Pengembangan BBN. *BBN Bahan Bakar Nabati*. Jakarta: Penebar Swadaya, 2007
- [12] Tatang H. Soerawidjaja. *MEMBANGUN INDUSTRI BIODIESEL DI INDONESIA: beberapa skenario dan persoalan pengembangan yang perlu dicermati*. Bandung, 16 Desember 2005. Diakses dari: <http://km.itb.ac.id/simposium/THS-aula%20timur-05122005.ppt>. Pada tanggal 12 Mei 2006
- [13] Sunarko, *Petunjuk Praktis Budi Daya dan Pengolahan Kelapa Sawit*, Jakarta: AgroMedia Pustaka, 2007
- [14] Pantzaris, T.P. *Pocketbook of Palm Oil Uses*. Malaysia: Palm Oil Research Institute of Malaysia, 1997
- [15] Prihandana, Rama, dll. *Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. Jakarta: Agromedia Pustaka, 2006
- [16] Hamelinck, Carlo N, dkk. *International bioenergy transport costs and energy balance*. Biomassaa and bioenergy 29 (2005) 114-134.
- [17] Dewobroto, Wiryanto. *Aplikasi Sain dan Teknik dengan Visual basic 6.0*. Jakarta: Pt. Elex Media Komputindo, 2003
- [18] Anggreini, Renita. *Simulasi Rantai Suplai Biodiesel Untuk Sektor Transportasi di Propinsi DKI Jakarta*. Sripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2007
- [19] *The Energy Balance In The Production Of Palm Oil Biodiesel-Two Case Studies : Brazil And Colombia*. Federal University of Itajuba, Brazil, 2004
- [20] Widiyanti, Arin. *Minyak Dunia Naik, Permintaan CPO untuk Biodiesel Melonjak*. DetikFinance21Oktober2007
- [21] Triono, Bambang. *Produsen Biodiesel Hentikan Produksi*. Liputan 6.com, 25 Oktober 2007



Lampiran 1 Data Acuan Proyeksi Kebutuhan Solar

1.1 Data Realisasi Penjualan Solar DKI Jakarta Tahun 2000-2005

Kotamadya	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Jakarta Selatan	88347	98730	105822	99380	97458	87606
Jakarta Timur	134934	151995	168491	152822	162753	140618
Jakarta Pusat	46281	55233	61640	55387	51334	48284
Jakarta Barat	97336	107264	121988	116656	119656	114264
Jakarta Utara	193688	208786	219204	215000	225651	203643
TOTAL	560586	622008	677145	639245	656852	594415

1.2 Data PDRB DKI Jakarta Tahun 1994-2005

Tahun	PDRB (juta Rp)	
	Harga berlaku	Harga konstan
1994	58,785,329	55,505,268
1995	70,045,320	60,648,690
1996	82,587,251	66,164,802
1997	96,651,258	69,543,446
1998	138,563,783	57,380,517
1999	164,309,041	57,215,223
2000	189,075,400	59,694,418
2001	219,855,422	61,866,299
2002	299,967,606	250,331,157
2003	334,331,300	263,624,242
2004	375,561,523	278,524,823
2005	436,250,721	295,270,318

Lampiran 2 Lokasi dan jarak distribusi

2.1 Lokasi dan jarak SPBU dengan depot Plumpang di DKI Jakarta

No.	Nama	Lokasi	Jarak ke Depot (km)
1	SPBU 34-14207	Jl. Raya Plumpang Semper No. 45, Jakarta Utara	2
2	SPBU 34-14307	Jl. Danau Sunter Selatan Blok 05/10, Jakarta Utara	2
3	SPBU 34-14202	Jl. Yos Sudarso No. 23 Tanjung Priok, Jakarta Utara	2
4	SPBU 34-14103	Jl. Plumpang Semper No. 51, Jakarta Utara	3
5	SPBU 34-14204	Jl. Yos Sudarso Kav. 84, Jakarta Utara	3
6	SPBU 34-14201	Jl. Boulevard Barat Kelapa Gading, Jakarta Utara	3
7	SPBU 34-14003	Jl. Raya Cakung Cilincing, Jakarta Utara	3
8	SPBU 34-14206	Jl. Pegangsaan Dua Kav. 88, Jakarta Utara	4
9	SPBU 34-14208	Jl. Pegangsaan Dua Kav. 88, Jakarta Utara	4
10	SPBU 34-14301	Nirwana Sunter Asri, Jakarta Utara	4
11	SPBU 34-14304	Jl. Tongkol No. 1, Jakarta Utara	4
12	SPBU 34-14306	Jl. Danau Sunter Selatan, Jakarta Utara	4
13	SPBU 34-13202	Jl. Perintis Kemerdekaan, Jakarta Timur	5
14	SPBU 34-14305	Jl. Raya Sunter, Kemayoran - Jakarta Utara	5
15	SPBU 34-13204	Jl. Jend. A. Yani No. 48, Jakarta Timur	5
16	SPBU 34-13207	Jl. Ahmad Yani, Pulomas - Jakarta Timur	5
17	SPBU 34-14101	Jl. Raya Tipar Cakung, Jakarta	5
18	SPBU 34-14205	Jl. Boulevard Timur, Jakarta Timur	5
19	SPBU 34-14302	Jl. Danau Sunter Barat Blok A1, Jakarta Utara	5
20	SPBU 34-14105	Jl. Raya Cakung Cilincing No. 89, Jakarta Utara	6
21	SPBU 34-10503	Jl. Let. Jend. Suprpto, Jakarta Pusat	6
22	SPBU 34-10504	Jl. Jend. A. Yani No. 48, Jakarta	6
23	SPBU 34-13205	Jl. Perintis Kemerdekaan, Jakarta Timur	6
24	SPBU 34-13203	Jl. Kayu Putih Raya, Jakarta Timur	7
25	SPBU 34-14102	Jl. Raya Cilincing No. 42, Jakarta Utara	7
26	SPBU 34-14104	Jl. Kalibaru, Jakarta Utara	7
27	SPBU 34-14203	Jl. Raya Cakung, Jakarta Utara	7
28	SPBU 31-13201	Jl. Perintis Kemerdekaan, Jakarta Utara	7
29	SPBU 34-10502	Jl. Let. Jend. Suprpto, Jakarta Pusat	7
30	SPBU 34-13208	Jl. A. Yani Golf By Pass Rawamangun, Jakarta Timur	7
31	SPBU 34-14408	Jl. Budi Mulia Raya Pademangan, Jakarta Utara	7
32	SPBU 34-14303	Jl. Laks. RE. Martadinata No. 1, Jakarta Utara	8
33	SPBU 34-13101	Jl. Ahmad Yani 114 A Utan Kayu Utara, Jakarta Timur	8
34	SPBU 34-13206	Jl. Pemuda Kav. 3-4 Rawamangun, Jakarta Timur	8
35	SPBU 34-13904	Jl. Raya Bekasi Km. 21 Pulogadung, Jakarta Timur	8
36	SPBU 31-10701	Jl. Industri II Kemayoran, Jakarta Pusat	8
37	SPBU 31-13101	Jl. Pramuka, Jakarta Timur	8
38	SPBU 34-10402	Jl. Pramuka Raya 56 - 57, Jakarta	8
39	SPBU 34-10501	Jl. Pramuka Jakarta	8
40	SPBU 34-10602	Jl. Raya Gunung Sahari No. 76 - 77, Jakarta Pusat	8
41	SPBU 34-10603	Jl. Gunung Sahari, Jakarta	8
42	SPBU 34-10702	Jl. Pangeran Jayakarta, Jakarta Pusat	8
43	SPBU 31-12901	Jl. Jendral Sudirman, Jakarta Selatan	9
44	SPBU 31-12101	Jl. Jend. Sudirman (Semanggi), Jakarta Selatan	9

45	SPBU 31-13901	Jl. Raya Cakung, Jakarta Timur	9
46	SPBU 34-10303	Jl. Taman Kwitang, Jakarta Pusat	9
47	SPBU 34-10304	Jl. Taman Kwitang, Jakarta Pusat	9
48	SPBU 34-10601	Jl. Dr. Wahidin, Jakarta	9
49	SPBU 34-13902	Jl. Raya Bekasi km. 18 No. 60, Jakarta Timur	9
50	SPBU 34-14402	Marina Jaya Ancol, Jakarta Utara	9
51	SPBU 34-13903	Jl. Raya Penggilingan Cakung, Jakarta Timur	10
52	SPBU 34-14404	Jl. Kapuk Raya No. 36 Kapuk Muara, Jakarta Utara	10
53	SPBU 34-14405	Jl. Kampung Bandan No. 31, Jakarta Utara	10
54	SPBU 34-13304	Jl. DI. Panjaitan By Pass Prumpung, Jakarta	10
55	SPBU 34-10401	Jl. Kramat Raya No. 116 Senen, Jakarta Pusat	10
56	SPBU 34-10701	Jl. Batu Ceper No. 91, Jakarta Pusat	10
57	SPBU 34-11102	Jl. Hayam Wuruk, Glodok - Jakarta Barat	10
58	SPBU 34-10305	Jl. Hos Cokroaminoto No. 49, Jakarta Pusat	11
59	SPBU 34-11101	Jl. Hayam Wuruk, Gajah Mada – Jakarta	11
60	SPBU 34-13301	Jl. D.I. Panjaitan Kebon Nanas, Jakarta Timur	11
61	SPBU 34-13302	Jl. D.I. Panjaitan Kav. 25, Jakarta	11
62	SPBU 34-13414	Jl. Basuki Rahmat No. 64, Jakarta Timur	11
63	SPBU 34-13417	Jl. DI. Panjaitan, Jakarta Timur	11
64	SPBU 34-13901	Jl. Bekasi Timur Raya, Jakarta Timur	11
65	SPBU 34-10301	Jl. Gereja Theresia, Jakarta	11
66	SPBU 31-10302	Jl. Raya Tanah Abang Timur, Jakarta	12
67	SPBU 34-10202	Jl. Tanah Abang II No. 6, Jakarta	12
68	SPBU 34-10302	Jl. Sumenep, Jakarta Pusat	12
69	SPBU 34-12802	Jl. Prof. Dr. Supomo 49, Jakarta Selatan	12
70	SPBU 34-12803	Jl. Lapangan Rose Tebet, Jakarta	12
71	SPBU 34-12703	Jl. Raya Pasar minggu Pancoran, Jakarta Selatan	12
72	SPBU 34-13413	Jl. Raya Cipinang Jaya Blok J 142-146 – JakTim	12
73	SPBU 34-13303	Jl. Otto Iskandardinata No. 69, Jakarta	12
74	SPBU 34-14407	Jl. Jembatan Tiga Blok F4-5, Jakarta Barat	12
75	SPBU 34-14401	Jl. Pluit Raya Selatan No. 1, Jakarta Utara	12
76	SPBU 34-13905	Jl. Raya Pulogebang, Jakarta Timur	12
77	SPBU 34-13408	Jl. Raya Bekasi Timur, Klender - Jakarta Timur	12
78	SPBU 34-13906	Jl. Raya Pulogebang, Jakarta Timur	13
79	SPBU 34-13907	Jl. Sentra Primer Pulogebang, Jakarta Timur	13
80	SPBU 34-14403	Jl. Raya Pluit Selatan No. 10, Jakarta Utara	13
81	Shell	JL S.Parman, mampang prapatan	
82	SPBU 34-13201	Jl. I Gusti Ngurah Rai No. 4, Jakarta Timur	13
83	SPBU 34-12110	Jl. Taman Mataram I Kebayoran Baru, Jakarta	13
84	SPBU 34-12111	Jl. Taman Mataram Kebayoran Baru, Jakarta Selatan	13
85	SPBU 34-12112	Jl. Pakubuwono VI Kebayoran Baru, Jakarta Selatan	13
86	SPBU 34-10201	Jl. Penjernihan Pejompongan, Jakarta	13
87	SPBU 31-10301	Jl. Tanah Abang Timur, Jakarta Pusat	13
88	SPBU 31-12801	Jl. Tebet Timur Raya - Jakarta Selatan	13
89	SPBU 34-11402	Jl. Raya Tomang No. 54, Jakarta	13
90	SPBU 34-13404	Jl. Inspeksi Kalimalang, Jakarta Timur	13
91	SPBU 31-12103	Jl. Pakubuwono VI Kebayoran Baru, Jakarta Selatan	14
92	SPBU 34-12108	Jl. Suryo Blok S No. 1, Jakarta Selatan	14
93	SPBU 31-10201	Jl. KS. Tubun No. 67, Jakarta Pusat	14
94	SPBU 31-11402	Jl. Kyai Tapa, Grogol - Jakarta Barat	14

95	SPBU 34-11103	Jl. Raya KS Tubun No. 20, Jakarta Barat	14
96	SPBU 34-12702	Jl. Terusan Warung Buncit, Jakarta Selatan	14
97	SPBU 34-12704	Jl. Warung Buncit Raya, Jakarta Selatan	14
98	SPBU 34-12705	Jl. MT. Haryono Kav. 44, Jakarta Selatan	14
99	SPBU 34-13405	Jl. I Gusti Ngurah Rai, Jakarta Timur	14
100	SPBU 34-13412	Jl. Basuki Rahmat No. 9, Jakarta Timur	14
101	SPBU 34-14406	Jl. Dermaga Muara Angke, Jakarta Utara	14
102	SPBU 34-13601	Jl. Letjen. Sutoyo, Jakarta Timur	14
103	SPBU 34-13602	Jl. Dewi Sartika No. 184, Jakarta Timur	14
104	SPBU 34-13402	Jl. Pahlawan Revolusi Pd. Bambu, Jakarta Timur	15
105	SPBU 34-13403	Jl. Pahlawan Revolusi No. 3, Jakarta Timur	15
106	SPBU 34-13409	Jl. Radin Inten, Jakarta Timur	15
107	SPBU 34-13501	Jl. Raya Condet, Jakarta Timur	15
108	SPBU 34-12706	Jl. Mampang Prapatan, Buncit, Jakarta Selatan	15
109	SPBU 34-12801	Jl. Jend. Gatot Subroto, Jakarta	15
110	SPBU 34-12503	Jl. Raya Pasar Minggu No. 100, Jakarta Selatan	15
111	SPBU 34-11707	Jl. Kamal Raya Cengkareng, Jakarta Barat	15
112	SPBU 34-12109	Jl. Wijaya Keb. Baru, Jakarta Selatan	16
113	SPBU 31-11301	Jl. Tubagus Angke, Jakarta Barat	16
114	SPBU 34-11401	Jl. Raya Tanjung Duren, Jakarta Barat	16
115	SPBU 34-11505	Jl. Raya Kemanggisan, Kebon Jeruk, Jakarta Barat	16
116	SPBU 34-11506	Jl. Kedoya Raya Kec. Kebon Jeruk, Jakarta Barat	16
117	SPBU 31-12102	Jl. Melawai Raya, Jakarta Selatan	17
118	SPBU 34-13401	Jl. Raya Kalimalang Duren Sawit, Jakarta Timur	17
119	SPBU 34-13407	Jl. Radin Inten II Duren Sawit, Jakarta Timur	17
120	SPBU 34-13410	Jl. Radin Inten II Duren Sawit, Jakarta Timur	17
121	SPBU 34-13416	Jl. Jend. Pol. Soekamto No. 26, Jakarta Timur	17
122	SPBU 34-11802	Jl. Kamal Raya Kalideres, Jakarta Barat	17
123	SPBU 34-12604	Tanjung Barat, Pasar Minggu, Jakarta Selatan	17
124	SPBU 34-12701	Jl. Warung Jati Barat No. 24, Jakarta Selatan	18
125	SPBU 34-12105	Jl. Kemang Raya No. 39, Jakarta Selatan	18
126	SPBU 34-12113	Jl. Pangeran Antasari No. 10 A Jakarta Selatan	18
127	SPBU 34-12205	Jl. Pal Merah Barat Keb. Lama, Jakarta Selatan	18
128	SPBU 34-13502	Jl. Raya Condet, Jakarta Timur	18
129	SPBU 34-13503	Jl. Raya Taman Mini Pintu I, Jakarta Timur	18
130	SPBU 34-13603	Jl. Raya Jatiwaringin, Jakarta Timur	18
131	SPBU 34-13801	Jl. Pintu II TMII, Jakarta Timur	18
132	SPBU 34-11504	Jl. Kedoya Raya No. 14, Jakarta Barat	18
133	SPBU 34-11507	Jl. Arteri Kelapa Dua, Jakarta	18
134	SPBU 34-11509	Jl. Panjang Arteri Kelapa Dua, Jakarta Barat	18
135	SPBU 34-11601	Jl. Meruya Ilir, Jakarta Barat	18
136	SPBU 31-11701	Jl. Daan Mogot km. 17,8, Jakarta Barat	19
137	SPBU 34-11605	Jl. Meruya Ilir, Jakarta Barat	19
138	SPBU 34-11606	Jl. Meruya Ilir Raya No. 26, Jakarta Barat	19
139	SPBU 34-11502	Jl. Arteri Ring Road Green Garden, Jakarta Barat	19
140	SPBU 34-13806	Jl. Outering Road No. 6, Jakarta Timur	19
141	SPBU 34-13411	Jl. Pondok Kelapa kav. DKI Blok J/13, JakTim	19
142	SPBU 34-13701	Jl. Lapangan Tembak Cibubur, Jakarta Timur	19
143	Petronas	Cibubur (Jalan Trans Yogi)	
144	SPBU 34-12203	Jl. Kebayoran Lama No. 23 Jakarta Selatan	19

145	SPBU 34-12204	Jl. Raya Kebayoran Lama, Jakarta Selatan	19
146	SPBU 34-11503	Jl. Kedoya Raya No. 15, Jakarta Barat	20
147	SPBU 34-11602	Jl. Raya Puri Kembangan, Jakarta Barat	20
148	SPBU 34-11603	Jl. Raya Pos Pengumben No. 34, Jakarta Barat	20
149	SPBU 34-11604	Jl. Srengseng Ulujami, Jakarta Barat	20
150	Petronas	Lenteng Agung	
151	SPBU 34-13406	Jl. Bintara Pondok Kopi, Jakarta	20
152	SPBU 34-13504	Jl. Raya Pondok Gede, Jakarta Timur	20
153	SPBU 34-13802	Jl. Raya Pondok Gede, Jakarta Timur	20
154	SPBU 34-13804	Jl. TB. Simatupang, Ciracas, Jakarta Timur	20
155	SPBU 31-13601	Jl. Inspeksi Saluran Timur, Jakarta Timur	20
156	SPBU 34-12202	Jl. Cipulir Raya No. 77 Cileduk, Jakarta Selatan	20
157	SPBU 34-12207	Jl. Raya Ciledug Keb. Lama, Jakarta Selatan	20
158	SPBU 34-12502	Jl. TB. Simatupang Pasar Minggu, Jakarta Selatan	20
159	SPBU 34-12504	Jl. Ampera Raya 16 Cilandak, Jakarta Selatan	20
160	SPBU 34-12107	Jl. Pangeran Antasari No. 100 Cipete, Jakarta	20
161	SPBU 34-12210	Jl. Sultan Iskandar Muda, Jakarta	20
162	SPBU 34-12103	Jl. Lingkar Selatan, TB. Simatupang, Jakarta Selatan	20
163	SPBU 34-12507	Jl. Cilandak KKO - Jakarta Selatan	21
164	SPBU 34-12602	Jl. Raya Lenteng Agung, Jakarta Selatan	21
165	SPBU 34-13702	Jl. Let. Jend. TB. Simatupang, Jakarta Timur	21
166	SPBU 34-13704	Jl. Raya Bogor Km. 24,7 Cijantung, Jakarta Timur	21
167	SPBU 34-11706	Jl. Daan Mogot, Jakarta Barat	21
168	SPBU 34-11508	Jl. Raya Kelapa Dua, Jakarta Barat	21
169	SPBU 34-11607	Jl. Meruya Utara Kav. DKI Blok 7 A/8, Jak-Bar	21
170	SPBU 34-12102	Jl. P. Antasari, Jakarta Selatan	21
171	SPBU 34-12104	Jl. Lingkar Selatan Tanjung Barat - Jakarta Barat	21
172	SPBU 34-12404	Jl. RS. Fatmawati Cipete, Jakarta Selatan	21
173	SPBU 31-12201	Jl. Ciputat Raya, Jakarta Selatan	22
174	SPBU 34-11705	Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Jakarta Barat	22
175	SPBU 34-12407	Cilandak Barat, Jakarta Selatan	22
176	SPBU 34-12206	Jl. Pondok Pinang, Jakarta Selatan	22
177	SPBU 34-12101	Jl. Pangeran Antasari 75, Jakarta Selatan	22
178	SPBU 34-12208	Jl. Ciputat Raya, Jakarta Selatan	22
179	SPBU 34-12303	Jl. Bintaro Raya Permai, Jakarta	22
180	SPBU 34-12505	Jl. Raya Tanjung Barat No. 156, Jakarta Selatan	22
181	SPBU 31-12202	Jl. RC. Veteran Bintaro, Jakarta Selatan	23
182	SPBU 34-11708	Jl. Raya Duri Kosambi, Cengkareng - Jakarta Barat	23
183	SPBU 34-13703	Jl. Raya Ciracas No. 107 Ciracas, Jakarta Timur	23
184	SPBU 34-12506	Jl. TB. Simatupang, Cilandak, Jakarta Selatan	23
185	SPBU 34-12603	Jl. Raya Lenteng Agung No. 44, Jakarta Selatan	23
186	SPBU 34-13805	Jl. Pagar Arang Setu No. 47, Jakarta Timur	23
187	SPBU 34-13807	Cilangkap, Jakarta	23
188	SPBU 34-12106	Jl. Raya Metro Pondok Indah, Jakarta Selatan	23
189	SPBU 34-12201	Jl. Arteri P Pinang Keb. Lama, Jakarta Selatan	23
190	SPBU 34-12209	Jl. Raya Ciledug Petukangan Selatan, Jak Sel	23
191	SPBU 34-11803	Jl. Daan Mogot Km. 18 Kalideres, Jakarta Barat	23
192	SPBU 34-12301	Jl. RC. Veteran Bintaro, Jakarta Selatan	23
193	SPBU 34-12402	Jl. Cilandak KKO, Jakarta Selatan	23
194	SPBU 34-12501	Jl. Sejajar Fatmawati Cilandak, Jakarta Selatan	23

195	SPBU 34-12302	Jl. Arteri P Pinang Keb. Lama, Jakarta Selatan	24
196	SPBU 34-12304	Jl. Raya Kodam No. 45, Jakarta Selatan	24
197	SPBU 34-12305	Jl. RC. Veteran, Rempoa Bintaro, Jakarta Selatan	24
198	SPBU 34-12401	Jl. RS. Fatmawati No. 4 Blok A, Jakarta Selatan	24
199	SPBU 34-12508	Jl. Raya Jagakarsa No. 4, Kec. Jagakarsa, Jakarta	24
200	SPBU 34-13706	Jl. Jambore Cibubur, Jakarta Timur	24
201	SPBU 34-12605	Jl. Raya Lenteng Agung No. 62, Jakarta Selatan	24
202	SPBU 34-12608	Jl. Jagakarsa, Jakarta Selatan	24
203	SPBU 34-12609	Jl. Kahfi I No. 21 Cilandak, Jakarta Selatan	24
204	SPBU 34-13708	Jl. Kelapa Dua Wetan, Jakarta Timur	24
205	SPBU 34-11501	Jl. Joglo Raya 2A, Yakarta	24
206	SPBU 34-11702	Jl. Duri Kosambi Bojong, Jakarta Barat	24
207	SPBU 34-11704	Jl. Daan Mogot, Jakarta Barat	25
208	SPBU 34-11801	Jl. Peta Barat No. 3 Kalideres, Jakarta Barat	25
209	SPBU 34-12601	Jl. Moch. Kafie II, Jakarta Selatan	25
210	SPBU 34-12405	Jl. RS. Fatmawati Pondok Labu, Jakarta Selatan	25
211	SPBU 34-12406	Jl. TB Simatupang, Jakarta Selatan	25
212	SPBU 34-13803	Jl. Raya Bina Marga, Ceger - Jakarta Timur	25
213	SPBU 34-12403	Jl. Lebak Bulus Raya, Jakarta Selatan	26
214	SPBU 34-13705	Jl. Raya Bogor km. 29, Jakarta Timur	26
215	SPBU 34-13707	Jl. Radar Auri Cibubur, Jakarta Timur	26
216	SPBU 34-12610	Jl. R.M. Kahfi II/17 Cipedak, Jakarta Selatan	27
217	SPBU 34-12606	Jl. Moh. Kafi I Ciganjur, Jakarta Selatan	27
218	Shell	Lippo Karawaci	
219	SPBU 34-11703	Jl. Kamal Raya Cengkareng, Jakarta Barat	27
220	SPBU 34-11701	Jl. Daan Mogot No. 2, Jakarta Barat	30
221	SPBU 34-12607	Jl. Moch. Kahfi I Matoa Ciganjur, Jakarta Selatan	30

2.2 Jarak pabrik olein dengan setiap pabrik biodiesel yang ada

Rute (pabrik olein - pabrik biodiesel)	Jarak (km)
Marunda-Tangerang	37
Pedurenan- Tangerang	23
Bandengan- Tangerang	24
Medan- Tangerang	1388
Bekasi- Tangerang	43
Pulo Gadung- Tangerang	36
Narogong- Tangerang	44
Marunda-Bekasi	19
Pedurenan-Bekasi	24
Bandengan-Bekasi	37
Medan-Bekasi	1389
Bekasi-Bekasi	1
Pulo Gadung-Bekasi	18
Narogong-Bekasi	2
Marunda-Serang	84
Pedurenan-Serang	70

Bandengan-Serang	65
Medan-Serang	1356
Bekasi-Serang	91
Pulo Gadung-Serang	73
Bekasi-Serang	93
Marunda-Marunda	1
Pedurenan-Marunda	25
Bandengan-Marunda	23
Medan-Marunda	1367
Bekasi-Marunda	19
Pulo Gadung-Marunda	17.5
Bekasi-Marunda	21
Marunda-Bogor	30
Pedurenan-Bogor	42
Bandengan-Bogor	49
Medan-Bogor	1441
Bekasi-Bogor	47
Pulo Gadung-Bogor	57
Bekasi-Bogor	45

2.3 Jarak lokasi CPO dengan setiap pabrik biodiesel yang ada

Rute		Jarak (km)
Dari lokasi CPO	Ke pabrik biodiesel	
Sumatera Utara	Tangerang	1230
Riau	Tangerang	874
Sumatera Selatan	Tangerang	310
Jawa Barat	Tangerang	127
Kalimantan Timur	Tangerang	1341
Kalimantan Barat	Tangerang	806
Kalimantan Tengah	Tangerang	898
Papua	Tangerang	3383
Sumatera Utara	Serang	1186
Riau	Serang	862
Sumatera Selatan	Serang	321
Jawa Barat	Serang	188
Kalimantan Timur	Serang	1374
Kalimantan Barat	Serang	835
Kalimantan Tengah	Serang	931
Papua	Serang	3426
Sumatera Utara	Bekasi	1261
Riau	Bekasi	918
Sumatera Selatan	Bekasi	332
Jawa Barat	Bekasi	95
Kalimantan Timur	Bekasi	1308
Kalimantan Barat	Bekasi	789

Kalimantan Tengah	Bekasi	872
Papua	Bekasi	3346
Sumatera Utara	Serang	1186
Riau	Serang	862
Sumatera Selatan	Serang	321
Jawa Barat	Serang	188
Kalimantan Timur	Serang	1374
Kalimantan Barat	Serang	835
Kalimantan Tengah	Serang	931
Papua	Serang	3426
Sumatera Utara	Marunda	1995
Riau	Marunda	1426
Sumatera Selatan	Marunda	541
Jawa Barat	Marunda	235
Kalimantan Timur	Marunda	2109
Kalimantan Barat	Marunda	1266
Kalimantan Tengah	Marunda	1410
Papua	Marunda	550
Sumatera Utara	Bogor	1279
Riau	Bogor	928
Sumatera Selatan	Bogor	374
Jawa Barat	Bogor	100
Kalimantan Timur	Bogor	1349
Kalimantan Barat	Bogor	835
Kalimantan Tengah	Bogor	909
Papua	Bogor	3372

2.4 Jarak lokasi CPO dengan setiap pabrik olein yang ada

Dari lokasi CPO	Ke pabrik Olein	Jarak (km)
Sumatera Utara	Marunda	1193
Riau	Marunda	837
Sumatera Selatan	Marunda	273
Jawa Barat	Marunda	90
Kalimantan Timur	Marunda	1304
Kalimantan Barat	Marunda	769
Kalimantan Tengah	Marunda	861
Papua	Marunda	3346
Sumatera Utara	Pedurenan	1207
Riau	Pedurenan	851
Sumatera Selatan	Pedurenan	287
Jawa Barat	Pedurenan	104
Kalimantan Timur	Pedurenan	1318
Kalimantan Barat	Pedurenan	783
Kalimantan Tengah	Pedurenan	875

Papua	Pedurenan	3360
Sumatera Utara	Bandengan	1206
Riau	Bandengan	850
Sumatera Selatan	Bandengan	286
Jawa Barat	Bandengan	103
Kalimantan Timur	Bandengan	1317
Kalimantan Barat	Bandengan	782
Kalimantan Tengah	Bandengan	874
Papua	Bandengan	3359
Sumatera Utara	Medan	158
Riau	Medan	514
Sumatera Selatan	Medan	1078
Jawa Barat	Medan	1261
Kalimantan Timur	Medan	2729
Kalimantan Barat	Medan	2194
Kalimantan Tengah	Medan	2286
Papua	Medan	4771
Sumatera Utara	Bekasi	1187
Riau	Bekasi	831
Sumatera Selatan	Bekasi	267
Jawa Barat	Bekasi	84
Kalimantan Timur	Bekasi	1298
Kalimantan Barat	Bekasi	763
Kalimantan Tengah	Bekasi	855
Papua	Bekasi	3340
Sumatera Utara	Pulogadung	1194
Riau	Pulogadung	838
Sumatera Selatan	Pulogadung	274
Jawa Barat	Pulogadung	91
Kalimantan Timur	Pulogadung	1305
Kalimantan Barat	Pulogadung	770
Kalimantan Tengah	Pulogadung	862
Papua	Pulogadung	3347
Sumatera Utara	Narogong	1186
Riau	Narogong	830
Sumatera Selatan	Narogong	266
Jawa Barat	Narogong	83
Kalimantan Timur	Narogong	1297
Kalimantan Barat	Narogong	762
Kalimantan Tengah	Narogong	854
Papua	Narogong	3339

Lampiran 3 Data untuk rantai suplai

Tahun	Biaya <i>Blending</i> (Rp/liter)		Biaya Penyimpanan (Rp/liter)
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 2
2006	0.338	0.838	37.72
2007	0.319	0.792	35.64
2008	0.302	0.748	33.68
2009	0.285	0.707	31.82
2010	0.27	0.668	30.07
2011	0.255	0.631	28.41
2012	0.241	0.597	26.85
2013	0.227	0.564	25.37
2014	0.215	0.533	23.97
2015	0.203	0.503	22.65
2016	0.275	0.476	21.4
2017	0.26	0.449	20.22
2018	0.246	0.425	19.11
2019	0.232	0.401	18.06
2020	0.22	0.379	17.06
2021	0.205	0.354	15.92
2022	0.191	0.33	14.86
2023	0.179	0.308	13.87
2024	0.167	0.288	12.94
2025	0.155	0.268	12.08
Rata-rata	0.24	0.51	23.09