



TUGAS AKHIR - RE184804

**KAJIAN DAMPAK PROSES PRODUKSI MINYAK
BUMI TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE *LIFE CYCLE*
ASSESSMENT (LCA)**

SRI SULISTYAWATI
0321154000045

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE184804

**KAJIAN DAMPAK PROSES PRODUKSI
MINYAK BUMI TERHADAP LINGKUNGAN
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE
CYCLE ASSESSMENT (LCA)***

SRI SULISTYAWATI
0321154000045

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - RE184804

STUDY ON THE IMPACTS OF CRUDE OIL PRODUCTION PROCESS USING LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD

SRI SULISTYAWATI
0321154000045

Supervisor
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

Department of Environmental Engineering
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJIAN DAMPAK PROSES PRODUKSI MINYAK BUMI
TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN
METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)**

TUGAS AKHIR

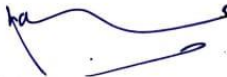
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

SRI SULISTYAWATI

NRP. 03211540000045

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.

NIP. 19660116 199703 1 001



“Halaman ini sengaja diosongkan”

Kajian Dampak Proses Produksi Minyak Bumi Terhadap Lingkungan dengan menggunakan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)*

Nama : Sri Sulistyawati
NRP : 03211540000045
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

ABSTRAK

Pemanasan global merupakan suatu fenomena global yang dipicu oleh kegiatan manusia terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan bakar fosil dan kegiatan alih guna lahan. Perkembangan teknologi menjadi salah satu faktor meningkatnya produksi emisi, terutama pemanfaatan teknologi pada kegiatan sektor industri. Jenis emisi utama yang dihasilkan dari industri minyak dan gas bumi adalah karbon dioksida (CO₂). Kontribusi emisi gas rumah kaca dari sektor minyak dan gas bumi diperkirakan akan bertambah dari 122 *Metric Ton* (Mt) CO₂ di tahun 2005 menjadi 137 *Metric Ton* (Mt) CO₂ pada tahun 2030. Sumber emisi CO₂ lainnya di sektor minyak dan gas bumi adalah fasilitas hulu, diantaranya dari penyalaan gas (*gas flaring*), produksi ikutan bersama gas alam, fasilitas pemrosesan gas dan berbagai peralatan pembakaran yang digunakan pada kegiatan produksi minyak dan gas bumi. Emisi yang dihasilkan oleh Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati pada tahun 2015 sebesar 48.947,35 ton CO₂e dan meningkat pada tahun 2016 sebesar 232.950,30 CO₂e. Maka dari itu diperlukannya kajian LCA sebagai solusi untuk pengurangan emisi gas rumah kaca (CO₂, CH₄, N₂O), NO₂ dan SO_x di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan beban emisi gas rumah kaca (CO₂, CH₄, N₂O), NO_x dan SO_x yang dihasilkan dari kegiatan produksi minyak bumi, menentukan dampak lingkungan yang timbul dari kegiatan produksi minyak bumi, serta merekomendasikan alternatif yang dapat mereduksi dampak lingkungan dari kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati. Data konsentrasi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x,

mass balance, jumlah bahan baku, bahan bakar yang digunakan serta emisi yang dihasilkan pada setiap unit proses utama dan unit penunjang, serta data jumlah produk yang dihasilkan dari kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati, digunakan untuk menentukan dampak yang akan ditimbulkan terhadap lingkungan melalui tahapan analisis LCA dengan menggunakan metode *Eco Indicator 99* dalam *software* SimaPro 8.5.2. Berdasarkan besarnya dampak yang dihasilkan dari analisis LCA dengan *software* SimaPro 8.5.2, maka dapat diperkirakan alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk mereduksi dampak yang terjadi.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan nilai beban emisi CO₂, CH₄, N₂O dan NO_x terbesar berturut-turut sebesar 9600 ton CO₂/tahun, 129 ton CH₄/tahun, 0,298 ton N₂O/tahun dan 5,52 ton NO_x/tahun dihasilkan oleh unit LP *flare*. Sedangkan, untuk beban emisi SO_x terbesar dihasilkan oleh unit *genset* sebesar 20,11 ton SO_x/tahun, dan beban emisi nmHC terbesar dihasilkan oleh unit separator senilai 0,1161 ton nmHC/tahun. Emisi tersebut menimbulkan dampak terhadap kategori penurunan kesehatan manusia (*human health*). Namun dampak terbesar lainnya yang ditimbulkan adalah kategori penurunan sumber daya alam (*resources*) akibat dari penggunaan minyak bumi sebagai bahan baku utama, serta dampak terhadap kualitas ekosistem (*ecosystem quality*) akibat dari penggunaan lahan untuk sumur-sumur produksi. Proses yang memiliki nilai dampak tertinggi terhadap lingkungan adalah proses produksi minyak bumi pada unit separator PV-9900, dengan nilai dampak total sebesar 12.620 MPt dan nilai masing-masing kategori kerusakan sebesar 4,76 x 10¹¹ MJ *surplus* untuk kategori *resources*, 0,00118 DALY untuk kategori *human health* dan 0,0847 PDF.m².year untuk kategori *ecosystem quality*. Maka, alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk mereduksi dampak lingkungan yang terjadi di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati adalah penggunaan bahan bakar *biodiesel* pada unit *genset* dengan nilai penurunan dampak sebesar 31%. Pembangunan *power plant* sebagai langkah memaksimalkan pengolahan gas alam dan mengurangi pembuangan gas alam secara berlebih ke

lingkungan, serta pemanfaatan air terproduksi dalam mengurangi penipisan sumber daya alam, dapat dilakukan dengan alternatif *injection produced water* pada sumur produksi. Mampu mereduksi dampak pada unit separator PV-9900 berturut-turut sebanyak 19% dan 19%.

Kata kunci: *Eco Indicator 99*, LCA, Minyak Bumi, SimaPro 8.5.2.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Study On The Impacts Of Crude Oil Production Process On The Environment Using Life Cycle Assessment (LCA) Method

Name : Sri Sulistyawati
NRP : 0321154000045
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

ABSTRACT

Global warming is a global phenomenon triggered by human activities, especially those related to the use of fossil fuels and the functional shift of land use. Technology development is one of the factors increasing the production of emission, especially the use of technology in the industrial sector. The main emission produced from the oil and gas industry is carbon dioxide (CO₂). The contribution of greenhouse gas emissions from the oil and gas sector is expected to increase from 122 metric tons (Mt) of CO₂ in 2005 to 137 metric tons (Mt) of CO₂ in 2030. Other sources of CO₂ emissions in the oil and gas sector are upstream facilities, including from gas flaring, co-production of natural gas, gas processing facilities and various combustion equipments used in oil and gas production. Emissions produced by PT Pertamina EP Asset 4 Field Sukowati in 2015 amounted to 48.947,35 tons of CO₂e and increased in 2016 amounted to 232.950,30 CO₂e. Therefore LCA study is needed as a solution to reduce greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, N₂O) NO₂ and SO_x at PT Pertamina EP Asset 4 Field Sukowati.

The purpose of this study is to determine the emission of greenhouse gases CO₂, CH₄, N₂O, NO₂ and SO_x generated from petroleum production activities, determine the environmental impacts arising from petroleum production activities and recommend alternatives that can reduce the environmental impact of petroleum production activities at PT Pertamina EP Asset 4 Field Sukowati. Data on the concentration of CO₂, CH₄, N₂O, NO₂ and SO_x, mass balance, the amount of raw materials, fuels used and emissions produced in each of the main process units and supporting

units, as well as data on the amount of products produced from petroleum production activities at PT Pertamina EP Asset 4 Field Sukowati, are used to determine the impact on the environment that would arise through the stages of LCA analysis using the Eco Indicator 99 method in the SimaPro 8.5.2 software, an applicable, recovery alternative can be predicted to reduce the impact that occurs.

The results obtained from this study show the largest value of CO₂, CH₄, N₂O and NO₂ emissions are, respectively, 9.600 tons CO₂/year, 129 tons CH₄/year, 0,298 tons N₂O/year and 5,52 tons NO_x/year produced by the unit flares. Meanwhile, the largest SO_x emissions load was generated by generator units of 20,11 tons SO_x/year and the largest emission of nmHC was produced by a separator unit worth 0,116 tons nmHC/year. These emissions have an impact on the category of decreasing human health. However, the other biggest impact caused is the category of decreasing resources due to the use of petroleum as the main raw material, as well as the impact on the quality of the ecosystem due to land use production wells. The process that has the highest impact value on the environment is the process of producing oil in the PV-9900 separator unit, with an impact value of 12620 MPt and the value of each category of damage of $4,76 \times 10^{11}$ MJ surplus for the 'resources' category, 0,00118 DALY for the 'human health' category and 0,0847 PDF.m².year for 'ecosystem quality' category. Then, a repair alternative that can be applied to reduce the environmental impact that occurs at CPA, PT Pertamina Asset 4 Field Sukowati is the use of biodiesel fuel in the generator unit with an impact reduction value of 31%. The construction of a power plant as a step to maximize natural gas processing and reduce excessive natural gas discharges to the environment, as well as the utilization of produced water in reducing depletion of resources, can be done with an injection produced water alternative in production wells. Able to reduce the impact on the PV-9900 separator unit 19% and 19% respectively.

Keywords: Eco Indicator 99, LCA, Crude Oil, SimaPro 8.5.2.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, kenikmatan, kemudahan serta berkah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir. Tugas akhir ini berjudul “**Kajian Dampak Proses Produksi Minyak Bumi Terhadap Lingkungan dengan menggunakan Metode *Life Cycle Assessment (LCA)***”. Tugas akhir ini dapat terselesaikan tidak lepas dari peran serta berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT atas segala nasihat dan bimbingannya selama kegiatan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir.
2. Ibu Ir. Atiek Moesriati, M. Kes, Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT, dan Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST, MEPM atas arahan yang diberikan untuk kegiatan penelitian ini.
3. Ibu Suharti Arief dan Bapak Hariyanto Batjo atas segala dukungan doa, moral dan materi demi kelancaran tugas akhir.
4. Bapak Mohammad Sahli dan rekan-rekan Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati atas bantuan dan dan kerjasamanya selama pengerjaan tugas akhir.
5. M. Alif Hidayat atas segala dukungan doa dan bimbingannya selama proses pengerjaan tugas akhir.
6. Shabaria Mahsuna, Reisa Renova dan Widiyanti Nur Rochman atas segala dukungan dan bantuannya selama pengerjaan tugas akhir dimulai.
7. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS 2015 atas segala bantuan dan dukungannya selama proses pengerjaan tugas akhir.

Penulis memohon saran, kritik dan penyempurnaan dari pembaca terkait dengan tugas akhir ini. Terima kasih.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

VII

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	I
ABSTRACT	V
KATA PENGANTAR	VII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR GAMBAR.....	XIII
DAFTAR TABEL.....	XVII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Ruang Lingkup	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Eksplorasi Sumber Daya Alam.....	7
2.2 Proses Eksplorasi dan Produksi Minyak Bumi.....	7
2.2.1 Proses Pengeboran Minyak Bumi	8
2.2.2 Proses Produksi Minyak Bumi.....	12
2.3 Minyak Bumi	14
2.4 Pencemaran Udara	16
2.4.1 Pemanasan Global.....	17
2.4.2 Efek Rumah Kaca.....	18
2.4.3 Penipisan Lapisan Ozon.....	20

2.4.4 Sumber Emisi pada Industri Minyak dan Gas Bumi	22
2.4.5 Karakteristik Emisi	23
2.4.6 Metode Perhitungan Beban Emisi	24
2.5 <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	26
2.5.1 Karakteristik dan Batasan <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	28
2.5.2 Prinsip <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	29
2.5.3 Metodologi <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	30
2.6 Aplikasi SimaPro	31
2.6.1 Metode <i>Eco indicator 99</i>	33
2.6.2 Penggunaan <i>Software SimaPro</i>	36
2.7 Penelitian Terdahulu mengenai LCA	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	47
3.1 Umum	47
3.2 Profil Perusahaan	47
3.3 <i>Central Processing Area (CPA)</i>	48
3.4 Kerangka Penelitian	50
3.5 Tahap Pendahuluan	52
3.6 Tahap Pengumpulan Data	52
3.7 Tahap Pengolahan Data	55

3.7.1 Analisis Beban Emisi CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x dan SO _x	55
3.7.2 Analisis <i>Life Cycle Assessment</i> dengan <i>Software</i> SimaPro 8.5.2	56
3.7.3 Analisis Alternatif Perbaikan	58
3.8 Kesimpulan dan Saran	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1 Perhitungan Beban Emisi	60
4.1.1 Perhitungan Beban Emisi Separator	60
4.1.2 Perhitungan Beban Emisi <i>Flare</i>	63
4.1.3 Perhitungan Beban Emisi <i>Genset</i>	67
4.2 Analisis Hasil Perhitungan Beban Emisi	69
4.3 Analisis LCA menggunakan SimaPro 8.5.2	72
4.3.1 <i>Goal and Scope</i>	72
4.3.2 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i>	73
4.3.3 <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	81
4.3.4 Interpretasi Analisis <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	100
4.3.5 Evaluasi <i>Life Cycle Assessment</i>	101
4.4 Analisis Alternatif Perbaikan	114
4.5 Skenario Alternatif Perbaikan	120
4.5.1 Skenario I	120

4.5.2 Skenario II	121
4.6 Hasil Analisis Skenario Alternatif Perbaikan	121
4.6.1 Hasil Analisis Skenario I	121
4.6.2 Hasil Analisis Skenario II	123
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	129
5.1 Kesimpulan	129
5.2 Saran	130
DAFTAR PUSTAKA	131
LAMPIRAN	139
BIOGRAFI PENULIS	173

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PFD PT Pertamina Asset 4 <i>Field</i> Sukowati.....	12
Gambar 2.2 Ruang Lingkup LCA	28
Gambar 2.3 <i>Framework</i> LCA menurut ISO 14040 (1997)	30
Gambar 2.4 <i>Impact categories and pathway covered by the EI 99 methodology</i>	34
Gambar 4.1 <i>Boundaries System</i> Proses Produksi Minyak Bumi.....	49
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	51
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	51
Gambar 4.2 Data Pencemar Udara PEP Asset 4 <i>Field</i> Sukowati dan OGP	71
Gambar 4.3 <i>Mass Balance ESP skw 15</i>	76
Gambar 4.4 <i>Mass Balance ESP skw 12a</i>	76
Gambar 4.5 <i>Mass Balance ESP skw 25</i>	76
Gambar 4.6 <i>Mass Balance ESP skw 32</i>	77
Gambar 4.7 <i>Mass Balance ESP skw 34</i>	77
Gambar 4.8 <i>Mass Balance Separator V-100</i>	78
Gambar 4.9 <i>Mass Balance Separator PV-9900</i>	78
Gambar 4.10 <i>Mass Balance Stripper PV-9500</i>	79
Gambar 4.11 <i>Mass Balance Oil Gas Boot TK-900</i>	80
Gambar 4.12 <i>Mass Balance LP Flare</i>	80
Gambar 4.13 Diagram Karakterisasi Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)	83
Gambar 4.14 Diagram Tahapan Karakterisasi pada Proses Produksi Minyak Bumi	84

Gambar 4.15 Diagram <i>Damage Assessment</i> Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)	86
Gambar 4.16 Diagram <i>Damage Assessment</i> Proses Produksi Minyak Bumi	87
Gambar 4.17 Diagram Normalisasi Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)	89
Gambar 4.18 Diagram Normalisasi Proses Produksi Minyak Bumi.....	89
Gambar 4.19 Diagram Pembobotan Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)	91
Gambar 4.20 Diagram Pembobotan Proses Produksi Minyak Bumi.....	92
Gambar 4.21 Diagram Tahapan <i>Single Score</i> pada Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)	93
Gambar 4.22 Diagram Tahap <i>Single Score</i> pada Proses Produksi Minyak Bumi.....	95
Gambar 4.23 Diagram <i>Network</i> pada Proses Pengambilan Minyak Bumi.....	98
Gambar 4.24 Diagram <i>Network</i> pada Proses Produksi Minyak Bumi.....	100
Gambar 4.25 Perbandingan Hasil <i>Sensitivity Check</i> Kategori <i>Resources</i> Proses Produksi Minyak Bumi	107
Gambar 4.26 Perbandingan Hasil <i>Sensitivity Check</i> Kategori <i>Resources</i> Proses Pengambilan Minyak Bumi	108
Gambar 4.27 Perbandingan Hasil <i>Sensitivity Check</i> Kategori <i>Human Health</i> Proses Produksi Minyak Bumi.....	109

Gambar 4.28 Perbandingan Hasil <i>Sensitivity Check</i> Kategori <i>Human Health</i> Proses Pengambilan Minyak Bumi	110
Gambar 4.29 Perbandingan Hasil <i>Sensitivity Check</i> Kategori <i>Ecosystem Quality</i> Proses Produksi Minyak Bumi.....	111
Gambar 4.30 Perbandingan Hasil <i>Sensitivity Check</i> Kategori <i>Ecosystem Quality</i> Proses Produksi Minyak Bumi.....	112
Gambar 4.31 Perbandingan Nilai <i>Resources</i>	122
Gambar 4.32 Perbandingan Nilai <i>Human Health</i> Proses Produksi Minyak Bumi	124
Gambar 4.33 Perbandingan Nilai <i>Human Health</i> Proses Pengambilan Minyak Bumi	126
Gambar L.I.1 <i>Process Flow Diagram</i> Produksi Minyak Bumi	143
Gambar L.III.1 Grafik Tahapan Karakterisasi Skenario I	157
Gambar L.III.2 Grafik Tahapan <i>Damage Assessment</i> Skenario I.....	158
Gambar L.III.3 Grafik Tahapan Normalisasi Skenario I	159
Gambar L.III.4 Grafik Tahapan Pembobotan Skenario I.....	160
Gambar L.III.5 Grafik Tahapan <i>Single Score</i> Skenario I.....	161
Gambar L.III.6 Grafik Tahapan Karakterisasi Skenario II	162
Gambar L.III.7 Grafik Tahapan <i>Damage Assessment</i> Skenario II.....	163
Gambar L.III.8 Grafik Tahapan Normalisasi Skenario II	164
Gambar L.III.9 Grafik Tahapan Pembobotan Skenario II.....	165
Gambar L.III.10 Grafik Tahapan <i>Single Score</i> Skenario II...	166
Gambar L.III.1 Grafik Tahapan Karakterisasi Skenario II	167

Gambar L.III.2 Grafik Tahapan <i>Damage Assessment</i> Skenario II	168
Gambar L.III.3 Grafik Tahapan Normalisasi Skenario II	169
Gambar L.III.4 Grafik Tahapan Pembobotan Skenario II	170
Gambar L.III.5 Grafik Tahapan <i>Single Score</i> Skenario II	171

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Emisi Untuk Unit Pembakaran (<i>fuel based</i>)	26
Tabel 2.2 Faktor Emisi Untuk Unit Suar Bakar (<i>Flare</i>)	26
Tabel 2.3 Faktor Karakterisasi, Normalisasi dan Pembobotan Metode <i>EI/99</i>	36
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu mengenai LCA	39
Tabel 3.1 Data yang Diperlukan	53
Tabel 4.1 Faktor Emisi CH ₄ untuk sumber <i>fugitive</i>	62
Tabel 4.2 Faktor Emisi untuk <i>Gas Flaring</i>	65
Tabel 4.3 Faktor Emisi untuk Unit Pembakaran (<i>Fuel Based</i>)	68
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Beban Emisi	69
Tabel 4.5 kWh Penggunaan ESP	75
Tabel 4.6 <i>Running Hour</i> Penggunaan ESP	75
Tabel 4.7 Hasil Analisis LCIA	101
Tabel 4.8 <i>Completeness Check</i> Proses Pengambilan Minyak Bumi	103
Tabel 4.9 <i>Completeness Check</i> Proses Produksi Minyak Bumi	103
Tabel 4.10 Data Normal Bahan Bakar Unit <i>Genset</i>	105
Tabel 4.11 Data Penambahan Bahan Bakar Unit <i>Genset</i>	105
Tabel 4.12 <i>Consistency Check</i> Proses Pengambilan dan Produksi Minyak Bumi	114
Tabel 4.13 Alternatif Perbaikan yang direncanakan	116
Tabel 4.14 Perbandingan Nilai <i>Resources</i>	122

Tabel 4.15 Perbandingan Nilai <i>Human Health</i> Proses Produksi Minyak Bumi	124
Tabel 4.16 Perbandingan Nilai <i>Human Health</i> Proses Pengambilan Minyak Bumi	126
Tabel L.II.1 Hasil Analisis Karakterisasi pada Proses Pengambilan Minyak Bumi	147
Tabel L.II.2 Hasil Analisis <i>Damage Assessment</i> pada Proses Pengambilan Minyak Bumi	147
Tabel L.II.3 Hasil Analisis Normalisasi pada Proses Pengambilan Minyak Bumi	148
Tabel L.II.4 Hasil Analisis Pembobotan pada Proses Pengambilan Minyak Bumi	148
Tabel L.II.5 Hasil Analisis <i>Single Score</i> pada Proses Pengambilan Minyak Bumi	149
Tabel L.II.6 Hasil Analisis Karakterisasi pada Proses Produksi Minyak Bumi	149
Tabel L.II.7 Hasil Analisis <i>Damage Assessment</i> pada Proses Produksi Minyak Bumi	150
Tabel L.II.8 Hasil Analisis Normalisasi pada Proses Produksi Minyak Bumi	151
Tabel L.II.9 Hasil Analisis Pembobotan pada Proses Produksi Minyak Bumi	152
Tabel L.II.10 Hasil Analisis <i>Single Score</i> pada Proses Produksi Minyak Bumi	153

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, 68% pemenuhan kebutuhan energi di dunia berasal dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil yang sering kali dimanfaatkan dapat berupa batu bara, minyak bumi dan gas alam (*International Energy Agency*, 2011). Hasil kajian *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2007 menunjukkan bahwa konsentrasi gas CO₂ pada masa pra-industri sebesar 278 ppm, sedangkan pada tahun 2005 adalah sebesar 379 ppm. Akibat yang ditimbulkan dari perubahan ini adalah temperatur global naik sebanyak 0,74°C, selain itu telah terjadi kenaikan muka air laut sebesar 0,17 m, kemudian telah terjadi pula pengurangan tutupan salju sebesar 7% di belahan bumi utara dan sungai-sungai akan lebih lambat membeku. Pemanasan global merupakan salah satu indikasi dari terjadinya perubahan iklim (Samiaji, 2011). Pemanasan global merupakan suatu fenomena global yang dipicu oleh kegiatan manusia terutama yang berkaitan dengan penggunaan bahan bakar fosil dan kegiatan alih guna lahan. Kegiatan ini menghasilkan gas-gas yang semakin lama semakin banyak jumlahnya di atmosfer, terutama gas karbon dioksida (CO₂) (Achmad, 2009).

Indonesia menjadi salah satu negara yang berkontribusi dalam emisi, dimana 1,981 miliar ton emisi dihasilkan. Perkembangan teknologi menjadi salah satu faktor meningkatnya produksi emisi, terutama pemanfaatan teknologi pada kegiatan sektor industri. Kegiatan industri berperan sebanyak 39 juta ton dalam melepaskan emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara ke atmosfer. Pemanasan global menjadi salah satu isu lingkungan yang dihadapi oleh banyak negara. Terdapat enam jenis gas yang digolongkan sebagai gas rumah kaca, yaitu karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitro oksida (N₂O), perfloro karbon (PFCs), hidro floro karbon (HFCs) dan heksa florida (SF₆) di lapisan troposfer (Konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC*), 2006, dalam Samiaji, 2009).

PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati, merupakan salah satu perusahaan yang mengeksplor dan memproduksi minyak bumi di Indonesia. Produk utama yang dihasilkan adalah minyak dan gas bumi. Proses produksi minyak bumi yang terdapat pada PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati, yaitu melewati unit proses *separator*, *stripper* dan *gas boot* yang selanjutnya minyak akan disimpan dalam tanki penyimpanan. Proses penunjang ialah unit *scubber* dan *flare*, dimana pada unit *flare* terjadi proses pembakaran dan pelepasan emisi ke atmosfer.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2012), jenis emisi utama yang dihasilkan dari industri minyak dan gas bumi adalah karbon dioksida (CO₂). Kontribusi emisi gas rumah kaca dari sektor minyak dan gas bumi diperkirakan akan bertambah dari 122 *Metric Ton* (Mt) CO₂ di tahun 2005 menjadi 137 *Metric Ton* (Mt) CO₂ pada tahun 2030, terutama dari tambahan kapasitas pengilangan yang akan datang. Sumber emisi CO₂ lainnya di sektor minyak dan gas bumi adalah fasilitas hulu, termasuk penyalaan gas (*gas flaring*), produksi ikutan bersama gas alam, fasilitas pemrosesan gas dan berbagai peralatan pembakaran yang digunakan pada kegiatan eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi (Kementerian Keuangan RI, 2015).

Minyak bumi merupakan salah satu sumber energi utama, pemanfaatan minyak bumi yang tidak memperhatikan kelestarian lingkungan tentu akan merugikan manusia itu sendiri (Komarawidjaja, 2009). Pemerintah Indonesia telah membuat komitmen untuk mencapai obyektif sendiri mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 26% pada tahun 2020. Dari angka 26% pengurangan emisi gas rumah kaca tersebut, 6% berasal dari sektor energi (Kementerian Keuangan RI, 2015). Melihat peningkatan emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara yang dihasilkan, maka perlu dilakukan sebuah strategi alternatif untuk menghasilkan produk ramah lingkungan. Konsep hidup dengan mengurangi dampak lingkungan, pemakaian sumber daya melalui daur hidup (*life cycle*) dan mengetahui tingkat *sustainability* suatu produk (Palupi, *et al.*, 2014). Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat *sustainability* suatu produk adalah

Life Cycle Assessment (LCA). *Life Cycle Assessment (LCA)* merupakan suatu metode untuk menyusun data secara lengkap, mengevaluasi dan mengkaji dampak lingkungan yang terkait dengan produk, proses dan aktivitas. LCA dikembangkan salah satunya adalah untuk mengkaji dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh pabrik dan proses produksi (Haas, 2000).

Berdasarkan data publikasi PT Pertamina EP (2018), produksi minyak yang dihasilkan oleh PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati meningkat dari 6.800 BOPD menjadi 10.010 BOPD, meningkatnya produksi minyak bumi menghasilkan emisi yang besar pula. Berdasarkan data PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati, total beban emisi yang dihasilkan pada tahun 2015 sebesar 48.947,35 Ton CO₂ *Equivalen* dan pada tahun 2016 meningkat menjadi 232.950,30 Ton CO₂ *Equivalen*. Oleh sebab itu, perlu dilakukannya kajian LCA untuk mengetahui dampak akibat dari aktivitas proses produksi dan memberikan rekomendasi untuk mereduksi dampak tersebut. Penelitian ini menggunakan *software* SimaPro 8.5.2 dengan penilaian dampak berbasis metode *endpoint* untuk menganalisis dan membandingkan aspek-aspek lingkungan dari suatu produk, sehingga nantinya dapat diketahui dampak yang ditimbulkan dari kegiatan produksi minyak bumi. Metode *endpoint* dalam *software* SimaPro 8.5.2 ini merupakan metode evaluasi yang mengklasifikasikan zat menurut efeknya terhadap dampak lingkungan (Sirait, 2016). Pada metode *endpoint* terdapat 11 kategori dampak yang diklasifikasikan dalam tiga kerusakan utama, yaitu dampak terhadap kesehatan manusia (*Human Health*), dampak terhadap kerusakan ekosistem (*Ecosystem Quality*) dan dampak terhadap penggunaan sumber daya alam (*Resources*). Penggunaan metode *endpoint* dalam *software* SimaPro ini disesuaikan dengan proses dan produk yang dianalisis. Pendekatan LCA berguna untuk menghindari pergeseran dampak dari suatu fase daur hidup produk ke fase lainnya (Turconi, *et al.*, 2013). Dengan demikian, alternatif perbaikan yang dilakukan berdasarkan hasil analisis LCA diharapkan dapat mengurangi potensi dampak yang terjadi pada proses

produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah dampak lingkungan yang terjadi atas kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati melalui pendekatan metode *Life Cycle Assessment* (LCA)?
2. Berapa beban emisi gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , N_2O), NO_2 dan SO_x yang dihasilkan dari kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati?
3. Alternatif terbaik apa yang dapat diberikan untuk mereduksi dampak lingkungan pada kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Menentukan beban emisi gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , N_2O), NO_x dan SO_x yang dihasilkan dari kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati.
2. Menentukan dampak lingkungan yang timbul dari kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).
3. Merekomendasikan alternatif terbaik untuk mereduksi dampak lingkungan dari kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup data dalam proposal ini adalah:

1. Lokasi penelitian bertempat di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati.
2. Dampak terhadap lingkungan yang dilakukan analisis adalah dampak terhadap kualitas udara. Indikator emisi gas rumah kaca yang dianalisis, yaitu karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan dinitrogenoksida (N₂O), nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur oksida (SO_x).
3. *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) yang dinilai meliputi *Ecosystem Quality*, *Resources* dan *Human Health*.
4. Penentuan alternatif terbaik didasarkan dari hasil analisis LCA menggunakan *software* SimaPro 8.5.2, dengan penilaian dampak berbasis metode *endpoint*.
5. Analisis LCA yaitu *gate to gate*.
6. Proses produksi yang dianalisis berfokus pada unit separator, *stripper*, *oil gas boot* dan *LP Flare*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai dampak lingkungan dari kegiatan produksi minyak bumi.
2. Memberikan solusi pengendalian emisi berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).
3. Memberikan alternatif perbaikan paling optimum dalam mereduksi emisi hasil kegiatan produksi minyak bumi.
4. Sebagai bahan evaluasi perusahaan dalam menganalisis aktivitas proses produksi yang ramah lingkungan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Eksplorasi Sumber Daya Alam

UU Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi, menyebutkan bahwa minyak dan gas bumi merupakan sumber daya alam strategis tidak terbarukan serta merupakan komoditas vital. Dijelaskan bahwa kegiatan usaha hulu adalah kegiatan usaha yang berintikan atau bertumpu pada kegiatan usaha eksplorasi dan eksploitasi. Sedangkan kegiatan usaha hilir adalah kegiatan usaha yang berintikan pada kegiatan usaha pengolahan, pengangkutan, penyimpanan dan/atau niaga.

Dalam pasal 5 UU Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi, kegiatan usaha minyak dan gas bumi merupakan gabungan dari kegiatan hulu dan kegiatan hilir dimana terdiri atas eksplorasi, eksploitasi, pengolahan, pengangkutan, penyimpanan dan niaga. Dijelaskan pula eksplorasi merupakan kegiatan yang bertujuan memperoleh informasi mengenai kondisi geologi untuk menemukan dan memperoleh perkiraan cadangan minyak dan gas bumi di wilayah yang ditentukan. Eksploitasi adalah rangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menghasilkan minyak dan gas bumi dari wilayah yang ditentukan, yang terdiri atas pengeboran dan penyelesaian sumur, pembangunan sarana pengangkutan, penyimpanan dan pengolahan untuk pemisahan dan pemurnian minyak dan gas bumi.

2.2 Proses Eksplorasi dan Produksi Minyak Bumi

Menurut Pamungkas (2004), secara umum kegiatan industri minyak dan gas bumi dapat dibagi menjadi tiga kegiatan pokok, yaitu:

1. Kegiatan *up-stream* (hulu), yaitu kegiatan eksplorasi yang melibatkan bidang ilmu geodesi, geofisika dan geologi serta kegiatan produksi yang meliputi pengeboran, sumur produksi dan proses produksi.

2. Kegiatan *Down-stream* (hilir), yaitu kegiatan proses dan pemasaran yang meliputi pengolahan atau pemurnian, distribusi, penyimpanan dan transportasi.
3. Kegiatan penunjang, yaitu kegiatan yang bersifat menunjang kegiatan utama baik teknis (mesin, listrik, sipil, keselamatan kerja, elektronika, dll) maupun non teknis (personalia, keuangan, administrasi, keamanan, *training*, dll).

2.2.1 Proses Pengeboran Minyak Bumi

Menurut Anonim (2013), pengeboran minyak bumi didasarkan pada tujuan yang akan dicapai dalam melakukan operasi pengeboran. Berdasarkan tujuannya pengeboran dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Pengeboran eksplorasi, bertujuan untuk membuktikan ada tidaknya suatu cekungan mengandung minyak dan atau gas bumi.
2. Pengeboran delinasi, bertujuan untuk mengetahui penyebaran sumur produksi, mencari batas-batas serta ketebalan sumur produksi.
3. Pengeboran eksploitasi, bertujuan untuk meningkatkan pengurasan terhadap sumur produksi sekaligus meningkatkan produksi.

Samperuru (2007), menyebutkan bahwa dalam proses pengeboran minyak bumi terdapat beberapa tahap untuk menghasilkan minyak bumi secara maksimal, yaitu sebagai berikut:

1. Rig: Rig adalah serangkaian peralatan khusus yang digunakan untuk membor sumur atau mengakses sumur. Ciri utama rig adalah adanya menara yang terbuat dari baja yang digunakan untuk menaik-turunkan pipa-pipa tubular sumur. Umumnya rig dikategorikan menjadi dua macam berdasarkan tempat beroperasinya, yaitu:
 - Rig Darat (*Onshore Rig*): beroperasi di darat.

- Rig Laut (*Offshore Rig*): beroperasi di atas permukaan laut (laut, sungai, rawa-rawa, danau atau delta sungai).

Dari fungsinya, rig dapat digolongkan menjadi dua macam:

- *Drilling Rig*: rig yang digunakan untuk membor sumur, baik sumur baru, cabang sumur baru maupun memperdalam sumur lama.
- *Workover Rig*: berfungsi untuk melakukan sesuatu terhadap sumur yang telah ada, seperti perawatan, perbaikan, penutupan, dsb.

2. *Logging*: *logging* merupakan teknik pengambilan data dari sumur minyak bumi menggunakan instrumen khusus. Data yang diambil meliputi pengukuran resistivitas dan konduktivitas pada berbagai frekuensi, ukuran sumur, pengambilan sampel fluida, pengukuran tekanan, pengambilan material (*coring*) dari dinding sumur, dsb. Hasil dari tahapan ini sangat penting dalam pengambilan keputusan baik pada saat pengeboran ataupun untuk tahap produksi nanti. Logging terbagi menjadi dua berdasarkan fungsinya, yaitu:

- *Logging While Drilling* (LWD): adalah pengerjaan logging yang dilakukan bersamaan pada saat pengeboran. LWD berfungsi untuk memberikan informasi mengenai resistivitas, porositas, sonic dan gammaray secepat mungkin pada saat pengeboran.
- *Mud Logging*: adalah pekerjaan mengumpulkan, menganalisis dan merekam semua informasi dari partikel solid, cairan dan gas yang terbawa ke permukaan oleh lumpur pada saat pengeboran. Fungsi utamanya ialah untuk mengetahui berbagai parameter pengeboran dan susunan sumur yang sedang dibor.

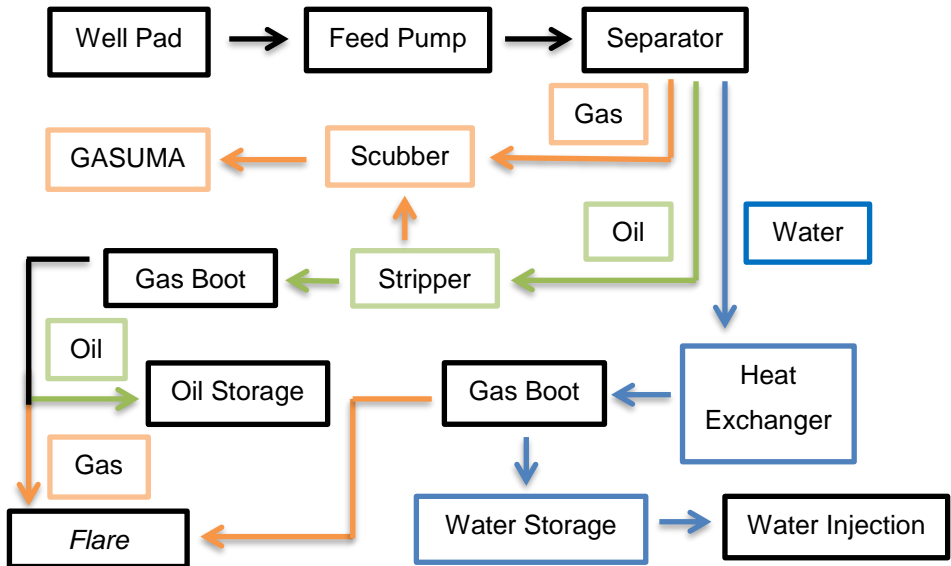
3. *Drilling*: jenis pengeboran (*drilling*) terbagi menjadi dua, yaitu pengeboran tegak (*straight hole drilling/vertical drilling*) dan pengeboran berarah (*directional/ horizontal drilling*). Pengeboran lurus atau pengeboran vertikal dilakukan mulai dari titik lokasi di permukaan, lubang sumur dipertahankan lurus vertikal sampai ke titik target. Pengeboran berarah atau horizontal merupakan pengeboran sumur dimana lubang sumur tidak lurus vertikal, melainkan terarah untuk mencapai target yang diinginkan. Beberapa faktor penyebab dilakukannya pengeboran berarah atau horizontal adalah geografi, geologi dan pertimbangan ekonomi.
4. *Perforating*: perforasi (*perforating*) merupakan proses pelubangan dinding sumur (*casing* dan lapisan semen) sehingga minyak atau gas bumi dapat mengalir ke dalam sumur melalui lubang perforasi. Tahapan ini umumnya menggunakan *Perforating Gun* yang berisi beberapa *shaped-charges* yang diturunkan atau dimasukkan ke dalam sumur sampai kedalaman yang dituju. Kemudian *shaped-charges* ini akan diledakkan dan menghasilkan semburan fluida cair dan gas dari bahan metal bertekanan tinggi (jutaan psi) dan kecepatan tinggi (7000 m/s) yang mampu menembus *casing* baja dan lapisan semen. Perforasi dapat dilakukan secara elektrik dengan menggunakan peralatan *logging* atau juga secara mekanikal melewati *tubing* (*TCP Tubing Conveyed Perforations*).
5. *Well Testing*: *well testing* merupakan metode untuk mendapatkan berbagai properti dari sumur produksi secara dinamis dan hasilnya lebih akurat dalam jangka panjang. Tujuannya ialah untuk memastikan kondisi sumur produksi dapat mengalir dan berproduksi, mengetahui kandungan hidrokarbon di dalam sumur produksi dan kualitasnya dan memperkirakan jangka waktu sumur produksi dapat berproduksi.

6. *Stimulation*: stimulasi (*stimulation*) adalah proses mekanikal dan/atau kimia yang ditujukan untuk menaikkan laju produksi dari suatu sumur. Metode stimulasi dapat dikategorikan tiga macam, yaitu sebagai berikut *Wellbore Cleanup*, *Matrix Stimulation* dan *Fracturing*.
7. *Artificial Lift*: *artificial lift* merupakan metode untuk mengangkat hidrokarbon, umumnya minyak bumi dari dalam sumur ke atas permukaan. *Artificial lift* dilakukan karena tekanan di dalam sumur produksi tidak cukup tinggi untuk mendorong minyak sampai ke atas. *Artificial lift* terdiri atas lima macam, yaitu:
 - *Subsurface Electrical Pumping*.
 - *Gas Lifting*.
 - *Sucker Rod Pumping*.
 - *Jet Pump*.
 - *Progressive Cavity Pump*.
8. *Enhanced Oil Recovery* (EOR) merupakan teknik lanjutan untuk mengangkat minyak jika berbagai teknik dasar telah dilakukan tetapi hasilnya tidak ekonomis. Ada tiga macam teknik EOR, yaitu:
 - Teknik Termal: menginjeksikan fluida bertemperatur tinggi ke dalam sumur minyak untuk menurunkan viskositas minyak sehingga mudah mengalir. Dengan menginjeksikan fluida tersebut, diharapkan tekanan sumur produksi akan naik dan minyak akan terdorong ke arah sumur produksi. Teknik ini umumnya menggunakan air panas (*water injection*) atau uap air (*steam injection*).
 - Teknik *Chemical*: menginjeksikan bahan kimia berupa surfaktan atau bahan polimer untuk mengubah properti fisika dari minyak ataupun fluida yang dipindahkan.

- Proses *Miscible*: menginjeksikan fluida pendorong yang akan bercampur dengan minyak untuk lalu diproduksi. Fluida yang digunakan ialah larutan hidrokarbon, gas hidrokarbon, CO₂ ataupun gas nitrogen.

2.2.2 Proses Produksi Minyak Bumi

Hasil pengeboran minyak bumi yang dilakukan, kemudian dialirkan ke unit *separator* untuk dipisahkan fasa gas, minyak dan air, sebelum akhirnya akan di proses lebih lanjut hingga menghasilkan minyak bumi. Berikut diagram alir proses produksi minyak bumi (PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati, 2019). Lihat Gambar 2.1.



Gambar 2.1 PFD PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati
Sumber: PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati, 2019

Proses Produksi minyak bumi ini dalam ruang lingkup LCA masuk dalam kategori *gate to gate*, dimana proses ini dimulai dari *raw material* hingga *finishing product* yaitu dalam bentuk minyak bumi.

Berdasarkan Gambar 2.1, menurut Antari (2016), *separator* adalah tabung bertekanan tinggi yang digunakan untuk memisahkan *liquid* dan gas (dua fasa) atau gas, minyak dan air (tiga fasa). Pada PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati, jenis separator yang digunakan adalah separator tiga fasa. Dalam Antari (2016), separator tiga fasa pada umumnya digunakan di lapangan minyak yang bertekanan *low pressure* hingga *medium pressure* serta lebih banyak digunakan untuk sumur produksi yang lebih dominan menghasilkan minyak. Prinsip pemisahan separator sendiri terbagi menjadi empat, yaitu berdasarkan prinsip penurunan tekanan, *gravity settling*, turbulensi aliran atau perubahan aliran dan pemecahan atau tumbukan fluida pada bidang datar. Selanjutnya dari separator tiga fasa, minyak yang dihasilkan dialirkan ke *stripper*. *Stripper* adalah alat yang digunakan untuk mengambil suatu zat atau senyawa dari senyawa lainnya dengan fase yang berbeda. *Stripper* disebut juga sebagai kolom distilasi yang berfungsi sebagai unit operasi untuk melakukan proses pemisahan sebuah campuran menjadi dua atau lebih produk yang memiliki titik didih berbeda, dengan mengeluarkan komponen yang lebih mudah menguap dari campuran. *Stripper* pada umumnya dilengkapi dengan *compressor* atau pompa vakum yang berfungsi untuk mengalirkan gas atau udara, sehingga aliran gas tersebut menyerap gas yang terdapat di dalam *liquid* yang akan dipisahkan dari aliran gasnya (Anonim, 2013). Selanjutnya dari pemisahan di *stripper*, minyak dialirkan menuju *gas boot*, sedangkan gas hasil pemisahan di *stripper* di salurkan ke *scubber*.

Scubber sendiri merupakan alat pemisah gas dengan campurannya dengan menggunakan zat cair sebagai pelarut (Wardani, 2017). *Gas boot* adalah alat yang berfungsi untuk memisahkan gas dan *liquid* agar tidak masuk ke dalam *free water knock out* (FWKO)/*wash tank*. *Gas boot* juga membantu mengurangi dan menstabilkan *pressure* dari unit *stripper*. Pada *gas boot*, fluida mengalami putaran sentrifugal yang

bertujuan untuk melepaskan gas yang tersisa keluar dari fluida (Anonim, 2013). Fluida hasil proses *gas boot* selanjutnya dialirkan menuju *oil storage*/tanki, sementara gas yang telah terpisah kemudian dialirkan ke *flare*. *Flare* merupakan *off site facilities* yang berfungsi untuk membakar gas sisa dari proses pemisahan minyak dan gas bumi. Gas buangan ini mengandung bahan beracun seperti CO₂ dan SO_x yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan (Anonim, 2013).

2.3 Minyak Bumi

Pasal 1 UU Nomor 22 Tahun 2001 tentang Minyak dan Gas Bumi, dijelaskan bahwa minyak bumi adalah hasil dari proses alami berupa hidrokarbon yang dalam kondisi tekanan dan temperatur atmosfer berupa fasa cair atau padat, termasuk aspal, lilin mineral atau ozokerit dan bitumen yang diperoleh dari proses penambangan, tetapi tidak termasuk batubara atau endapan hidrokarbon lain yang berbentuk padat yang diperoleh dari kegiatan yang tidak berkaitan dengan kegiatan usaha minyak dan gas bumi.

Minyak (*petroleum*) berasal dari kata *petro* yang berarti *rock* (batu) dan *leum* yang berarti *oil* (minyak). Minyak dan gas sebagian besar terdiri dari campuran karbon dan hidrogen sehingga disebut dengan hidrokarbon yang terbentuk melalui siklus alami dan dimulai dengan sedimentasi sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang terperangkap selama jutaan tahun yang umumnya terjadi jauh dibawah dasar lautan dan menjadi minyak dan gas akibat pengaruh kombinasi antara tekanan dan temperatur yang dalam kerak bumi akhirnya berkumpul membentuk sumur-sumur minyak dan gas bumi (Anonim, 2001, dalam Susmiyati, 2006).

Minyak mentah (*crude oil*) merupakan campuran organik multi-komponen homogen yang kompleks, pada dasarnya terdiri atas hidrokarbon jenuh, hidrokarbon aromatik, resin, *asphaltenes* dan senyawa organik yang mengandung *heteroformalized* yang mengandung nitrogen, sulfur dan oksigen. (Heather, 1997, dalam Chen *et al.*, 2018)

Ada empat jenis utama minyak mentah (*crude oil*) berdasarkan kepadatan dan tingkat toksisitas yang ditentukan oleh volatilitasnya (Karras, 2010). Yaitu sebagai berikut:

1. *Light Distillates*: Minyak mentah jenis ini memiliki volatilitas yang sangat tinggi sehingga mampu menguap dalam waktu yang sangat singkat (dalam beberapa hari). Minyak mentah ini menyebar pada tingkatan yang sangat cepat, sehingga dapat mengurangi tingkat toksisitasnya. Golongan minyak mentah jenis ini yaitu *naphtha* dan *ether*, *heavy* dan *light naphtha*, *kerosene*, *gasoline* dan bahan bakar jet.
2. *Middle Distillates*: Minyak mentah ini memiliki volatilitas sedang, dengan demikian tingkat penguapan dan toksisitasnya dapat berkurang. Minyak jenis ini berasal dari industri perminyakan yang biasanya disebut dengan bahan bakar kelas 1, kelas 2 dan solar. Contoh dari minyak jenis ini adalah *light naphtha*, *marine gas oils* dan seluruh bahan bakar domestik.
3. *Medium Oils*: Minyak mentah jenis ini memiliki volatilitas yang rendah, yang artinya bahwa membutuhkan pembersihan yang sangat kuat dan banyak sehingga menaikkan tingkat toksisitasnya.
4. *Heavy Fuel Oils*: Dalam hal volatilitas dan toksisitas, *heavy fuel oils* tidak lebih baik dari *medium oils*. Contohnya adalah *heavy marine oils* dan bahan bakar kelas 3, 4, 5 dan 6.

Menurut Samperuru (2007), minyak bumi merupakan campuran rumit dari ratusan rantai hidrokarbon, yang tersusun atas hidrokarbon sebanyak 50-98% berat, sisanya terdiri atas zat-zat organik yang mengandung belerang, oksigen dan nitrogen serta senyawa-senyawa anorganik seperti vanadium, nikel dan natrium yang merupakan senyawa logam. Secara umum, komposisi minyak bumi terdiri atas karbon (C) 84-87%, hidrogen (H) 11-14%, sulfur (S) 0-3%, nitrogen (N) 0-1%, oksigen (O) 0-2% serta senyawa logam (vanadium, nikel dan natrium) sebesar 0,001-0,05% berat logam. Dijelaskan pula terdapat tiga macam jenis minyak bumi yang digolongkan berdasarkan umur dan letak kedalamannya, yaitu:

1. *Young Shallow*: Minyak bumi *young shallow* biasanya bersifat masam (*sour*), mengandung

- banyak bahan aromatik, sangat kental dan kandungan sulfurnya tinggi.
2. *Old Shallow*: Minyak *old shallow* memiliki ciri kekentalan dan titik didih yang rendah dan rantai paraffin yang lebih pendek.
 3. *Old Deep*: Minyak pada kondisi ini membutuhkan waktu yang sangat lama untuk pemrosesan, titik didihnya sangat rendah serta viskositasnya rendah. Sulfur yang terkandung dapat teruraikan dan lepas sebagai H_2S . *Old deep* adalah minyak mentah yang dikatakan “sweet”. Minyak seperti inilah yang sangat diinginkan karena dapat menghasilkan bensin (*gasoline*) dalam jumlah besar.

2.4 Pencemaran Udara

PP Nomor 41 Tahun 1999 menjelaskan bahwa pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien sampai tingkat tertentu menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Sedangkan menurut Pohan (2002), pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing didalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Bahan kimia yang merupakan zat pencemar udara adalah karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), senyawa hidrokarbon dan partikulat logam berat. Menurut asalnya, pencemaran udara dibagi menjadi dua macam, yakni:

1. Pencemaran Udara Alami
Adalah masuknya zat pencemar ke dalam udara/atmosfer, akibat dari proses-proses alam seperti asap kebakaran hutan, debu gunung berapi, pancaran garam dari laut, debu meteoroid, dsb.
2. Pencemaran Udara Non-Alami
Adalah masuknya zat pencemar oleh aktivitas manusia, yang pada umumnya tanpa disadari dan merupakan produk sampingan, berupa gas-gas beracun, asap, partikel-partikel halus, senyawa

belerang, senyawa kimia, buangan panas dan buangan akhir.

Menurut Purwodadi (1995, dalam Sari *et al.*, 2014), ada dua bentuk emisi dari dua unsur atau senyawa pencemar udara, yaitu:

1. *Primary Air Pollution*, yaitu emisi unsur-unsur pencemar udara langsung ke atmosfer dari sumber-sumber diam maupun bergerak. Pencemar udara primer ini mempunyai waktu paruh di atmosfer tinggi pula, seperti CO, CO₂, SO₂, NO₂, CFC, Cl₂ dan partikel debu.
2. *Secondary Air Pollution*, yaitu emisi pencemar udara dari hasil proses fisika-kimia di atmosfer dalam bentuk fotokimia (*photochemistry*) yang umumnya bersifat reaktif dan mengalami transformasi fisika-kimia menjadi unsur dan senyawa. Bentuknya berubah dari saat diemisikan hingga setelah ada atmosfer, misalnya ozon (O₃), aldehida dan hujan asam.

Hasil studi UAQ-i (*Urban Air Quality Improvement Project*) (2006, dalam Zaenuri, 2011), menunjukkan bahwa pencemaran udara berdampak terhadap perubahan iklim, disamping berdampak terhadap lingkungan, kesehatan dan ekonomi. Kusminingrum *et al.*, (2008) menyebutkan bahwa, gas-gas pencemar udara juga dapat menimbulkan efek terhadap pemanasan global. Salah satu gas pencemar udara yang berkontribusi terhadap pemanasan global adalah NO_x (Sagala, 2012).

2.4.1 Pemanasan Global

Pemanasan global (*global warming*) pada dasarnya merupakan fenomena peningkatan temperatur global dari tahun ke tahun karena terjadinya efek rumah kaca (*greenhouse effect*). Pemanasan global menimbulkan dampak yang luas dan serius bagi lingkungan bio-geofisik seperti pelelehan es di kutub, kenaikan muka air laut, perluasan gurun pasir, peningkatan hujan dan banjir, perubahan iklim, dsb (Latuconsina, 2010). Pemanasan global diakibatkan oleh bertambahnya gas rumah kaca seperti CO₂, CH₄, N₂O, CFC,

HFCs dan SF₆ di lapisan troposfer (Samiaji, 2011). Sejak akhir abad 19, rata-rata temperatur permukaan bumi sudah meningkat sekitar 1°F (0,6°C). Sedangkan kombinasi suhu laut dan daratan pada tahun 2000 adalah sebesar 0,29°C diatas rata-rata suhu pada tahun 1961-1990 (Godish, 2004).

Menurut Soesanto (1995), dengan makin majunya industri suatu negara, makin banyak bahan bakar fosil yang digunakan dan akan memperbanyak emisi CO₂ ke atmosfer. Apabila terjadi kenaikan CO₂ sebesar dua kali dan empat kali dari tahun 1990, maka dalam rentang 100 tahun akan menaikkan permukaan laut sekitar 0,25 m (Latif, 1996, dalam Cahyono, 2010). Adanya peningkatan suhu global ini akan mempengaruhi proses fisik dan kimia yang ada baik di bumi maupun atmosfer dan pada akhirnya berdampak pada perubahan iklim. Perubahan iklim merupakan perubahan yang terjadi pada sistem iklim global akibat langsung atau tidak langsung dari aktivitas manusia yang mengubah komposisi atmosfer secara global dan variabilitas iklim yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan (Martono, 2011). Peningkatan suhu permukaan juga dihasilkan oleh adanya radiasi sinar matahari menuju ke atmosfer bumi. Kemudian sebagian sinar ini berubah menjadi energi panas dalam bentuk sinar inframerah yang diserap oleh udara dan permukaan bumi. Sebagian sinar inframerah dipantulkan kembali ke atmosfer dan ditangkap oleh gas-gas rumah kaca yang kemudian menyebabkan suhu bumi meningkat (Utina, 2015).

2.4.2 Efek Rumah Kaca

Efek rumah kaca adalah suatu sifat alami yang penting dari atmosfer. Tanpa hal ini, suhu rata-rata pada permukaan bumi akan menjadi -18°C. Bumi menyerap radiasi dari matahari, terutama pada permukaan. Energi didistribusikan kembali oleh atmosfer dan samudera, kemudian dipanaskan kembali ke ruang angkasa fasa panjang dengan gelombang panas yang lebih panjang. Sebagian radiasi panas diserap oleh gas rumah kaca di atmosfer, terutama uap air, tetapi juga karbondioksida (CO₂), *methane* (CH₄), gas-gas *chlorofluoro carbon* (CFCs), ozon (O₃), dll. Energi yang diserap dipancarkan kembali ke ruang angkasa (IPCC, 1990, dalam

Soesanto, 1995). Gas rumah kaca (GRK) adalah istilah kolektif untuk gas-gas yang memiliki efek rumah kaca, seperti CFC, CO₂, CH₄, NO_x, O₃ dan H₂O. Beberapa gas tersebut memiliki efek rumah kaca lebih besar daripada gas lainnya (Porteous, 1992, dalam Suprihatin, 2008).

Konsentrasi karbondioksida (CO₂) global (permukaan) di atmosfer telah meningkat sejak dimulainya revolusi industri karena pertumbuhan pesat aktivitas manusia. Meningkatnya konsentrasi CO₂ di atmosfer adalah penyebab utama perubahan global dan perubahan iklim (IPCC, 2007). CO₂ sebagai bagian dari gas rumah kaca memegang peranan penting dalam mengontrol suhu permukaan bumi dibandingkan dengan gas rumah kaca lainnya. Walaupun memiliki indeks pemanasan global yang paling kecil tetapi konsentrasinya adalah yang paling besar setelah uap air, sehingga kontribusi CO₂ terhadap perubahan suhu adalah yang paling dominan dibanding gas rumah kaca lainnya (Samiaji, 2011).

Skenario pengurangan emisi GRK terdapat dalam sebuah konvensi Protokol Kyoto yang diikuti oleh negara-negara di dunia., dalam Protokol ini negara-negara industri diharuskan untuk menurunkan emisinya sebesar 5,2% dibawah tingkat emisi tahun 1990. Apabila Protokol Kyoto sukses dijalankan, maka diprediksi akan mengurangi rata-rata pemanasan global antara 0,02°C – 0,28°C pada tahun 2050 (Sulistyono, 2012). Selain itu, pemerintah Indonesia telah membuat komitmen unruk mencapai obyektif sendiri, yaitu mengurangi emisi GRK sebesar 26% pada tahun 2020 dengan upaya sendiri dan mengusulkan target 41% pengurangan pada tahun 2020 dengan bantuan internasional (KemenKeu, 2015).

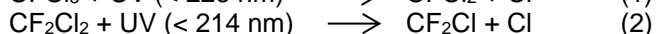
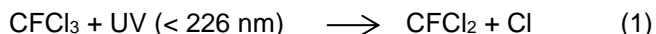
2.4.3 Penipisan Lapisan Ozon

Ozon adalah suatu molekul yang terdiri atas tiga atom oksigen (O_3). O_3 merupakan oksigen yang tidak stabil dibandingkan dengan O_2 (Rubin, 2001). Ozon adalah salah satu dari gas penyusun atmosfer. Ozon terdiri atas dua jenis yaitu ozon dekat permukaan bumi dan ozon yang berada di stratosfer. Ozon dekat permukaan bumi berada di biosfer berperan sebagai polutan udara dan mempunyai pengaruh yang berbahaya pada sistem pernapasan manusia, hewan dan metabolisme tanaman. Ozon di stratosfer, pada lapisan ini ozon berperan sebagai filter *photon* yang keluar dengan gelombang pendek (<320 nm) sinar ultraviolet dari radiasi matahari yang berbahaya pada semua bentuk kehidupan. Ozon di stratosfer sebagian besar dihasilkan dari sinar ultraviolet yang bereaksi dengan oksigen (Anonymous, 1998). Menurut EPA (2010), *Ozone Formation* adalah pembentukan lapisan ozon pada atmosfer. Ozon terbentuk secara alami di stratosfer dengan dua cara proses reaktif, yaitu:

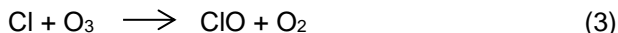
1. Cara pertama, yaitu sinar ultraviolet memecahkan molekul oksigen menjadi dua atom oksigen yang terpisah dengan reaksi $O_2 + UV = O + O$.
2. Cara kedua, yaitu masing-masing atom akan bereaksi dengan molekul oksigen lainnya dan membentuk molekul ozon dengan reaksi $O + O_2 = O_3$.

Secara alami konsentrasi gas ozon terbesar di atmosfer terdapat pada lapisan stratosfer yang berfungsi menyerap sinar ultraviolet dari radiasi matahari, sehingga intensitasnya di bumi rendah (3% - 9%). Bila intensitas sinar ultraviolet di permukaan bumi lebih tinggi dapat menyebabkann iritasi mata, katarak, iritasi kulit dan mengganggu metabolisme tanaman. Ozon dapat ditemukan dalam jumlah yang kecil di semua lapisan atmosfer. Hampir sekitar 90% dari jumlah ozon yang ada di atmosfer berada pada lapisan stratosfer, yang lokasinya sekitar 15-50 km di atas permukaan bumi (Widowati dan Sutoyo, 2009).

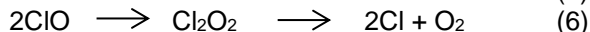
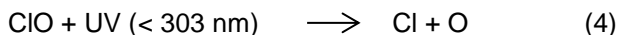
Zat utama yang dapat merusak lapisan ozon adalah unsur *chlorin* (Cl) yang dikenal sebagai zat CFC (*Chlorofluorocarbon*). Selain CFC, zat perusak ozon (*Ozon Depleting Substance* = ODS) antara lain nitrogen oksida (N_2O), *methyl chloroform*, *methyl bromida* dan *carbon tetrachlorida*. Senyawa N_2O ini adalah hasil sampingan dari proses pembakaran (Anonymous, 2006). Penipisan lapisan ozon menyebabkan sinar ultraviolet yang dipancarkan ke bumi tidak lagi tersaring secara semestinya. Akibatnya, terjadilah *global warming* yang menyakitkan terjadinya perubahan-perubahan iklim dunia (*global climate change*) (Somerset, 1989, dalam Husin, 1992). Menurut Pikatan (2012), atom klor sangat reaktif terhadap ozon. CFC biasanya digunakan sebagai pendingin pada AC dan *refrigerator* yang terdiri atas freon-11 ($CFCl_3$) dan freon-12 (CF_2Cl_2), keduanya melepaskan atom klor melalui reaksi:



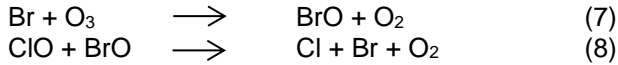
Atom klor yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan ozon melalui:



Molekul kloromonoksida (ClO) ini kemudian bereaksi kembali menghasilkan atom klor. Mekanisme berupa siklus reaksi inilah yang mengkhawatirkan keberadaan lapisan ozon. Amati reaksi berikut:



Kejadian yang serupa dengan reaksi (3) dan (6) diatas adalah reaksi antara atom brom dengan ozon dan ClO dengan BrO , unsur brom ini berasal dari senyawa-senyawa yang digunakan sebagai pemadam api dan insektisida (CH_3Br):



2.4.4 Sumber Emisi pada Industri Minyak dan Gas Bumi

Sumber emisi dari kegiatan industri minyak dan gas bumi dari peralatan seperti mesin stasioner, pemanas, *boiler*, *flare* dan insinerator menghasilkan emisi GRK (Martono, 2014). Terdapat enam jenis gas yang digolongkan sebagai gas rumah kaca, yaitu karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitro oksida (N₂O), perflorokarbon (PFCs), hidroflorokarbon (HFCs) dan heksaflorida (SF₆) di lapisan troposfer (Konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC), 2006, dalam Samiaji, 2009).

Pasal 1 PerMen LH Nomor 12 Tahun 2012 menjelaskan bahwa emisi adalah gas NO_x, CO, SO₂ dan/atau partikulat yang dihasilkan dari kegiatan industri minyak dan gas bumi yang masuk dan dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai unsur pencemar. Berdasarkan Pasal 1 dalam PerMen LH Nomor 13 tahun 2009, sumber emisi dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Sumber emisi proses pembakaran adalah sumber emisi yang menghasilkan emisi dari reaksi *exothermic* antara bahan bakar dengan oksigen kecuali gas tersebut di bakar untuk pengolahan sulfur.
2. Sumber emisi proses produksi adalah sumber emisi yang menghasilkan emisi selain dari proses pembakaran sebagai akibat reaksi yang disengaja maupun tidak disengaja antara bahan-bahan (senyawa) atau perubahannya termasuk proses dekomposisi bahan secara *thermal* dan pembentukan bahan yang digunakan sebagai bahan baku proses produksi.
3. Sumber emisi *fugitive* adalah emisi yang secara teknis tidak dapat melewati cerobong, ventilasi atau sistem pembuangan emisi yang setara.

2.4.5 Karakteristik Emisi

Berikut penjelasan singkat mengenai karakteristik dari masing-masing emisi gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 dan N_2O):

1. Karbon dioksida (CO_2)
Menurut IPCC tahun 2005, karbon dioksida adalah gas rumah kaca antropogenik yang paling penting. CO_2 dapat diemisikan secara alami (siklus karbon) dan melalui aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil. Gas CO_2 dalam udara murni berjumlah 0,03%, bila melebihi toleransi dapat mengganggu pernapasan. Selain itu, gas CO_2 yang terlalu berlebihan di bumi dapat mengikat panas matahari sehingga suhu di bumi panas. Pemanasan global di bumi akibat CO_2 disebut juga sebagai efek rumah kaca (Ghaziyad, 2015).
2. Metana (CH_4)
Metana (CH_4) merupakan gas yang menduduki peringkat ke-5 terbesar di atmosfer setelah argon (Ar), karbon dioksida (CO_2), neon (Ne) dan helium (He) (pawitan 1989, dalam Susanti *et al.*, 2017). Metana merupakan senyawa organik atmosfer yang memiliki waktu tinggal cukup lama sekitar 8-10 tahun (Isaksen, 2014). Pada tahun 2011 konsentrasi CH_4 sebesar 1,8 ppmv lebih rendah 217 kali jika dibandingkan dengan konsentrasi CO_2 , tetapi dengan konsentrasi CH_4 yang lebih kecil daripada CO_2 , kemampuan *radiative forcing* total CH_4 lebih besar daripada CO_2 . Metana berkontribusi 18% pada *radiative total* (IPCC, 2013). Selain itu, CH_4 memiliki efek global warming 75 kali lebih besar daripada CO_2 selama kurun waktu 20 tahun (Shindell *et al.*, 2009).
3. Dinitrogen oksida (N_2O)
 N_2O berasal dari sumber sumber alamiah maupun antropogenik. Sumber antropogenik utama adalah tanah pertanian, pemakaian pupuk hewan, pengolahan sampah, penggunaan bahan bakar pada sumber bergerak maupun stasioner, produksi asam adipic dan produksi asam nitrat. N_2O juga diproduksi secara alamiah dari berbagai sumber biologis di

dalam tanah dan air, terutama aktivitas mikroba pada hutan tropis basah. Level emisi N_2O dari sumbernya sangat bervariasi dari suatu negara ke negara lain, atau dari suatu wilayah ke wilayah lainnya, tergantung dari banyak faktor seperti proses produksi dalam industri dan proses pertanian, teknologi pembakaran penerapan manajemen buangan dan iklim (Wiwiek, 2012).

4. Nitrogen dioksida (NO_x)

Gas ini terbentuk dari reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara. Reaksi tersebut dapat terjadi pada pembakaran hingga suhu di atas $1210^\circ C$ (Depkes RI, 2010). NO_x dapat dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar minyak dan bahan bakar fosil. NO_x memiliki karakteristik berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam (Barata, 2005).

5. Sulfur oksida (SO_x)

Sulfur oksida adalah senyawa gas berbau tidak sedap yang banyak dijumpai di kawasan industri yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya (Barata, 2005). Senyawa ini terbentuk jika konsentrasi uap air sangat rendah. Jika terdapat uap air yang memadai, maka SO_x akan mengikat uap air untuk membentuk *droplet* asam sulfat (H_2SO_4). Pengaruh SO_x terhadap manusia adalah iritasi pada sistem pernafasan. Menurut Depkes RI (2010), iritasi pernafasan terjadi pada kadar SO_x sebesar 5 ppm atau lebih. Sedangkan dampak bagi lingkungan adalah terjadinya hujan asam, menyebabkan korosi pada logam, dan pemburaman pada bangunan yang mengandung kapur atau marmer.

2.4.6 Metode Perhitungan Beban Emisi

Metode pengukuran beban emisi adalah pengukuran secara kontinu konsentrasi dan aliran gas dari sumber emisi (Sagala, 2012). Menurut PerMen LH Nomor 12 Tahun 2012, terdapat beberapa pilihan untuk menghitung beban emisi yang dipilih berdasarkan ketersediaan data *input*, sebagai berikut:

1. Faktor emisi yang dipublikasikan.
2. Faktor emisi peralatan dari *manufacture*.

3. Perhitungan teknis.
4. Simulasi proses atau permodelan komputer.
5. Pemantauan terhadap berbagai kondisi dan faktor emisi yang mempengaruhinya.
6. Pemantauan emisi atau parameter yang diperlukan untuk menghitung emisi secara periodik atau terus menerus.

Adapun rumus perhitungan beban emisi berdasarkan PerMen LH Nomor 12 Tahun 2012 dapat dilihat pada Persamaan 9 dan 10.

- Perhitungan beban emisi pada unit pembakaran dalam dan pembakaran luar

$$E_{,i} = FC \times EF \text{ (9)}$$

Dimana:

- $E_{,i}$: emisi komponen i (ton)
 i : parameter emisi yang dihitung (CO_2 , CH_4 , N_2O , NO_x , dan SO_x)
 FC : pemakaian bahan bakar (m^3 atau $MMscfd$)
 EF : faktor emisi komponen i (ton/ton *fuel*)

- Perhitungan beban emisi pada unit *flaring*

$$EL = FC \times EF \text{ (10)}$$

Dimana:

- E : beban emisi (ton)
 FC : volume gas flaring (m^3)
 EF : faktor emisi (ton/ton)

Faktor emisi baku yang dipublikasikan dapat dilihat dari berbagai referensi, seperti *API Compendium*, *Oil & Gas Producers-OGP*, *US EPA*, dll, yang disesuaikan dengan kebutuhan dalam perhitungan. Adapun faktor emisi untuk unit pembakaran dalam dan luar dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan untuk faktor emisi unit suar bakar (*flaring*) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Faktor Emisi Untuk Unit Pembakaran (*fuel based*)

Emisi	Unit	Faktor Emisi
CO ₂	Ton CO ₂ /Ton <i>fuel</i>	3,2
CH ₄	Ton CH ₄ /Ton <i>fuel</i>	0,00014
N ₂ O	Ton N ₂ O/Ton <i>fuel</i>	0,00022
NO _x	Ton NO _x /Ton <i>fuel</i>	0,008
SO _x	Ton SO _x /Ton <i>fuel</i>	0,07

Sumber: OGP Report No. 197, dalam PerMen LH No. 12/2012

Tabel 2.2 Faktor Emisi Untuk Unit Suar Bakar (*Flare*)

Emisi	Unit	Faktor Emisi
CO ₂	Ton CO ₂ /Ton gas	2,61
CH ₄	Ton CH ₄ /Ton gas	0,035
N ₂ O	Ton N ₂ O/Ton gas	0,000081
NO _x	Ton NO _x /Ton gas	0,0015
SO _x	Ton SO _x /Ton gas	0,0000128

Sumber: OGP Report No. 197, dalam PerMen LH No. 12/2012

2.5 Life Cycle Assessment (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA) adalah sebuah mekanisme untuk menganalisis dan memperhitungkan dampak lingkungan total dari suatu produk dalam setiap tahapan daur hidupnya. Dimulai dari persiapan bahan mentah, proses produksi penjualan dan transportasi serta pembuangan produk (ISO 14040:1997, dalam Pujadi dan Melfa, 2013). Menurut Riyanty dan Hariwiko (2015), LCA merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan informasi mengenai dampak lingkungan yang terjadi. LCA dapat menganalisis dan membandingkan beberapa proses atau sistem yang berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan. Penggunaan LCA diharapkan dapat membantu mengkuantifikasi dan mengevaluasi performansi lingkungan dari produk atau proses dan membantu menentukan dasar dalam melakukan perbaikan lingkungan.

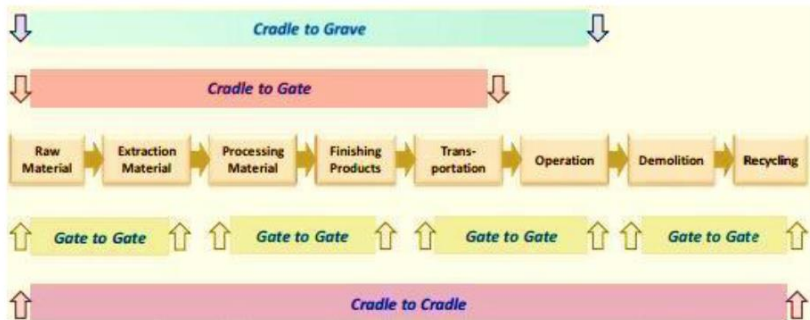
Data yang dibutuhkan dalam melakukan LCA terdiri dari setiap dampak lingkungan, hasil samping, konsumsi energi dan bahan yang digunakan pada setiap tahapan proses (Mattson, 2003). LCA dapat menyediakan kerangka kerja untuk menganalisa dampak lingkungan, memetakan dampak selama siklus hidup atau produk, acuan dalam mengembangkan target lingkungan untuk pengembangan produk selanjutnya, menyediakan pengukuran kinerja yang berlangsung untuk mengkaji konsep desain serta dampaknya terhadap lingkungan, membantu tim pengembangan produk dalam menentukan material dan komponen yang akan dipakai, dan mengidentifikasi dampak yang sebelumnya tidak diketahui (Schempf (1999) dan Curran (1996), dalam Purwaningsih, 2012). Menurut Pujadi dan Melfa (2013), elemen utama dari LCA, antara lain:

1. Mengidentifikasi dan mengkuantifikasi semua bahan yang terlibat, misalnya energi dan bahan baku yang dikonsumsi, emisi dan limbah yang dihasilkan.
2. Mengevaluasi dampak yang potensial dari bahan-bahan tersebut terhadap lingkungan.
3. Mengkaji beberapa pilihan yang ada untuk menurunkan dampak tersebut.

Beberapa manfaat atau nilai penting dari LCA, yaitu:

1. Pengambilan keputusan yang lebih baik tentang pemilihan produk dan sistem produksi.
2. Untuk mengidentifikasi dampak utama terhadap lingkungan dan tahap-tahap daur hidup produk.
3. Menyediakan langkah-langkah perbaikan yang berbasis lingkungan.

Ruang lingkup LCA terbagi menjadi empat bagian (Hermawan *et al.*, 2013). Skema dari ruang lingkup LCA dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Ruang Lingkup LCA

Sumber: Hermawan, et al., 2013

Berikut merupakan penjelasan masing-masing keempat ruang lingkup LCA berdasarkan Gambar 2.2 diatas:

1. *Cradel to Grave*, merupakan ruang lingkup pada LCA yang mencakup *raw material* hingga pengoperasian produk.
2. *Cradel to Gate*, yaitu ruang lingkup pada LCA yang mencakup *raw material* hingga *transportation*, sebelum dilakukannya proses operasi.
3. *Gate to Gate*, yaitu ruang lingkup pada LCA yang merupakan ruang lingkup terpendek, dikarenakan hanya meninjau kegiatan yang terdekat.
4. *Cradel to Cradel*, merupakan bagian dari LCA yang mencakup seluruh kegiatan dimulai dari *raw material* hingga *recycling material*.

2.5.1 Karakteristik dan Batasan *Life Cycle Assessment* (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA) memiliki karakteristik dan batasan untuk menilai siklus hidup (Pujadi dan Melfa, 2013), yaitu sebagai berikut:

1. Bersifat analisis secara keseluruhan.
2. LCA tidak dapat mengukur suatu dampak lokal. LCA tidak menyediakan kerangka untuk sebuah studi penilaian resiko lokal yang mengidentifikasi dampak

yang dihasilkan oleh fungsi dari sebuah fasilitas di tempat yang spesifik.

3. Model LCA berfokus pada karakteristik fisik dari aktivitas industri dan proses ekonomi lainnya, dan tidak termasuk mekanisme pasar atau efek lain dalam pengembangan teknologi.
4. LCA hanya berfokus pada aspek lingkungan dari produk dan tidak berkaitan dengan karakteristik ekonomi, sosial dan lainnya.
5. LCA sebagai sebuah alat analitis. LCA membantu menyediakan informasi untuk mendukung keputusan, namun LCA tidak dapat menggantikan proses pengambilan keputusan itu sendiri.

2.5.2 Prinsip *Life Cycle Assessment* (LCA)

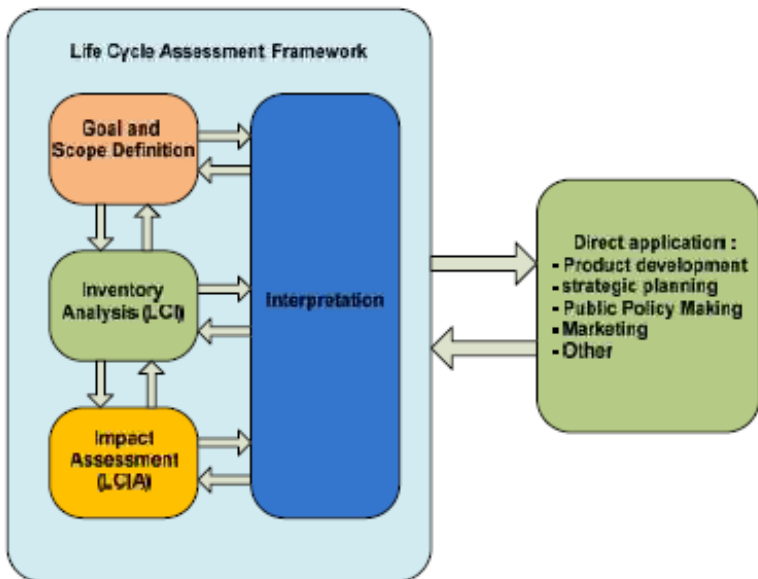
Menurut Pujadi dan Melfa (2013), LCA dapat dirincikan oleh prinsip berikut:

1. Siklus hidup prespektif. LCA mempertimbangkan seluruh siklus hidup fisik dari suatu produk (atau jasa) sistem, dari ekstraksi bahan baku, lebih dari energi dan material produksi, manufaktur, penggunaan dan akhir operasi kehidupan. Melalui pergeseran antara tahapan siklus hidup atau proses individu seperti beban perspektif dapat diidentifikasi dan dihindari.
2. Kelengkapan. LCA secara ideal mencakup semua aspek lingkungan menjadi satu penilaian umum, sehingga dampak lingkungan dapat diidentifikasi.
3. Transparansi. Transparansi merupakan prinsip penting dalam melaksanakan studi LCA, dalam rangka untuk memastikan interperspektasi yang tepat atas hasil analisis.
4. Bersifat fleksibilitas. Merupakan metode yang berbasis ilmu pengetahuan meskipun keadaan ilmiah selalu berubah. LCA memberikan gambaran dari keadaan tertentu pada waktu tertentu.
5. Bersifat iteratif karena terdiri atas empat fase, yaitu *goal and scoping, inventory analysis, impact assessment* dan *interpretation*.

6. Fokus lingkungan. LCA berfokus pada aspek lingkungan dari suatu sistem produk dan mengesampingkan aspek ekonomi dan sosial di luar penelitian.

2.5.3 Metodologi *Life Cycle Assessment (LCA)*

Menurut Pujadi dan Melfa (2013), standar sebuah LCA dilakukan dalam empat fase yang berbeda seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2, yaitu *Goal and Scope Defenition*, *Life Cycle Inventory (LCI)*, *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* dan *Interperertation*.



Gambar 2.3 Framework LCA menurut ISO 14040 (1997)

Sumber: Pujadi dan Melfa, 2013

Berikut merupakan penjelasan masing-masing keempat tahapan LCA berdasarkan Gambar 2.3 diatas:

1. *Goal and Scope Definition*
Goal and Scope Defintion/Goal and Scoping merupakan fase yang penting dalam melakukan LCA. *Goal and Scoping* diperlukan untuk melakukan inventarisasi kegiatan yang diperkirakan dapat menimbulkan dampak penting dari proses atau produk tertentu terhadap lingkungan (Purwaningsih, 2012).
2. *Inventory Analysis*
Inventory Analysis merupakan bagian dari LCA yang berisi *inventory input* yang berupa energi atau bahan baku dan output emisi maupun limbah. Pada proses ini dilakukan pengumpulan data kuantitatif untuk menentukan level atau tipe *input* energi maupun material pada suatu sistem industri dan hasil yang dilepaskan ke lingkungan (Purwaningsih, 2012).
3. *Impact Assessment*
Impact Assessment digunakan untuk menganalisis dampak suatu proses terhadap lingkungan dan kesehatan manusia yang telah di data secara kuantitatif pada *inventory analysis*. Dalam proses klasifikasi, data *inventory* yang dihubungkan dengan efek potensi terhadap ekologi dan kesehatan manusia ditempatkan dalam kategori khusus (Purwaningsih, 2012).
4. *Interpertation*
Pada tahap ini dilakukan interpertasi hasil, evaluasi dan analisis terhadap usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk perbaikan (Curran, 1996).

2.6 Aplikasi SimaPro

SimaPro merupakan singkatan dari *System for Integrated Environmental Assessment of Products* (Riyanty dan Hariwiko, 2015). SimaPro merupakan alat/software profesional yang diperlukan untuk mengumpulkan, menganalisis dan memonitor data performa *sustainability* pada produk dan jasa sebuah perusahaan (Pre, 2015). SimaPro merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk menganalisis aspek-aspek lingkungan dari produk maupun secara sistematis dan konsisten (Pujadi dan Melfa, 2013). Data yang dimasukkan

dalam *software* SimaPro ditentukan berdasarkan deskripsi sistem amatan. Hal tersebut meliputi distribusi bahan baku, proses produksi serta distribusi produk akhir (Kautzar *et al.*, 2015). *Software* SimaPro yang digunakan dalam analisis LCA ini adalah SimaPro versi 8.5.2.

Menurut PreConsultant (2015), *software* SimaPro memiliki kelebihan dibandingkan *software* lainnya, yaitu:

1. Dapat digunakan secara *multi-user-version* sehingga dapat menginput data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi.
2. Memiliki metode dampak yang beragam dan bersifat fleksibel.
3. Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak.
4. Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya.
5. SimaPro dilengkapi dengan banyak *database* LCI (*Life Cycle Inventory*), termasuk *database ecoinvent*, *database Agri-footprint* khusus industri dan *database ELCD (European Reference Life Cycle Data)*.

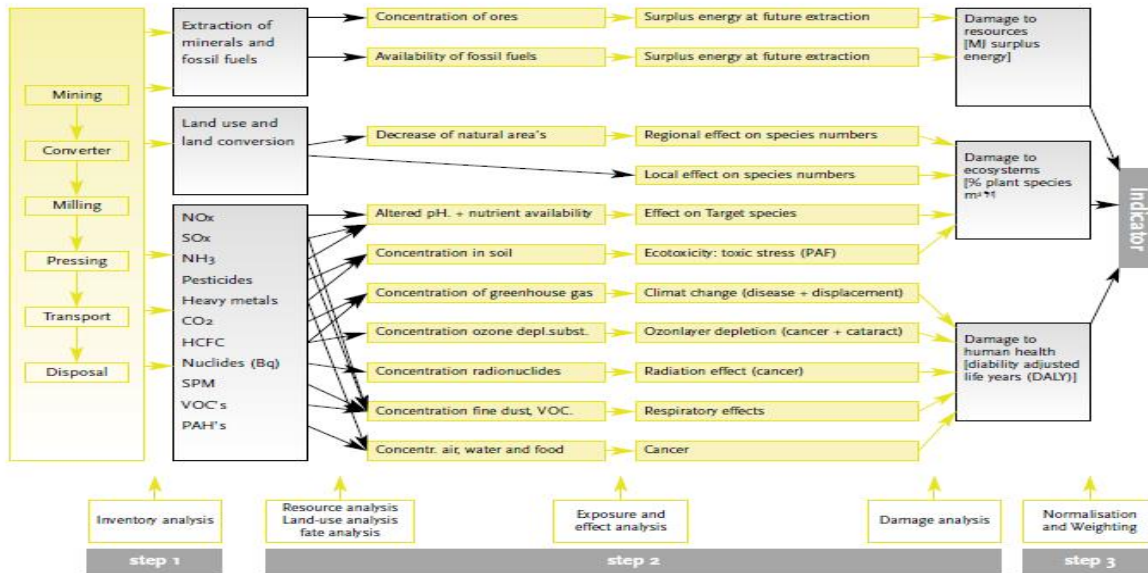
Pada *software* SimaPro, terdapat 2 jenis metode pendekatan penilaian dampak, yaitu metode *midpoint* dan metode *endpoint*. Metode *midpoint* adalah metode penilaian dampak dari suatu zat tertentu terhadap lingkungan, sehingga mengakibatkan perubahan dalam aspek lingkungan alami. Sedangkan, metode *endpoint* adalah metode yang menggambarkan efek kerusakan lingkungan akibat suatu zat tertentu terhadap aspek lingkungan (Menoufi *et al.*, 2011).

Metode LCIA yang tergolong dalam metode *midpoint* adalah CML (*Centre for Environmental Studies, University of Leiden*), ReCiPe *Midpoint*, BEES+ (*Building for Environmental and Economic Sustainability*), EDIP (*Environmental Design of Industrial Products*) 2003, *Ecological Footprint*, *Ecosystem Damage Potential*, USEtox, *Greenhouse Gas Protocol*, IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) 2013, IMPACT 2000+, LUCAS (*LCIA method Used for a Canadian-Specific context*) dan TRACI (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impact*) 2.1. Sedangkan metode LCIA yang tergolong dalam metode *endpoint* adalah

Eco-Indicator 99, EPS (*Environmental Priority Strategies in Product Design*) 2000, *Eco-Scarcity* 2013, *ReCiPe Endpoint* dan *JEPIX (Japan Environmental Policy Priorities Index)* (PreConsultant, 2015). Pemilihan metode disesuaikan dengan kegiatan proses dan produk yang dianalisis. SimaPro menggunakan berbagai metode evaluasi yang akan mengklasifikasikan zat menurut efeknya terhadap dampak lingkungan seperti hujan asam dan penipisan lapisan ozon. Metode *Eco-Indicator 99* adalah metode penilaian dampak yang paling banyak digunakan dalam penilaian LCA (Repele *et al.*, 2014).

2.6.1 Metode *Eco indicator 99*

Metode EI 99 adalah metode evaluasi yang mengklasifikasikan zat menurut efeknya terhadap dampak lingkungan serta dapat menunjukkan kontribusi relatif dari setiap proses yang dihitung (Sirait, 2016). Menurut Menoufi *et al.*, (2011), metode EI 99 termasuk ke dalam metode *endpoint* atau metode yang berbasis pada pendekatan akhir yang menilai dampak secara keseluruhan hingga kerusakan yang mungkin ditimbulkan. Metode EI 99 ini memiliki 11 kategori dampak, yaitu *climate change*, *ozone layer depletion*, *acidification/eutrophication*, *carcinogenesis*, *respiratory organic effects*, *respiratory inorganic effects*, *ionizing radiation*, *ecotoxicity*, *land use*, *mineral resources* dan *fossil fuel resources*. Metode ini mengkategorikan dampak lingkungan dalam tiga kategori kerusakan, yaitu dampak terhadap kesehatan manusia (*human health*), dampak terhadap kerusakan ekosistem (*ecosystem quality*) dan dampak terhadap penggunaan sumber daya alam (*resources*) (Goedkoop dan Renilde, 2000). Untuk bagan alir keterkaitan data dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Impact categories and pathway covered by the EI 99 methodology

Sumber: Pre Consultant, 2000

Berikut merupakan penjelasan mengenai masing-masing kategori kerusakan yang terdapat dalam metode EI 99 berdasarkan Gambar 2.4 diatas, yaitu:

1. Dampak proses produksi terhadap kesehatan manusia (*human health*) dinyatakan dalam unit DALY (*Disability Adjusted Life Years*), yaitu merupakan jumlah tahun yang hilang akibat gangguan kesehatan cacat atau kematian dini. Satu DALY artinya sama dengan satu tahun dari hidup sehat yang hilang (Kusumawardani, 2017). Berdasarkan Goedkoop dan Renilde (2000), kategori dampak lingkungan yang masuk kedalam kategori kesehatan manusia adalah *respiratory organic and inorganic effects, carcinogenesis, climate change, ozone layer depletion* dan *ionizing radiation*.
2. Dampak terhadap kualitas ekosistem (*ecosystem quality*) merupakan dampak yang dapat memengaruhi kehidupan kualitas ekosistem di sekitar lingkungan pada proses produksi. Akibat dari dampak ini adalah hilangnya spesies/ekosistem di daerah tersebut. Satuannya adalah $\text{PDF.m}^2.\text{year}$, satu $\text{PDF.m}^2.\text{year}$ sama dengan kerusakan spesies atau ekosistem seluas 1 m^2 di permukaan bumi dalam kurun waktu satu tahun (Kusumawardani, 2017). Kategori dampak lingkungan yang termasuk dalam kategori kerusakan kualitas ekosistem adalah *ecotoxicity, acidification* atau *eutrophication* dan *land use* (Goedkoop dan Renilde, 2000).
3. Dampak terhadap penurunan sumber daya alam (*resources*) merupakan dampak yang berpengaruh terhadap kerusakan sumber daya yang tidak dapat digantikan. *Resources* dinyatakan dalam unit MJ *surplus* digunakan untuk kategori dampak yang dikelompokkan dalam nilai kerusakan *resources*. Satu MJ *surplus* sama dengan satu kerusakan sumber daya alam yang dieksploitasi dan energi yang dikeluarkan dalam satu tahun di bumi (Kusumawardani, 2017). Menurut Goedkoop dan Renilde (2000), kategori dampak lingkungan yang

masuk ke dalam kategori dampak terhadap penurunan sumber daya alam adalah mineral dan *fossil fuel*.

Untuk nilai faktor karakterisasi, normalisasi dan pembobotan pada metode EI 99 dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Karakterisasi, Normalisasi dan Pembobotan Metode EI/99

Kategori Dampak	Karakterisasi		Normalisasi (PE-person equivalent)	Pembobotan (Pt-PE target emissions)
	Unit	Nilai		
<i>Carcinogens</i>	DALY	9,70E-07	6,35E-05	2,54E-02
<i>Respiratory organics</i>	DALY	6,21E-09	4,04E-07	1,62E-04
<i>Respiratory inorganics</i>	DALY	3,56E-06	2,32E-04	9,27E-02
<i>Climate change</i>	DALY	-1,64E-07	1,073E-05	4,28E-03
<i>Radiation</i>	DALY	4,64E-10	3,02E-08	1,21E-05
<i>Ozone layer</i>	DALY	1,41E-11	9,20E-10	3,68E-07
<i>Ecotoxicity</i>	PDF.m2.yr	3,81E-03	7,43E-07	2,97E-04
<i>Acidification/eutrophication</i>	PDF.m2.yr	3,62E-02	7,06E-07	2,82E-03
<i>Land use</i>	PDF.m2.yr	7,74	1,51E-03	6,04E-01
<i>Minerals</i>	MJ Surplus	1,00E-02	1,19E-06	2,38E-04
<i>Fossil fuels</i>	MJ Surplus	1,86E-01	2,22E-05	4,44E-03

Sumber: Herrmann dan Moltesen, 2015

2.6.2 Penggunaan Software SimaPro

Tujuan dari penggunaan SimaPro ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan aspek-aspek lingkungan dari suatu produk. Menurut Herprayoga (2014), dalam

menggunakan software ini terdapat beberapa tahapan diantaranya sebagai berikut:

1. Penentuan tujuan dan ruang lingkup
Penentuan tujuan dan ruang lingkup terdapat beberapa cara, diantaranya:
 - *Text field*, untuk *input* data pemilik, komentar, alasan dan tujuan melakukan LCA.
 - Pemilihan *libraries*, untuk memilih metode-metode yang paling sesuai dengan penelitian.
 - Mengatur data *quality indicator requirements*, dengan menetapkan karakteristik-karakteristik data yang sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup. Data yang dimasukkan dapat berupa waktu periode melakukan penelitian, teknologi yang digunakan dalam penelitian, alokasi penelitian dan juga batasan suatu sistem.
2. Inventarisasi
Pada tahap inventarisasi, semua data mengenai emisi yang berpotensi timbul dan juga konsumsi bahan baku dikumpulkan. Pada tahap inventarisasi ini terdapat beberapa fase, yaitu:
 - *Process*, menunjukkan hal-hal yang termasuk dalam proses produksi suatu produk yang membutuhkan *input* data.
 - *Product stages*, mendeskripsikan bagaimana suatu produk diproduksi, digunakan dan dibuang.
 - *System description*, bagian ini merupakan catatan terpisah yang digunakan untuk mendeskripsikan struktur dari sistem.
 - *Waste types*, terdapat *waste scenarios* dan *disposal scenarios*. *Waste scenarios* didefinisikan sebagai material yang akan dibuang atau di daur ulang. Sedangkan *disposal scenarios* didefinisikan sebagai produk yang akan digunakan kembali.
3. Penilaian terhadap cemaran

Struktur dasar penilaian cemaran terdiri atas karakterisasi, normalisasi, pembobotan dan *single score*.

4. Interpretasi data

2.7 Penelitian Terdahulu mengenai LCA

Penelitian yang telah dilakukan dengan metode LCA untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari suatu produk sudah banyak dilakukan. Penelitian terdahulu menjadi salah satu referensi dan bahan kajian dalam melakukan penelitian. Sub-bab ini akan diuraikan mengenai tiga penelitian yang berkaitan dengan metode LCA. Untuk beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan metode LCA dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu mengenai LCA

No	Peneliti (Tahun Penelitian)	Judul Penelitian	Isi Penelitian
1	Radika Herprayoga (2014)	Kajian <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) untuk Mereduksi Dampak Pencemar Udara PT. Semen Bosowa Maros dengan Pendekatan <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP).	Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi dampak pencemaran udara yang terjadi pada proses produksi industri semen di PT. Semen Bosowa Maros. Identifikasi dampak lingkungan ini dilakukan dengan pendekatan LCA menggunakan software SimaPro 8.0. Proses yang dianalisis yaitu, <i>mining, raw material grinding, raw mill, cement mill, packaging</i> dan <i>shipping</i> . Dari hasil LCA, diketahui bahwa unit <i>coal mill</i> memberikan dampak terbesar yaitu 52,7%, <i>raw mill</i> 34,1% dan <i>cement mill</i> 13%. Dari analisis LCA tersebut dilakukan pemilihan alternatif pengurangan dampak dengan menggunakan metode AHP. Dari hasil AHP menggunakan <i>software Expert Choice</i> diketahui bahwa pemasangan <i>adsorber</i> adalah alternatif terbaik yang dipilih oleh para <i>expert</i> .

No	Peneliti (Tahun Penelitian)	Judul Penelitian	Isi Penelitian
2	Harmira Primanda Putri (2017)	<p><i>Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Bensin dengan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP).</i></p>	<p>Penelitian ini mengidentifikasi dampak emisi yang dihasilkan dari proses produksi bensin menggunakan <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>. Siklus hidup yang dianalisis adalah proses eksplorasi dan produksi, proses pengolahan, proses pemasaran dan penggunaan oleh masyarakat. Analisis LCA produk bensin dilakukan menggunakan <i>software SimaPro 8.3</i>. Kegiatan diatas berdampak besar terhadap fenomena <i>global warming</i>. Alternatif terbaik guna mereduksi emisi yang terjadi pada proses eksplorasi dan produksi adalah pemanfaatan gas buang sebagai <i>fuel</i> pompa. Sedangkan pada proses pengolahan adalah adsorpsi dengan <i>zeolit</i> dan pengaplikasian <i>gas handling</i></p>

system sebagai alternatif perbaikan pada proses pemasaran. Pada sektor penggunaan, menggunakan program pemerintah sebagai alternatifnya, yakni penyempurnaan perencanaan transportasi dan pengelolaan kebutuhan lalu lintas.

No	Peneliti (Tahun Penelitian)	Judul Penelitian	Isi Penelitian
3	Annisa Tamara Sari (2017)	<p data-bbox="350 743 555 991"><i>Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Proses Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) Jenis Solar dengan Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP).</i></p>	<p data-bbox="596 480 1009 1254">Penelitian ini mengidentifikasi dampak dari emisi kegiatan industri minyak dan gas menggunakan LCA. LCA digunakan untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan dengan metode EDIP 2003. Dampak paling besar berasal dari proses pengolahan sebesar 94,6% akibat adanya kegiatan pada unit <i>crude destilation</i>. Sedangkan pada masing-masing proses dampak paling besar diakibatkan oleh, sumur produksi pada proses eksplorasi dan produksi, kegiatan penunjang pada proses distribusi dan pemakaian BBM solar. Setelah diketahui dampaknya, maka dilakukan analisis alternatif menggunakan AHP. Alternatif kegiatan sumur produksi yang dapat digunakan adalah <i>enchanted oil/gas recovery</i>. Alternatif kegiatan <i>crude destilation</i> yang dapat digunakan adalah <i>disalter design</i> sebagai gas inert. Alternatif kegiatan penunjang yang dapat digunakan adalah oeningkatan pemakaian bahan bakar <i>low sulphur</i>. Alternatif kegiatan pemakaian BBM solar yang dapat digunakan adalah pemakaian <i>eco-driving</i>.</p>

No	Peneliti (Tahun Penelitian)	Judul Penelitian	Isi Penelitian
4	Nadia Andistiara (2018)	Kajian Dampak Proses Eksplorasi dan Produksi Gas Alam Terhadap Lingkungan dengan menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)	<p>Penelitian ini mengidentifikasi dampak yang terjadi dari proses utama dan proses penunjang, yaitu unit GTG, <i>flare</i> dan <i>hot oil heater</i> yang ada di kegiatan eksplorasi dan produksi gas alam di JOB Pertamina-Medco E&P Tomori Sulawesi dengan menggunakan pendekatan LCA. Identifikasi dampak lingkungan tersebut dilakukan dengan menggunakan <i>software</i> 8.4 dengan metode <i>Eco Indicator 99</i>, kemudian dilakukan pemilihan alternatif perbaikan yang paling mungkin diterapkan dengan menggunakan metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP). Hasil penelitian menunjukkan proses yang memiliki nilai dampak tertinggi terhadap lingkungan adalah proses pada unit <i>hot oil heater</i> sebesar 25,22 MPt dan nilai masing-masing kategori kerusakan sebesar 552 DALY untuk <i>human health</i>, $1,27 \times 10^3$ PDF.m².yr untuk <i>ecosystem quality</i> dan 51,1 MJ surplus untuk <i>resources</i>. Maka, alternatif perbaikan yang paling mungkin diterapkan adalah penggunaan kembali <i>LP fuel gas excess</i> ke dalam unit <i>production separator</i> dengan proses kompresi yang memiliki nilai prioritas sebesar 38,5%.</p>

No	Peneliti (Tahun Penelitian)	Judul Penelitian	Isi Penelitian
5	Erdhiyan Saputri (2018)	Kajian Dampak Proses Pengolahan Minyak Bumi di Pertamina RU IV Balongan Terhadap Lingkungan dengan menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)	Penelitian ini mengidentifikasi dampak yang dihasilkan berupa emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara menggunakan metode LCA. Hasil penelitian menunjukkan dampak paling besar berasal dari kegiatan pada unit CDU khususnya pada saat memproduksi IDF sebesar 41,8% yang kedua untuk <i>gasoil</i> sebesar 31,91% lalu <i>gasoline</i> sebesar 6,36%. Kegiatan tersebut berdampak besar terhadap fenomena <i>ozone depletion</i> dan <i>global warming</i> . Alternatif yang dapat

digunakan untuk mereduksi emisi yang dihasilkan adalah penambahan *preflash coloumn*, penggunaan bahan bakar *biodiesel*, *cogeneration* serta *gasifikasi*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini dilakukan terkait dengan dampak proses produksi minyak bumi dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Tujuan yang ingin dicapai adalah menghitung besaran beban CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x identifikasi dampak lingkungan dan rekomendasi alternatif perbaikan untuk mereduksi dampak yang terjadi pada kegiatan produksi minyak bumi. Dalam perhitungan beban emisi digunakan metode perhitungan beban emisi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012, sedangkan untuk mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan dari proses produksi minyak bumi digunakan metode LCA. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini mencakup analisis bahan baku dan bahan bakar yang digunakan, emisi serta produk yang dihasilkan dari kegiatan produksi minyak bumi. Hasil dari analisis LCA tersebut digunakan untuk menentukan alternatif perbaikan yang dapat dilakukan untuk mereduksi dampak yang terjadi, yang kemudian di analisis kembali menggunakan *software* SimaPro dengan metode LCA.

3.2 Profil Perusahaan

Pertamina Eksplorasi dan Produksi Asset 4 *Field* Sukowati merupakan perusahaan yang bergerak di bidang minyak dan gas bumi yang terletak di Kabupaten Bojonegoro dan Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Kegiatan proses produksi, mencakup pengoperasian sumur produksi, pemisahan minyak, gas dan air di *Central Processing Area* (CPA) Mudi serta pisanisasi minyak hingga penampungan di FSO *Challenger* yang terletak di perairan Tuban, sebelum dikirim ke pembeli. Lapangan Mudi dan Sukowati adalah lapangan yang telah dikembangkan di Blok Tuban-*West Area*. Kedua lapangan tersebut dikembangkan melalui sistem *clusterpad*.

Di lapangan Mudi terdapat tiga buah PAD (A, B dan C) dan satu buah CPA. Di Sukowati terdapat dua PAD (A dan B). Jumlah sumur di lapangan Mudi adalah 24 buah, dimana 5

sumur masih aktif memproduksi menggunakan pompa (*Electrical Submersible Pump*), 9 sumur dalam kondisi tidak aktif, 3 sumur digunakan sebagai sumur injeksi air dan 7 sumur dengan *natural flow*. Jumlah sumur di lapangan Sukowati adalah 35 buah, dimana 27 sumur masih memproduksi dan 8 sumur dalam kondisi tidak aktif. Dari masing-masing sumur di setiap PAD di lapangan Mudi dan Sukowati, produksi dialirkan melalui pipa darat ke separator untuk di pisahkan antara fluida dan gas. Gas hasil pemisahan sebagian diolah untuk dijual pada pihak ketiga dan sebagian dibakar di *flare*. Kapasitas produksi minyak bumi, gas dan air harian Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati berdasarkan data Januari-Mei 2018 adalah sebesar 180.175,15 ton minyak bumi, 38.319,54 ton gas alam dan 765.663,74 ton air terproduksi.

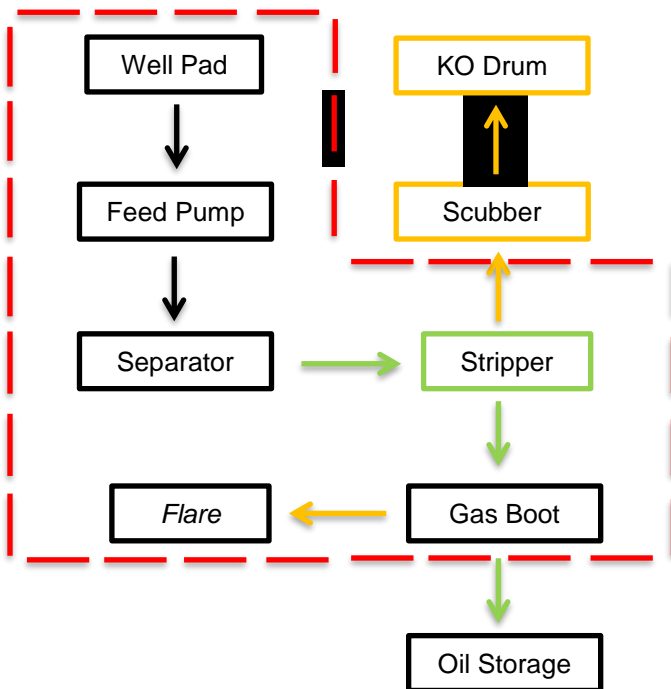
3.3 Central Processing Area (CPA)

Pada penelitian ini, wilayah studi yang dianalisis adalah *Central Processing Area (CPA)*, PEP Asset 4 *Field* Sukowati. Sedangkan untuk FSO *Challenger* dan *Jetty Area* tidak dilakukan analisis. Hal tersebut dikarenakan pada kedua area tersebut tidak terjadi proses produksi, melainkan hanya tempat menampung hasil produksi minyak bumi dan proses distribusi ke pihak konsumen.

Minyak bumi yang dieksplorasi dari sumur lapangan Mudi dan Sukowati mengandung berbagai macam komponen hidrokarbon dan komponen non-hidrokarbon. Minyak bumi merupakan campuran rumit dari ratusan rantai hidrokarbon, yang tersusun atas hidrokarbon sebanyak 50-98% berat, sisanya terdiri atas zat-zat organik yang mengandung belerang, oksigen dan nitrogen serta senyawa-senyawa anorganik seperti vanadium, nikel dan natrium yang merupakan senyawa logam. Secara umum, komposisi minyak bumi terdiri atas karbon (C) 84-87%, hidrogen (H) 11-14%, sulfur (S) 0-3%, nitrogen (N) 0-1%, oksigen (O) 0-2% serta senyawa logam (vanadium, nikel dan natrium) sebesar 0,001-0,05% berat logam (Samperuru, 2007).

Untuk mencapai spesifikasi minyak bumi yang akan dijual kepada konsumen, maka perlu dilakukan pengolahan yang

terintegrasi, proses utama yang berada di fasilitas produksi minyak bumi CPA adalah proses yang mencakup separator, *coloumn stripper*, dan *degassing boot*. Serta proses penunjang yaitu *flare* dan *genset*. Untuk *boundaries system* kegiatan utama proses produksi minyak bumi di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Boundaries System Proses Produksi Minyak Bumi
Sumber: PT Pertamina EP Asset 4 Field Sukowati, 2019

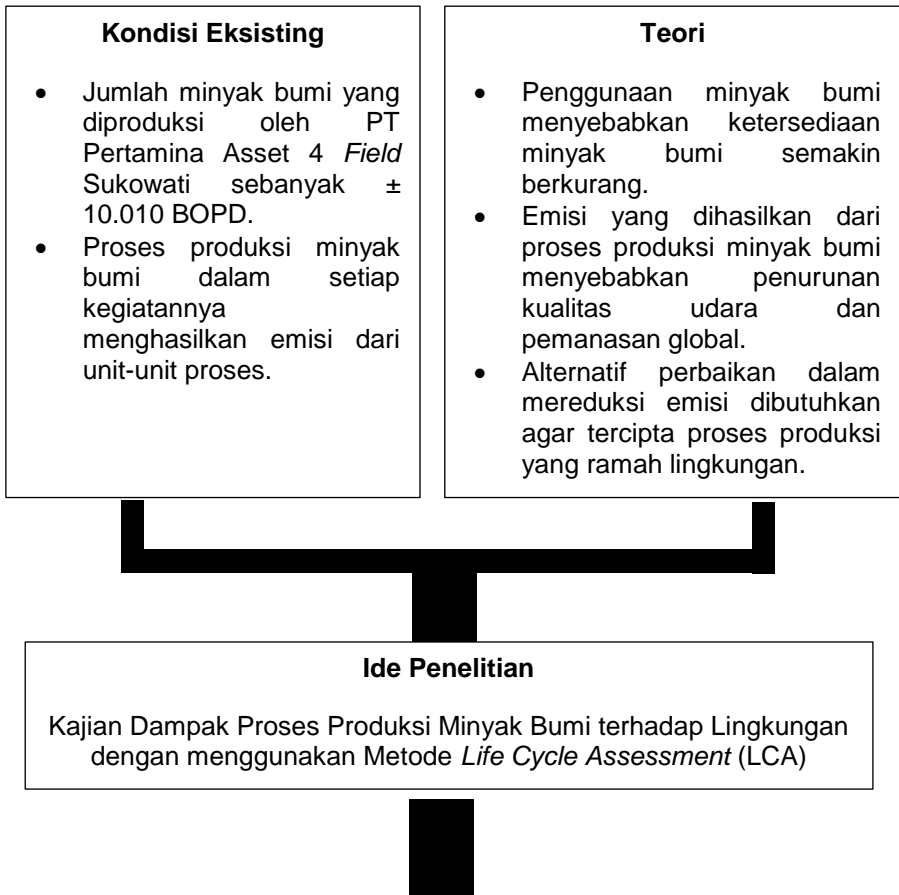
Keterangan:

Warna hijau: penyaluran minyak bumi

Warna orange: penyaluran gas bumi

3.4 Kerangka Penelitian

Susunan kerangka didasarkan pada tujuan penelitian. Dengan tujuan tersebut, dikembangkan menjadi ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data lapangan, analisis beban emisi, analisis dampak dengan *Life Cycle Assessment (LCA)* menggunakan SimaPro 8.5.2 dan penentuan alternatif perbaikan dari metode kuesioner. Kerangka penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Studi Literatur

- Eksplorasi dan Eksploitasi minyak bumi.
- Minyak bumi (definisi, komposisi dan proses pengolahan).
- Dampak pengolahan minyak bumi.
- Metode perhitungan beban emisi.
- LCA dan SimaPro

Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.5 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan pada penelitian ini terdiri atas:

1. Membuat perizinan untuk mendapatkan *license software* SimaPro dan mengunduh *software* SimaPro 8.5.2.
2. Kajian literatur yang dilakukan antara lain:
 - Eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi.
 - Proses pengolahan minyak bumi.
 - Komposisi minyak bumi.
 - Sumber emisi pada industri minyak dan gas bumi serta karakteristiknya.
 - Pencemaran udara, pemanasan global dan penipisan lapisan ozon.
 - Metode perhitungan beban emisi.
 - Metode *Life Cycle Assessment*, prinsip, karakteristik dan batasannya.
 - Aplikasi SimaPro 8.5.2 dan penggunaannya.
3. Melakukan perizinan untuk kepentingan pengumpulan data dan penyebaran kuesioner pada pihak PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati.

3.6 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari data produksi pengolahan minyak bumi di PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati. Data yang diperlukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data yang Diperlukan

No	Jenis Data	Metode Pengambilan Data	Durasi Data	Asal Data
1	Konsentrasi CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, NO _x dan SO _x pada unit <i>flare</i>	Data Sekunder	2016 - 2018	PT Pertamina Asset 4 Field <i>Field</i> Sukowati Tuban
2	Data <i>mass balance</i> (berat molekul, densitas, <i>flow</i> , tekanan dan suhu) produksi di PT Pertamina Asset 4 <i>Field</i> Sukowati	Data Sekunder	2016 - 2018	Data desain produksi PT Pertamina Asset 4 <i>Field</i> Sukowati Tuban
3	Data jumlah bahan baku, bahan bakar yang digunakan, serta emisi yang dihasilkan pada setiap unit proses utama (<i>well, separator, stripper</i> dan <i>gas boot</i>) dan unit penunjang (<i>genset</i>) di PT Pertamina Asset 4 <i>Field</i> Sukowati	Data Sekunder	-	Data desain produksi PT Pertamina Asset 4 <i>Field</i> Sukowati Tuban

No	Jenis Data	Metode Pengambilan Data	Durasi Data	Asal Data
4	Data jumlah produk yang dihasilkan dari produksi minyak bumi di PT Pertamina Asset 4 <i>Field</i> Sukowati	Data Sekunder	-	Data desain produksi PT Pertamina Asset 4 <i>Field</i> Sukowati Tuban

3.7 Tahap Pengolahan Data

Analisis data dilakukan dalam rangka menghitung beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x identifikasi dampak lingkungan yang terjadi dan pemilihan alternatif perbaikan yang akan direkomendasikan.

3.7.1 Analisis Beban Emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x

Data yang dianalisis adalah data beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x. Analisis yang akan dilakukan mencakup konsentrasi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x dalam jangka waktu 2 tahun setiap 6 bulan sekali pada unit *flare* dan jumlah bahan bakar yang digunakan pada unit *genset* sebagai unit penunjang dalam proses pengambilan minyak bumi. Dalam melakukan analisis beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x dilakukan hal-hal berikut:

1. Mengidentifikasi sumber-sumber emisi tidak bergerak yang ada di PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati. Pada PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati terdapat tiga unit yang menjadi sumber emisi tidak bergerak, yaitu separator, *stripper*, *gas boot*, *genset* dan *flare*.
2. Mengeliminasi unit-unit sumber emisi tidak bergerak yang tidak dioperasikan secara berkala sesuai dengan data PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati dan menganalisis lebih lanjut beban emisi pada unit-

unit sumber emisi tidak bergerak yang dioperasikan sepanjang proses produksi dilakukan.

3. Merekapitulasi data penggunaan bahan bakar pada setiap unit-unit sumber emisi tidak bergerak yang dianalisis.
4. Mencari nilai faktor emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x sesuai dengan unit sumber emisi tidak bergerak yang dianalisis.
5. Melakukan perhitungan faktor emisi dengan mengalikan nilai faktor emisi dengan *heating value*.
6. Menghitung beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x dengan menggunakan metode perhitungan beban emisi berdasarkan PerMen LH Nomor 12 Tahun 2012 yang dapat dilihat pada persamaan 11.

$$E_{,i} = FC \times EF \quad (11)$$

Dimana:

E_{,i} : Emisi komponen i (ton/hari)

i : Parameter emisi yang dihitung (CO₂,
CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x)

FC : Pemakaian bahan bakar (m³ atau MMscfd)

EF : Faktor emisi komponen i (ton/ton *fuel*)

Keluaran dari analisis ini adalah data beban emisi untuk gas CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x dari setiap unit pengolahan yang menjadi sumber emisi tidak bergerak, yaitu *separator*, *stripper*, *gas boot*, *genset* dan *flare*. PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati. Hasil dari analisis beban emisi ini nantinya akan digunakan dalam analisis LCA.

3.7.2 Analisis *Life Cycle Assessment* dengan *Software SimaPro 8.5.2*

Analisis dampak yang terjadi dari setiap kegiatan menggunakan metode LCA. Analisis yang akan dilakukan mencakup data bahan baku, bahan bakar, bahan kimia serta produk dan emisi yang dihasilkan dalam kegiatan produksi yang dilakukan. Data yang digunakan merupakan data desain produksi PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati. Dalam melakukan analisis dampak dengan metode LCA digunakan

software SimaPro 8.5.2. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan rekapitulasi data bahan baku dan bahan bakar yang digunakan pada setiap unit pengolahan, serta produk yang dihasilkan dari setiap unit pengolahan.
2. Melakukan rekapitulasi data emisi yang dihasilkan berdasarkan hasil analisis beban emisi yang telah dilakukan.
3. Melakukan konversi nilai masing-masing satuan data setiap unit pengolahan ke dalam satuan kg (sesuai dengan satuan pada *software* SimaPro).
4. Menentukan *goal and scoping* analisis dengan memasukkan tujuan penelitian kedalam *software* SimaPro 8.5.2. tujuan penelitian yang dimasukkan guna untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang terjadi pada kegiatan produksi minyak bumi di PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati.
5. Memasukkan data-data berupa bahan baku, bahan bakar, produk dan emisi yang telah dikonversi dalam satuan kg ke dalam *software* SimaPro 8.5.2.
6. Melakukan pemilihan metode dampak lingkungan yang digunakan dalam penelitian pada *software* SimaPro 8.5.2. Pada penelitian ini digunakan metode EI 99. Hasilnya berupa skenario besaran dampak dari setiap kegiatan berupa bagan. Semakin banyak atau tebal garis alir yang ditunjukkan pada bagan skenario artinya semakin besar pula potensi dampak lingkungan yang terjadi pada kegiatan tersebut.
7. Melakukan tahapan karakterisasi pada *software* SimaPro 8.5.2, yang mana terjadi pengalihan faktor karakterisasi dengan data-data yang telah di input pada tahap sebelumnya.
8. Melakukan tahapan normalisasi pada *software* SimaPro 8.5.2 dengan membagi hasil tahapan karakteristik dengan faktor normalisasi.
9. Melakukan tahapan pembobotan pada *software* SimaPro 8.5.2 dengan mengalikan hasil tahapan normalisasi dengan faktor pembobotan.

Hasil dari inputan data yang dimasukkan dalam *software* SimaPro 8.5.2 akan terlihat dampaknya yang paling besar dari setiap kegiatan yang dianalisis, sesuai dengan dampak yang dipilih berupa skenario dan grafik setiap kegiatan yang dianalisis. Berdasarkan besarnya dampak yang ditunjukkan dari hasil analisis LCA dengan *software* SimaPro 8.5.2, maka dapat diperkirakan alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk mereduksi dampak yang terjadi.

3.7.3 Analisis Alternatif Perbaikan

Alternatif perbaikan yang akan direkomendasikan disesuaikan dengan hasil analisis LCA yang dilakukan. Dalam analisis alternatif perbaikan dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis LCA dengan mengetahui dampak yang terjadi, maka dilakukan studi literatur mengenai alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk mereduksi dampak yang terjadi.
2. Melakukan rekapitulasi alternatif perbaikan mengenai cara kerja dan fungsinya sesuai dengan hasil studi literatur.
3. Melakukan *pra-survey* kepada pihak perusahaan terkait kondisi produksi pengolahan minyak bumi yang dilakukan dan kemungkinan alternatif-alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk mereduksi dampak lingkungan yang terjadi.
4. Meng kembali pilihan alternatif yang dapat dilaksanakan kedalam *software* SimaPro 8.5.2 dengan metode LCA.
5. Merekomendasikan alternatif perbaikan sesuai hasil perbandingan sebelum dan sesudah dilakukannya alternatif perbaikan dengan metode LCA kepada pihak perusahaan.

Hasil dari analisis ini adalah alternatif perbaikan yang paling mungkin diterapkan pada industri yang menjadi objek penelitian sesuai dengan hasil analisis menggunakan *software* SimaPro dengan metode LCA.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dan saran. Kesimpulan dibuat untuk menjawab tujuan dari penelitian yang dilakukan. Sedangkan, saran ditujukan untuk memberi petunjuk dan pengembangan terhadap penelitian sejenis yang mungkin akan dilakukan. Saran yang diberikan merupakan bentuk rekomendasi untuk menyempurnakan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Beban Emisi

Berdasarkan data *Process Flow Diagram* (PFD) PEP Asset 4 *Field* Sukowati (2019), kegiatan produksi minyak bumi di CPA terdapat unit-unit yang menjadi sumber emisi tidak bergerak, yaitu 2 unit separator, 1 unit *coloumn stripper*, 1 unit *degassing boot*, 1 unit *flare* (suar bakar) dan 5 unit *genset*. Unit-unit tersebut merupakan unit penunjang produksi minyak bumi dan proses pengambilan minyak bumi, yang dilakukan oleh PEP Asset 4 *Field* Sukowati di CPA. Pada penelitian ini, sumber emisi tidak bergerak yang akan dianalisis beban emisinya ialah unit separator, *flare* dan *genset*. Hal tersebut dikarenakan, unit separator dalam PermenLH No.12 Tahun 2012 termasuk sebagai peralatan yang menjadi sumber *fugitive* pada kegiatan produksi minyak bumi di *onshore*. Kemudian untuk unit *flare* dilakukan analisis beban emisi, dikarenakan terjadi pembakaran secara terus menerus maupun tidak dari gas-gas yang dihasilkan oleh kegiatan operasi minyak dan gas bumi. Serta untuk unit *genset* dilakukan analisis beban emisi dikarenakan terjadinya pembakaran dalam, yang mana menghasilkan panas sebagai penggerak langsung unit ESP pada proses pengambilan minyak bumi.

4.1.1 Perhitungan Beban Emisi Separator

Separator adalah tabung bertekanan tinggi yang digunakan untuk memisahkan *liquid* dan gas (dua fasa) atau gas, minyak dan air (tiga fasa) (Antari, 2016). Pada PT PEP Asset 4 *Field* Sukowati, jenis separator yang digunakan adalah separator tiga fasa. Terdapat dua jenis separator yaitu separator FWKO (V-100) dan separator FWKO (PV 9900). Perbedaan dari kedua jenis separator tersebut hanyalah mengenai kapasitas separator.

Perhitungan beban emisi dari sumber *fugitive* untuk Tier 2 adalah dengan menggunakan faktor emisi tingkat peralatan (*equipment*) yang didasarkan pada peralatan yang terdapat

pada suatu fasilitas pengolahan minyak dan gas bumi. Data yang dibutuhkan untuk menghitung beban emisi adalah tipe dan jumlah peralatan. Perhitungan yang diterapkan untuk menghitung beban emisi pada Tier 2 adalah dengan menggunakan rumus dasar pada Persamaan 4.1 berikut.

$$E_i = N \times EF_i \quad (4.1)$$

Dimana:

E : Beban emisi pencemar i (kg/tahun).

i : Parameter emisi yang dihitung (CH₄ dan nmHC).

N : Jumlah peralatan.

EF : Faktor emisi pencemar (ton/pemisah-jam).

Faktor emisi CH₄ yang digunakan dapat mengacu pada API *Compendium* 2009 yang ditampilkan pada Tabel 4.1. Perhitungan beban emisi CH₄ selanjutnya menggunakan rumus pada Persamaan 4.2 sebagai berikut.

$$E_{CH_4} = N \times EF \quad (\text{untuk } \%CH_4 \text{ } 78,8\%) \quad (4.2)$$

Apabila %CH₄ aktual tidak sama dengan 78,8% sebagaimana pada tabel faktor emisi, maka dihitung sebagai berikut:

$$E_{CH_4} = N \times EF \quad (\text{untuk } \%CH_4 \text{ } 78,8\%) \times \text{—————} \quad (4.3)$$

$$E_{NMHC} = E_{CH_4} \times \text{—————} \quad (4.4)$$

Dimana:

E_{CH₄} : Beban emisi *methane* – CH₄ (ton).

E_{NMHC} : Beban emisi *non methane Volatile Organic Compound* – nmVOC (ton).

%CH₄ : % mole CH₄ dalam emisi *fugitive*.

Berikut ditampilkan faktor emisi CH₄ untuk sumber *fugitive* pada *onshore crude production* – level peralatan (API *Compendium* 2009). Lihat Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Faktor Emisi CH₄ untuk sumber *fugitive*

Dasar Peralatan	Referensi Faktor Emisi CH ₄ Unit Asli		Ketidak pastian (±%)	Referensi Faktor Emisi CH ₄ Unit Dikonversi	
Sumber minyak - minyak mentah berat	0,83	scfd/sumur	30	6,63E-07	Ton/sumur-jam
Sumber minyak - minyak mentah ringan	19,58	scfd/sumur	30	1,56E-05	Ton/sumur-jam
Pos pemompaan minyak	1,06	lb CH ₄ /mil-tahun	30	5,49E-08 3,41E-08	Ton CH ₄ /mil-jam Ton CH ₄ /mil-jam
Pemisah - minyak mentah berat	0,85	scfd/separator	30	6,79E-07	Ton/pemisah-jam
Pemisah - minyak mentah ringan	51,33	scfd/separator	30	0,000041	Ton/pemisah-jam
Pengolah pemanas - minyak mentah ringan	59,74	scfd/pemanas	30	4,77E-05	Ton/pemanas-jam
Headers - minyak mentah berat	0,59	scfd/header	30	4,72E-07	Ton/header-jam
Headers - minyak mentah ringan	202,78	scfd/header	30	0,000162	Ton/header-jam
Tank - minyak mentah ringan	34,4	scfd/tank	30	2,75E-05	Ton/tank-jam
Kompresor kecil - minyak mentah ringan	46,14	scfd/kompresor	30	3,69E-05	Ton/kompresor-jam
Kompresor besar - minyak mentah ringan	16,36	scfd/kompresor	100	0,0131	Ton/kompresor-jam
Area Penjualan	40,55	scfd/area	100	3,24E-05	Ton/area-jam

Sumber: API Compendium 2009 dalam PerMen LH 12/2012

Crude Oil hasil pengeboran di PEP Asset 4 Field Sukowati ini merupakan jenis *Light Crude Oil*. Dalam gambar 4.3 diatas faktor emisi unit separator yang digunakan adalah

separator pemisah minyak mentah ringan dengan nilai faktor emisi yaitu 0,000041 ton/pemisah-jam.

Perhitungan beban emisi CH₄ dan *non methane Volatile Organic Compound* dari sumber *fugitive* dalam hal ini adalah unit separator FWKO (V-100) dan separator FWKO (PV 9900) adalah sebagai berikut:

Diketahui:

N : 2

EF : 0,000041 ton/pemisah-jam

% CH₄ aktual : 48%

Beban emisi CH₄:

$E_{CH_4} = 2 \times 0,000041 \text{ ton/pemisah-jam} \times \text{---}$

$E_{CH_4} = 0,00004994 \text{ ton/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 30 \text{ hari/bulan}$

$E_{CH_4} = 0,03596 \text{ ton/bulan} \times 12 \text{ bulan/tahun} = 0,4316 \text{ ton/tahun}$

Beban emisi nmHC:

$E_{NMHC} = 0,03596 \text{ ton/bulan} \times \text{---}$

$E_{NMHC} = 0,009675 \text{ ton/bulan} \times 12 \text{ bulan/tahun}$

$E_{NMHC} = 0,1161 \text{ ton/tahun}$

Dari hasil perhitungan %CH₄ aktual sebesar 48% dan faktor emisi yang mengacu pada *API Compendium 2009* dalam PermenLH, maka didapatkan beban emisi CH₄ dalam satu tahun yang dikeluarkan oleh unit separator sebesar 0,4316 ton/tahun dan beban emisi *non methane Volatile Organic Compound* yang di keluarkan oleh unit separator dalam satu tahun sebesar 0,1161 ton/tahun.

4.1.2 Perhitungan Beban Emisi *Flare*

Menurut PerMen LH No. 12 Tahun 2012, suar bakar (*flare*) adalah pembakaran yang terjadi secara terus menerus maupun tidak dari gas-gas yang dihasilkan oleh kegiatan operasi minyak dan gas bumi pada cerobong tetap (*stationary stack*), baik vertikal maupun horizontal. Suar bakar terbagi menjadi tiga jenis, yaitu suar bakar bertekanan rendah (*low*

pressure flare), suar bakar bertekanan menengah (*medium pressure flare*) dan suar bakar bertekanan tinggi (*high pressure flare*). *Flare* digunakan sebagai pembakar gas buang/gas limbah dari proses karena kondisi untuk menjaga peralatan jika terjadi *overpressure*. Terkadang, gas buang memang sengaja dialirkan ke unit *flare* karena kebutuhan, misalnya kondisi *offspec* atau kondisi *shutdown* untuk perbaikan peralatan.

Berdasarkan data laporan CPA, PEP Asset 4 *Field Sukowati* (2018), jenis *flare* yang digunakan pada proses produksi minyak bumi di CPA adalah *High Pressure* (HP) dan *Low Pressure* (LP) *flare*. HP dan LP *flare* di bangun secara berdekatan. Perbedaan *pressure* yang dimaksudkan dalam jenis *flare* ini bukan berada pada tekanan gas yang ada di *flare*, namun perbedaan sumber gas yang masuk ke dalam unit *flare*. Selama operasi, gas yang di alirkan ke HP *flare* berasal dari seal drum yang pengggunaannya tidak secara terus menerus, HP *flare* berada pada kondisi *stand by* dikarena seluruh gas bumi hasil pemisahan minyak bumi sebagiannya di jual pada pihak ketiga. Sedangkan, untuk gas yang dialirkan ke LP *flare* berasal dari *gas boot* dan tanki-tanki penyimpanan minyak bumi.

Berdasarkan data desain produksi di PEP Asset 4 *Field Sukowati*, jumlah gas total yang dialirkan pada unit *flare* adalah 924,87 lb/jam. Parameter beban emisi yang dihitung untuk unit suar bakar berdasarkan PerMen LH No. 12 Tahun 2012 adalah beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x. Selanjutnya, untuk perhitungan beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x pada unit *flare* berdasarkan PerMen LH No. 12 Tahun 2012 dapat dilihat pada Persamaan 4.5.

$$E_i = FC \times E_{Fi} \quad (4.5)$$

Keterangan:

- E : Beban emisi komponen i (ton/hari).
- i : Parameter emisi yang dihitung (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x)
- FC : Jumlah gas yang dialirkan ke *flare* (ton).
- EF : Faktor emisi komponen i (ton/ton), yang didasarkan

pada OGP *Report* No. 197, seperti yang terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Faktor Emisi untuk Gas Flaring

Emisi	Unit	Faktor Emisi
CO ₂	Ton CO ₂ /Ton gas	2,61
CH ₄	Ton CH ₄ /Ton gas	0,035
N ₂ O	Ton N ₂ O/Ton gas	0,000081
NO _x	Ton NO _x /Ton gas	0,0015
SO _x	Ton SO _x /Ton gas	0,0000128

Sumber: OGP Report No. 197 dalam PerMen LH 12/2012

Untuk menyetarakan nilai satuan, maka sebelum menghitung beban emisi yang dikeluarkan oleh unit *flare*, terlebih dahulu dilakukan konversi nilai gas yang dialirkan ke unit tersebut dalam satuan ton. Berikut ini perhitungan konversi jumlah gas yang dialirkan ke unit *flare*:

$$\begin{aligned}
 FC &= 924,87 \text{ lb/jam} \times 0,454 \text{ kg/lb} \times 24 \text{ jam/hari} \\
 &= 10077,41 \text{ kg/hari} \\
 &= 10,08 \text{ ton/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\
 &= 3.678,25 \text{ ton gas/tahun}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x pada unit *flare* (suar bakar) di PEP Asset 4 *Field* Sukowati dengan persamaan 4.5 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2} &= FC \times EF_{CO_2} \\
 &= 3.678,25 \text{ ton gas/tahun} \times 2,61 \text{ ton CO}_2/\text{ton gas} \\
 &= 9.600,24 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{CH_4} &= FC \times EF_{CH_4} \\
 &= 3.678,25 \text{ ton gas/tahun} \times 0,035 \text{ ton CH}_4/\text{ton gas} \\
 &= 128,74 \text{ ton CH}_4/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{N_2O} &= FC \times EF_{N_2O} \\
 &= 3.678,25 \text{ ton gas/tahun} \times 0,000081 \text{ ton N}_2\text{O}/\text{ton gas} \\
 &= 0,298 \text{ ton N}_2\text{O}/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{NO_x} &= FC \times EF_{NO_x} \\
 &= 3.678,25 \text{ ton gas/tahun} \times 0,0015 \text{ ton NO}_x/\text{ton gas}
 \end{aligned}$$

= 5,52 ton NOx/tahun

$$\begin{aligned}
 E_{\text{SOx}} &= FC \times EF_{\text{SOx}} \\
 &= 3.678,25 \text{ ton gas/tahun} \times 0,0000128 \text{ ton SOx/ton gas} \\
 &= 0,047 \text{ ton SOx/tahun}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dengan konsumsi gas yang dialirkan ke unit *flare* sebesar 924,87 lb/jam dan faktor emisi dari OGP *report* No.197, maka didapatkan beban emisi CO₂ sebesar 9.600,24 ton CO₂/tahun, CH₄ sebesar 128,74 ton CH₄/tahun, N₂O sebesar 0,298 ton N₂O/tahun, NO_x sebesar 5,52 ton NO_x/tahun dan SO_x 0,047 ton SO_x/tahun.

4.1.3 Perhitungan Beban Emisi *Genset*

Menurut PerMen LH No. 12 Tahun 2012, *genset* merupakan mesin pembakaran dalam atau motor bakar adalah mesin berbahan bakar cair maupun gas yang mengubah energi panas menjadi energi mekanis.

Dalam proses produksi minyak bumi di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati, terdapat 5 unit *genset* yang digunakan untuk menggerakkan *electrical submersible pump* yang berfungsi untuk memompa *crude oil* dari dalam sumur produksi. Waktu pengoperasian rata-rata *genset* dalam satu tahun ialah sebesar 7.045,81 jam.

Berdasarkan data desain produksi di PEP Asset 4 *Field* Sukowati, *genset* dengan 5 unit tersebut memiliki spesifikasi yang sama, oleh karena itu perhitungan beban emisi ini di totalkan dari 5 unit tersebut. Jumlah bahan bakar (solar) yang digunakan adalah sebesar 345,33 m³/tahun. Beban emisi yang dihitung berdasarkan PerMen LH No. 12 Tahun 2012 adalah beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x. Selanjutnya untuk perhitungan beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x pada unit *genset* berdasarkan PerMen LH No.12 Tahun 2012 dapat dilihat pada Persamaan 4.6.

$$E_i = FC \times EF_i \quad (4.6)$$

Keterangan:

- E : Beban emisi komponen i (ton/hari).
- i : Parameter emisi yang dihitung (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x)

- FC : Pemakaian bahan bakar (m^3 atau MMscfd)
 EF : Faktor emisi komponen i (ton/ton), yang didasarkan pada *OGP Report No. 197* seperti yang terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Faktor Emisi untuk Unit Pembakaran (*Fuel Based*)

Emisi	Unit	Faktor Emisi
CO ₂	Ton CO ₂ /Ton <i>fuel</i>	3,2
CH ₄	Ton CH ₄ /Ton <i>fuel</i>	0,00014
N ₂ O	Ton N ₂ O/Ton <i>fuel</i>	0,00022
NO _x	Ton NO _x /Ton <i>fuel</i>	0,008
SO _x	Ton SO _x /Ton <i>fuel</i>	0,07

Sumber: OGP Report No. 197 dalam PerMen LH 12/2012

Untuk menyelaraskan nilai satuan, maka sebelum dihitung beban emisi yang dikeluarkan oleh unit *genset*, terlebih dahulu dilakukan konversi nilai solar yang digunakan oleh unit *genset* tersebut ke dalam satuan ton/tahun. Berikut ini adalah perhitungan konversi jumlah solar yang digunakan oleh unit *genset*:

$$\begin{aligned}
 FC &= 345,33 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 1000 \text{ L/m}^3 \\
 &= 345.440 \text{ L/tahun} \times 0,832 \text{ kg/L} \\
 &= 287.314,56 \text{ kg/tahun} \div 1000 \text{ ton/kg} \\
 &= 287,32 \text{ ton } \textit{fuel}/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Maka, beban emisi yang dikeluarkan oleh unit *genset* dalam kurun waktu satu tahun adalah:

$$\begin{aligned}
 E_{CO_2} &= FC \times EF_{CO_2} \\
 &= 287,32 \text{ ton } \textit{fuel}/\text{tahun} \times 3,2 \text{ ton CO}_2/\text{ton } \textit{fuel} \\
 &= 919,42 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{CH_4} &= FC \times EF_{CH_4} \\
 &= 287,32 \text{ ton } \textit{fuel}/\text{tahun} \times 0,00014 \text{ ton CH}_4/\text{ton } \textit{fuel} \\
 &= 0,040 \text{ ton CH}_4/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{N_2O} &= FC \times EF_{N_2O} \\
 &= 287,32 \text{ ton } \textit{fuel}/\text{tahun} \times 0,00022 \text{ ton N}_2\text{O}/\text{ton } \textit{fuel}
 \end{aligned}$$

$$= 0,063 \text{ ton N}_2\text{O/tahun}$$

$$E_{\text{NOx}} = \text{FC} \times \text{EF}$$

$$= 287,32 \text{ ton fuel/tahun} \times 0,008 \text{ ton NOx/ton fuel}$$

$$= 2,30 \text{ ton NOx/tahun}$$

$$E_{\text{SOx}} = \text{FC} \times \text{EF}$$

$$= 287,32 \text{ ton fuel/tahun} \times 0,07 \text{ ton SOx/ton fuel}$$

$$= 20,11 \text{ ton SOx/tahun}$$

Dari hasil perhitungan dengan konsumsi bahan bakar (solar) oleh unit *genset* sebesar 345,33 m³/tahun dan faktor emisi yang mengacu pada *OGP Report No.197*, maka didapatkan beban emisi CO₂ sebesar 919,42 ton CO₂/tahun, CH₄ sebesar 0,040 ton CH₄/tahun, N₂O sebesar 0,063 ton N₂O/tahun, NO_x sebesar 2,30 ton NO_x/tahun dan SO_x 20,11 ton SO_x/tahun.

4.2 Analisis Hasil Perhitungan Beban Emisi

Hasil perhitungan beban emisi pada sub-bab 4.3 untuk unit separator, *flare* dan *genset* yang ada di CPA PEP Aset 4 *Field* Sukowati dapat dilihat secara ringkas pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Beban Emisi

Parameter Emisi (ton/tahun)	Unit Pengolahan			Total
	Separator	Flare	Genset	
CO ₂	-	9.600,24	919,42	10.519,66
CH ₄	0,432	128,74	0,0400	129,21
N ₂ O	-	0,298	0,06300	0,361
NO _x	-	5,52	2,30	7,82
SO _x	-	0,047	20,11	20,16
nmHC	0,116	-	-	0,116
	Total			10.677,33

Berdasarkan data hasil perhitungan beban emisi pada Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa beban emisi CO₂, CH₄, N₂O dan NO_x terbesar dihasilkan oleh unit *flare*. Sedangkan, beban emisi SO_x terbesar di hasilkan oleh *genset* dan beban

emisi nmHC (*non methane Volatile Organic Compound*) terbesar dihasilkan oleh unit separator. Maka total beban emisi yang dihasilkan oleh PEP Asset 4 *Field* Sukowati sepanjang tahun 2017 adalah sebesar 10.677,33 ton/tahun.

Untuk membandingkan nilai beban emisi dengan *benchmarking* emisi per satuan produk perusahaan sejenis. Maka tahap pertama yang dilakukan adalah menghitung beban pencemaran udara dalam satuan *CO₂ Equivalen*. Berdasarkan hasil analisis perhitungan beban emisi pada Tabel 4.4, dapat dilakukan perhitungan *CO₂ Equivalen* dimana gabungan dari parameter *CO₂*, *CH₄*, dan *N₂O*. Pedoman perhitungan *CO₂ Equivalen* dilihat pada Draft Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi GRK Sektor Industri Oleh Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri (2012), berikut rumus perhitungan *CO₂ Equivalen* dapat dilihat pada Persamaan 4.8.

$$E = \sum E_{CO_2} + (\sum E_{CH_4} \times 21) + (\sum E_{N_2O} \times 310) \quad (4.8)$$

Maka, nilai beban emisi dalam satuan *CO₂ Equivalen* adalah sebagai berikut:

$$E = 10.308,69 \text{ ton} + (129,18 \times 21) \text{ ton} + (0,299 \times 310) \text{ ton}$$

$$E = 13.114,16 \text{ ton CO}_2\text{e/tahun}$$

Sehingga, hasil perhitungan *CO₂ Equivalen* diatas dapat disimpulkan bahwa emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sepanjang tahun 2017 di PEP Asset 4 *Field* Sukowati adalah sebesar 13114,226 ton/tahun. Kemudian langkah berikutnya ialah, menghitung *benchmarking* emisi per satuan produk PEP Asset 4 *Field* Sukowati dengan Persamaan 4.9.

$$E_{mt} = \frac{E}{n} \quad (4.9)$$

Dimana:

E_{mt} : Emisi yang dihasilkan tiap satuan produk
(Ton *CO₂* Eq/satuan produk)

E_{mi} : Emisi yang dihasilkan pada bulan ke-i (Ton *CO₂* Eq)

P_i : Produksi minyak pada bulan ke-i (satuan produk)

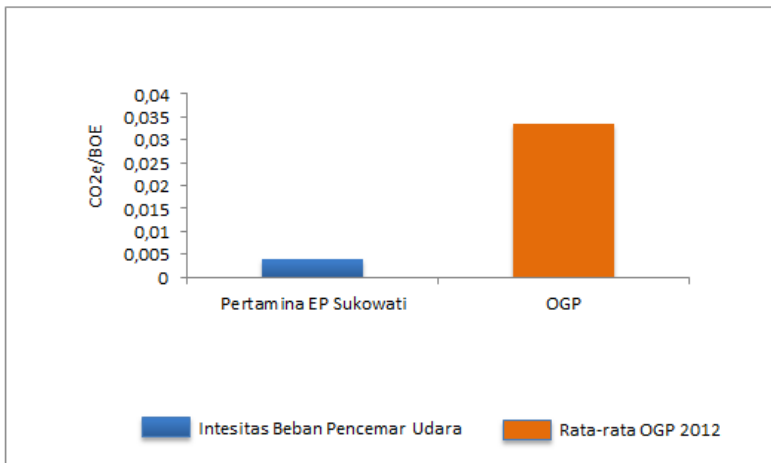
n : Jumlah bulan dalam satu tahun (12 bulan)

Produksi minyak bumi di PEP Asset 4 *Field* Sukowati tahun 2017 adalah sebesar 3.149.357 BBL/tahun. Maka, *benchmarking* emisi per satuan produk PEP Asset 4 *Field* Sukowati adalah sebagai berikut:

$$\text{Emit} = \frac{\text{Total Emisi}}{\text{Total Produksi}}$$

$$\text{Emit} = 0,00416 \text{ ton CO}_2\text{e/BBL}$$

PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati menghasilkan jumlah emisi pencemar udara pada tahun 2017 adalah 0,00416 ton CO₂e/BBL dari proses yang dianalisis pada unit separator, LP *Flare* dan *genset*. *Benchmarking* mengenai emisi udara oleh PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati dibandingkan dengan rata-rata *Oil and Gas Procedurs* pada tahun 2012 dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Data Pencemar Udara PEP Asset 4 *Field* Sukowati dan OGP

Sumber: *Benchmarking PT Pertamina EP, 2017*

Berdasarkan Gambar 4.2, diketahui bahwa PEP Asset 4 *Field* Sukowati memiliki intensitas emisi paling rendah yaitu 0,00416 ton CO₂e/BBL yang dihasilkan dari perhitungan beban emisi unit separator, LP *Flare* dan *genset*, apabila

dibandingkan dengan rata-rata *International Association of Oil and Gas Procedures* (OGP) 2012 dengan nilai 0,0336 ton CO₂e/BBL. Maka, *benchmarking* emisi PEP Asset 4 *Field* Sukowati sudah dibawah nilai rata-rata.

4.3 Analisis LCA menggunakan SimaPro 8.5.2

Life Cycle Assessment (LCA) adalah proses objektif untuk menilai dampak lingkungan dari produk, proses, atau aktivitas. Penilaian tersebut dilakukan dengan mengidentifikasi sumber energi, penggunaan *raw material* dan pembuangan pada lingkungan. Selain itu, metode tersebut dapat mengevaluasi dan menerapkan kemungkinan perbaikan lingkungan (Graedel dan Allenby, 1995).

Untuk melakukan analisis LCA dapat digunakan *software* SimaPro 8.5.2, yang mana pada tahapan mengolah data dalam *software* tersebut telah disesuaikan dengan tahapan analisis LCA. Adapun tahapan analisis LCA adalah *goal and scope*, *life cycle inventory*, *life cycle impact assessment* dan interpertasi data.

4.3.1 Goal and Scope

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang terjadi pada proses utama sumur-sumur produksi dengan menggunakan *Electrical Submersible Pump* (ESP), unit separator, unit *coloumn stripper* dan unit *gas boot* dan proses pada unit penunjang (*flare*) yang terdapat pada kegiatan pengamilan dan produksi minyak bumi di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati.

Dilihat dari kegiatan perusahaan PEP Asset 4 *Field* Sukowati, ruang lingkup LCA termasuk dalam *cradel to gate*. Dimana *cradel to gate*, dimulai dari pengambilan minyak bumi dari sumur produksi (*raw material*) hingga proses pendistribusian dari produk yang dihasilkan (Hermawan, 2013). Namun pada penelitian ini terbatas pada *gate to gate*, yaitu ruang lingkup yang hanya meninjau kegiatan terdekat. Pemilihan ruang lingkup LCA *gate to gate* ini di dasarkan atas penelitian yang dilakukan, yaitu hanya berfokus pada kegiatan proses produksi minyak bumi, tidak sampai pada proses pendistribusian produk.

Berdasarkan ruang lingkup yang dipilih, maka proses yang dianalisis dalam penelitian ini adalah dua rangkaian proses utama, yaitu yang pertama proses pengambilan minyak bumi, LCA dilakukan hanya untuk sumur produksi yang menggunakan ESP dan proses produksi minyak bumi dengan unit-unit proses yaitu, separator, *column stripper* dan *gas boot*, serta unit penunjang yaitu *flare* yang ada di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis dampak yang terjadi adalah *Eco Indicator 99*. Metode *Eco Indicator 99* dinilai lebih komprehensif dalam melakukan evaluasi terhadap dampak lingkungan (Kautzar *et al.*, 2015). Pada metode ini dampak terhadap lingkungan yang dianalisis adalah *ozone layer depletion*, *climate change*, *land use*, *respiratory organic effects*, *respiratory inorganic effects* dan *fossil fuels*. Kategori dampak lingkungan tersebut dipilih selain berdampak terhadap kualitas udara, serta dapat pula terlihat keterkaitannya dengan kategori kerusakan yang dapat ditimbulkan dari metode penilaian dampak yang digunakan. Selain itu, sesuai dengan pendekatan metode EI 99 yang termasuk ke dalam metode *endpoint* (Menoufi *et al.*, 2011), maka dilakukan juga analisis terhadap kerusakan apa yang mungkin ditimbulkan, yang terbagi dalam tiga kategori utama, yaitu *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*.

4.3.2 Life Cycle Inventory (LCI)

Untuk melakukan penilaian dampak dari proses yang dianalisis, maka dibutuhkan *input* data pada tahap ini yang meliputi kesetimbangan material antara data bahan baku yang digunakan dan data produk yang dihasilkan, energi yang digunakan, serta emisi yang dihasilkan. Data yang digunakan merupakan data desain produksi dalam satu tahun, yang didapatkan dari pihak perusahaan PEP Asset 4 *Field* Sukowati. Tahap akhir dari proses LCI merupakan penggabungan *input* bahan baku, proses produksi serta emisi yang dikeluarkan sehingga membentuk sebuah *life cycle*. Dari *life cycle* tersebut nantinya akan diketahui proses yang memiliki dampak terbesar terhadap lingkungan (Kautzar *et al.*, 2015).

Hasil dari pengolahan data LCI akan menghasilkan *network*. *Network* ini memberikan informasi mengenai hubungan dari setiap proses yang memiliki pengaruh dalam menghasilkan dampak. Dalam *network* ini terdapat diagram yang menunjukkan keterkaitan antar proses yang dihubungkan oleh garis merah. Diagram *network* ini berjalan dari bawah ke atas, dimana kegiatan yang berada dibawah adalah pendukung dari adanya kegiatan yang berada diatasnya. Garis merah yang menghubungkan antar gambar diagram tersebut pun memiliki arti, setiap ketebalan garis merah menunjukkan kepentingan hubungan dari setiap langkah serta kontribusi terhadap lingkungan. Semakin tebal garis merah maka kontribusi yang dikeluarkan terhadap lingkungan semakin besar. Satuan yang digunakan pada tahap LCI adalah Pt (*point*), yang mana untuk skala 1 Pt adalah perwakilan untuk satu seperseribu beban lingkungan tahunan satu penduduk rata-rata Eropa (Kusumawardani, 2017).

4.3.2.1 Life Cycle Inventory Sumur Produksi

Pada PT Pertamina Asset 4 *Field* Sukowati, terdapat lima sumur produksi yang dilengkapi dengan ESP, dengan masing-masing ESP ialah skw 15, skw 12 a, skw 25, skw 32 dan skw 34. Perlu diketahui bahwa, sumur produksi minyak bumi ini tidak memproduksi minyak bumi setiap saat, ada masanya ketika sumur-sumur tersebut tidak memproduksi minyak bumi dan saat itu pula ESP yang digunakan tidak dinyalakan. Sehingga siklus penggunaan ESP mengikuti sumur produksi minyak bumi. Sumber listrik yang digunakan oleh ESP berasal dari *genset*, satu ESP menggunakan satu *genset*. Sehingga total *genset* yang terdapat di CPA PEP Asset 4 *Field* Sukowati adalah lima unit. Berikut ditampilkan total kWh dan *running hour* penggunaan pompa pada Tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5 kWh Penggunaan ESP

Bulan	Skw 15	Skw 12a	Skw 25	Skw 32	Skw 34
Januari	23.053,45	24.515,83	34.590,74	23.987,82	14.563,39
Februari	17.625,21	12.086,60	27.278,67	0	13.107,15
Maret	20.436,31	0	33.216,78	3.672,56	14.158,30
April	18.668,89	15.456,13	26.904,83	24.456,54	1.633,84
Mei	17.453,37	18.097,67	11.106,29	23.983,81	18.176,35
Juni	17.743,13	17.528,04	33.070,76	24.662,52	18.231,17
Juli	18.653,08	18.340,64	32.665,13	26.570,23	17.178,67
Agustus	17.130,19	5.807,22	29.834,22	9.046,99	14.570,61
September	19.086,35	26.012,96	33.809,52	24.878,40	12.371,00
Oktober	8.953,97	24.810,56	31.763,38	29.962,26	15.605,34
November	0	26.373,08	34.617,3	13.335,59	14.710,31
Desember	0	27.185,21	17.965,56	35.889,93	14.497,27
Total	178.803,95	216.213,93	346.823,17	240.446,66	168.803,39

Sumber: Data Desain Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

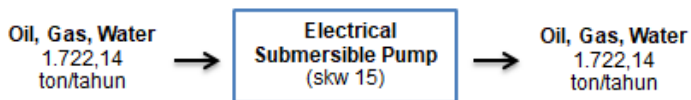
Tabel 4.6 Running Hour Penggunaan ESP

Bulan	Skw 15	Skw 12a	Skw 25	Skw 32	Skw 34
Januari	739,50	743	736	644,50	744
Februari	672	326	667	0	672
Maret	744	0	741,30	199,92	683,58
April	720	622,50	567,75	720	83,50
Mei	744	744	246	744	728
Juni	720	720	720	718	720
Juli	739,50	742	740,25	734,50	744
Agustus	696	181,75	672	202,50	661
September	720	720	720	622	720
Oktober	358	669	670	670	669,50
November	0	720	716	290,50	706
Desember	0	744	358	744	468
Total	6.853	6.932,25	7.554,30	6.289,92	7.599,58

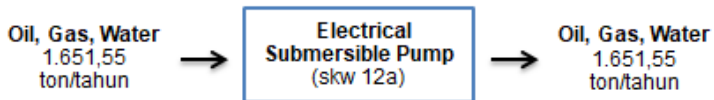
Sumber: Data Desain Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Angka 0 pada tabel 4.5 dan 4.6 untuk ESP skw 15 bulan november dan desember, ESP skw 12a pada bulan maret serta ESP skw 32 pada bulan february memiliki arti bahwa, pada bulan tersebut ESP tidak di nyalakan yang artinya pada saat tersebut pula sumur produksi tidak menghasilkan minyak bumi. Total kWh terbesar pada tahun 2018 adalah ESP skw 25 yaitu dengan nilai kWh sebesar 34.6823,17 kWh/tahun. Sedangkan, total kWh terkecil pada tahun 2018 adalah ESP skw 34 yaitu dengan nilai kWh sebanyak 16.8803,39 kWh/tahun. Selain itu, *running hour* terbesar adalah pompa skw 25 yaitu sebesar 7.554,30 jam/tahun dan *running hour* terkecil adalah ESP skw 32 dengan total *running hour* sebanyak 6.289,92 jam/tahun.

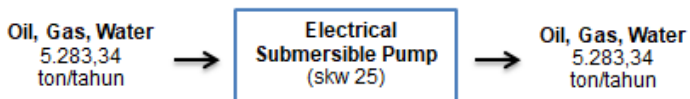
Berikut ditampilkan *mass balance* dari masing-masing pompa. Lihat Gambar 4.3-4.7.



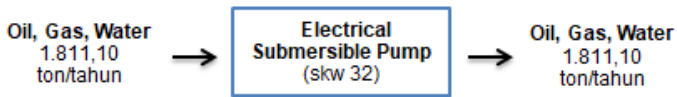
Gambar 4.3 Mass Balance ESP skw 15
Sumber: Data Desain Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018



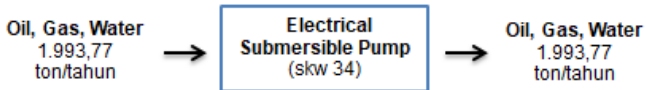
Gambar 4.4 Mass Balance ESP skw 12a
Sumber: Data Desain Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018



Gambar 4.5 Mass Balance ESP skw 25
Sumber: Data Desain Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018



Gambar 4.6 Mass Balance ESP skw 32
Sumber: Data Desain Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018



Gambar 4.7 Mass Balance ESP skw 34
Sumber: Data Desain Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Gambar 4.3-4.7 diatas merupakan *mass balance* ESP yang digunakan di PEP Asset 4 *Field* Sukowati. Minyak, gas dan air yang di pompa dari sumur produksi tersebut selanjutnya akan di alirkan ke unit proses produksi untuk menjadi minyak bumi, gas bumi dan air terproduksi.

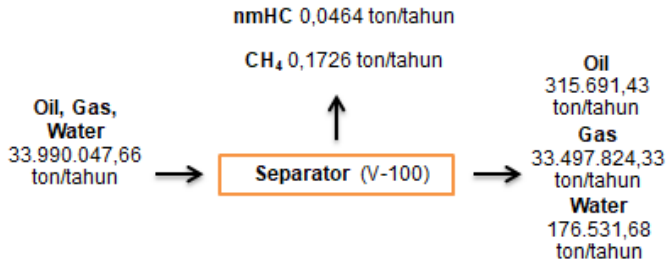
4.3.2.2 Life Cycle Inventory Proses Produksi Minyak Bumi

Minyak bumi hasil dari sumur produksi selanjutnya di alirkan menuju unit separator (V-100) dan (PV-9900), kemudian minyak bumi hasil pemisahan pada unit separator di alirkan ke unit *column stripper* (PV-9500). Selanjutnya minyak bumi dialirkan ke unit *oil gas boot* (TK-900) dan *excess gas* dari hasil pemisahan minyak bumi selanjutnya di alirkan ke LP *Flare*.

- **Unit Separator**

Separator adalah tabung bertekanan tinggi yang digunakan untuk memisahkan *liquid* dan gas (dua fasa) atau gas, minyak dan air (tiga fasa). Pada PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati, jenis separator yang digunakan adalah separator tiga fasa (Antari, 2016). Separator tiga fasa pada umumnya digunakan di lapangan minyak yang bertekanan *low pressure* hingga *medium pressure* serta lebih banyak digunakan untuk sumur produksi yang lebih dominan menghasilkan minyak. Prinsip pemisahan separator sendiri terbagi menjadi empat, yaitu berdasarkan prinsip penurunan

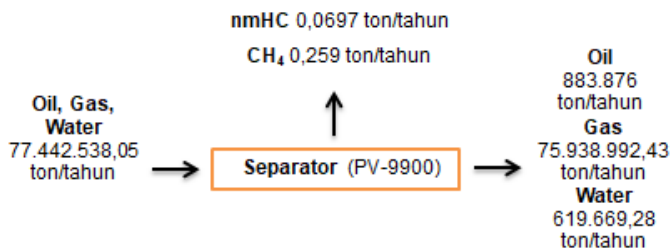
tekanan, *gravity settling*, turbulensi aliran atau perubahan aliran dan pemecahan atau tumbukan fluida pada bidang datar (Antari, 2016). Berikut di tampilkan *mass balance* unit separator (V-100) dan (PV-9900), lihat Gambar 4.8-4.9.



Gambar 4.8 Mass Balance Separator V-100

Sumber: Data Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat diketahui, bahwa total nilai *input* untuk unit separator V-100 adalah sebesar 33.990.047,66 ton/tahun, sebelum menjadi *output* unit separator V-100, terjadi pengurangan jumlah *input* sebesar 0,0464 ton/tahun sebagai emisi nmHC dan 0,1726 ton/tahun sebagai CH₄. Sehingga nilai *output* unit separator V-100 menjadi 315.691,43 ton/tahun untuk minyak, 33.497.824,33 ton/tahun untuk gas dan 176.531,68 ton/tahun.



Gambar 4.9 Mass Balance Separator PV-9900

Sumber: Data Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Berdasarkan Gambar 4.9 dapat diketahui, bahwa total nilai *input* untuk unit separator PV-9900 adalah sebesar 77.442.538,05 ton/tahun, sebelum menjadi *output* unit

separator PV-9900, terjadi pengurangan jumlah *input* sebesar 0,0697 ton/tahun sebagai emisi nmHC dan 0,259 ton/tahun sebagai CH₄. Sehingga nilai *output* unit separator PV-9900 menjadi 883.876 ton/tahun untuk minyak, 75.938.992,43 ton/tahun untuk gas dan 619.669,28 ton/tahun.

- **Unit Coloumn Stripper**

Stripper adalah alat yang digunakan untuk mengambil suatu zat atau senyawa dari senyawa lainnya dengan fase yang berbeda. *Stripper* disebut juga sebagai kolom distilasi yang berfungsi sebagai unit operasi untuk melakukan proses pemisahan sebuah campuran menjadi dua atau lebih produk yang memiliki titik didih berbeda, dengan mengeluarkan komponen yang lebih mudah menguap dari campuran. *Stripper* pada umumnya dilengkapi dengan *compressor* atau pompa vakum yang berfungsi untuk mengalirkan gas atau udara, sehingga aliran gas tersebut menyerap gas yang terdapat di dalam *liquid* yang akan dipisahkan dari aliran gasnya (Anonim, 2013). Berikut di tampilkan *mass balance* unit *stripper* (PV-9500), lihat Gambar 4.10.



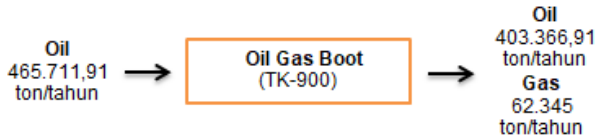
Gambar 4.10 Mass Balance Stripper PV-9500
Sumber: Data Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat diketahui, bahwa total nilai *input* untuk unit *stripper* PV-9500 adalah sebesar 1.199.567,87 ton/tahun, tidak terjadinya pengurangan nilai input akibat emisi yang dikeluarkan dari unit *stripper* PV-9500. Maka, nilai *output* unit *stripper* PV-9500 menjadi 8465.711,91 ton/tahun untuk minyak dan 733.855,96 ton/tahun untuk gas.

- **Unit Oil Gas Boot**

Gas boot adalah alat yang berfungsi untuk memisahkan gas dan *liquid* agar tidak masuk ke dalam *free water knock out* (FWKO)/*wash tank*. *Gas boot* juga membantu mengurangi dan menstabilkan *pressure* dari unit *stripper*. Pada *gas boot*, fluida

mengalami putaran sentrifugal yang bertujuan untuk melepaskan gas yang tersisa keluar dari fluida (Anonim, 2013). Fluida hasil proses *gas boot* selanjutnya di alirkan menuju *oil storage*/tanki, sementara gas yang telah terpisah kemudian dialirkan ke *flare*, lihat Gambar 4.11.

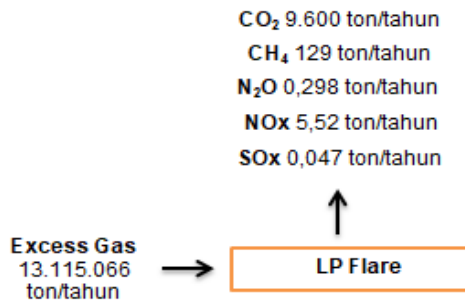


Gambar 4.11 Mass Balance Oil Gas Boot TK-900
Sumber: Data Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat diketahui, bahwa total nilai *input* untuk unit *oil gas boot* TK-900 adalah sebesar 465.711,91 ton/tahun, tidak terjadinya pengurangan nilai input akibat emisi yang dikeluarkan dari unit *oil gas boot* TK-900. Maka, nilai *output* unit *oil gas boot* TK-900 menjadi 403.366,91 ton/tahun untuk minyak dan 62.345 ton/tahun untuk gas.

- **Unit LP Flare**

Flare merupakan *off site facilities* yang berfungsi untuk membakar gas sisa dari proses pemisahan minyak dan gas bumi. Gas buangan ini mengandung bahan beracun seperti CO₂ dan SO_x yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan (Anonim, 2013). Berikut di tampilkan *mass balance* unit LP *Flare*, lihat Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Mass Balance LP Flare
Sumber: Data Produksi PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Berdasarkan Gambar 4.12 dapat diketahui, bahwa total nilai *input* untuk unit LP *Flare* adalah sebesar 13.115.066 ton/tahun. Input unit *flare* ini berasal dari gas sisa pengolahan gas bumi di unit *scrubber* dan *KO drum* serta unit *oil gas boot* dari proses produksi minyak bumi. Emisi yang dikeluarkan dari proses pembakaran di unit LP *Flare*, yaitu CO₂ senilai 9.600 ton/tahun, CH₄ senilai 129 ton/tahun, N₂O senilai 0,298 ton/tahun, NO_x senilai 5,52 ton/tahun dan SO_x senilai 0,047 ton/tahun. Sedangkan untuk sisa jumlah *input* sebesar 13.105.331,14 ton/tahun terhitung sebagai energi panas yang digunakan selama proses pembakaran berlangsung di unit LP *Flare*.

4.3.3 Life Cycle Impact Assessment

Setelah dilakukan tahap *inventory data*, maka diketahui hasil unit yang memiliki kontribusi paling besar terhadap penilaian dampak sebanyak empat tahap, yaitu karakterisasi, normalisasi, pembobotan, dan *single score*. Pada tahap penilaian dampak dalam penelitian ini, metode pada SimaPro 8.5.2 yang digunakan adalah metode *Eco Indicator 99*. Metode *Eco Indicator 99* (EI 99) adalah metode yang paling penting dan direkomendasikan berdasarkan ISO 14040-43 (Giandadewi, *et al.*, 2017). Metode ini berbasis pada pendekatan akhir yang menilai dampak secara keseluruhan hingga kerusakan yang mungkin ditimbulkan. Metode EI 99 ini memiliki 11 kategori dampak, yaitu *climate change*, *ozone layer depletion*, *acidification/eutrophication*, *carcinogenesis*, *respiratory organic effects*, *respiratory inorganic effects*, *ionizing radiation*, *ecotoxicity*, *land use*, *mineral resources* dan *fossil fuel resources* yang masuk dalam tiga kategori utama, yaitu *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*. Berikut merupakan penjelasan mengenai masing-masing kategori utama yang terdapat pada metode EI 99:

1. Dampak proses produksi terhadap kesehatan manusia (*human health*) dinyatakan dalam unit DALY (*Disability Adjusted Life Years*), yaitu merupakan jumlah tahun yang hilang akibat gangguan kesehatan cacat atau kematian dini. Satu DALY artinya sama dengan satu tahun dari hidup

sehat yang hilang (Kusumawardani, 2017). Berdasarkan Goedkoop dan Renilde (2000), kategori dampak lingkungan yang masuk kedalam kategori kesehatan manusia adalah *respiratory organic and inorganic effects, carcinogenesis, climate change, ozone layer depletion* dan *ionizing radiation*.

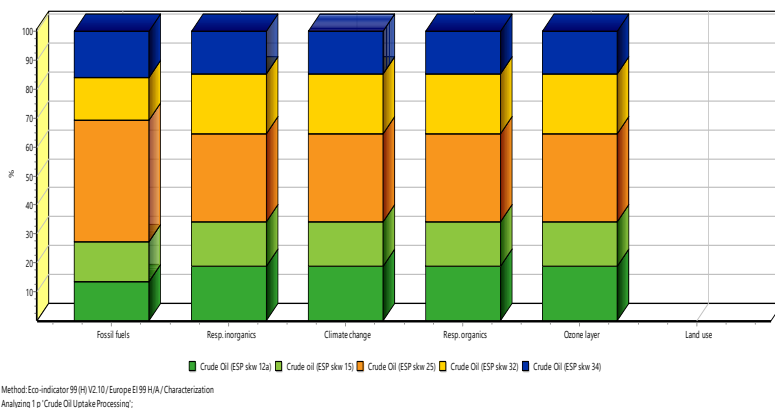
2. Dampak terhadap kualitas ekosistem (*ecosystem quality*) merupakan dampak yang dapat memengaruhi kehidupan kualitas ekosistem di sekitar lingkungan pada proses produksi. Akibat dari dampak ini adalah hilangnya spesies/ekosistem di daerah tersebut. Satuannya adalah $\text{PDF.m}^2.\text{year}$, satu $\text{PDF.m}^2.\text{year}$ sama dengan kerusakan spesies atau ekosistem seluas 1 m^2 di permukaan bumi dalam kurun waktu satu tahun (Kusumawardani, 2017). Kategori dampak lingkungan yang termasuk dalam kategori kerusakan kualitas ekosistem adalah *ecotoxicity, acidification* atau *eutrophication* dan *land use* (Goedkoop dan Renilde, 2000).
3. Dampak terhadap penurunan sumber daya alam (*resources*) merupakan dampak yang berpengaruh terhadap kerusakan sumber daya yang tidak dapat digantikan. *Resources* dinyatakan dalam unit MJ *surplus* digunakan untuk kategori dampak yang dikelompokkan dalam nilai kerusakan *resources*. Satu MJ *surplus* sama dengan satu kerusakan sumber daya alam yang dieksploitasi dan energi yang dikeluarkan dalam satu tahun di bumi (Kusumawardani, 2017). Menurut Goedkoop dan Renilde (2000), kategori dampak lingkungan yang masuk ke dalam kategori dampak terhadap penurunan sumber daya alam adalah mineral dan *fossil fuel*.

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 4.5.1, dalam penelitian ini kategori dampak lingkungan yang akan dianalisis adalah *climate change, ozone layer depletion, land use, respiratory organic effects, respiratory inorganic effects* dan *fossil fuels*. Kategori dampak lingkungan yang dipilih tersebut selain berdampak terhadap kualitas udara serta dapat terlihat

keterkaitannya dengan kategori kerusakan yang dapat ditimbulkan dari metode penilaian dampak yang digunakan, dalam hal ini ialah metode EI 99. Sesuai dengan pendekatan metode EI 99 yang termasuk ke dalam metode *endpoint* (Menoufi et al., 2011), maka dilakukan analisis terhadap kategori kerusakan yang dapat ditimbulkan, yang terbagi dalam tiga kategori utama, yaitu *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*. Berikut merupakan hasil analisis dampak dari proses pengambilan dan produksi minyak bumi di PEP Asset 4 *Field* Sukowati, dengan menggunakan *software* SimaPro 8.5.2 dengan metode EI 99.

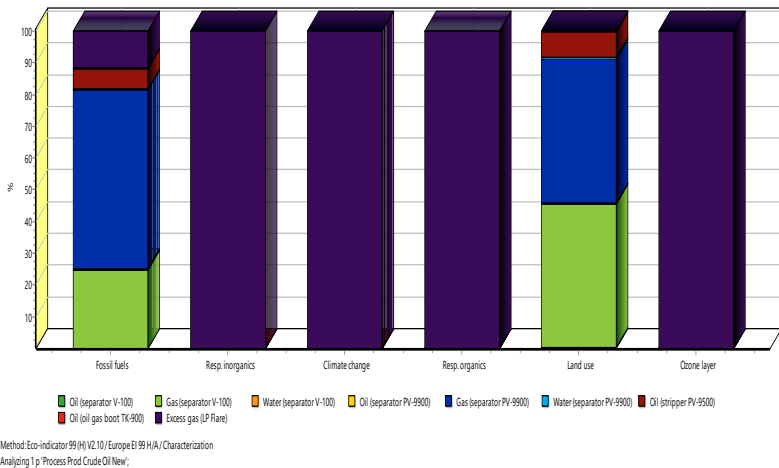
4.3.3.1 Tahap Karakterisasi

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 8.5.2 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PEP Asset 4 *Field* Sukowati, yaitu proses pengambilan minyak bumi dan proses produksi minyak bumi. Lihat Gambar 4.13-4.14.



Gambar 4.13 Diagram Karakterisasi Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)

Sumber: SimaPro 8.5.2



Gambar 4.14 Diagram Tahapan Karakterisasi pada Proses Produksi Minyak Bumi
Sumber: SimaPro 8.5.2

Tahap karakterisasi pada metode penilaian dampak EI 99 yang digunakan didalam *software* SimaPro menjelaskan bahwa, nilai karakterisasi dan normalisasi dilakukan dengan menggunakan data ekstraksi sumber daya alam dan emisi. Nilai-nilai tersebut didasarkan pada lingkungan intervensi yang dihasilkan dari produksi Eropa pada tahun 1990-1994 (Menoufi, 2011). Setelah kategori dampak telah ditentukan berdasarkan akan kontribusi relatif masing-masing *input* dan *output* dari suatu sistem produk terhadap beban lingkungan, kategori dampak tersebut dikonversi menjadi indikator yang mewakili dampak potensial terhadap lingkungan. Tahap karakterisasi dilakukan dengan mengalikan hasil *inventory* dalam fase klasifikasi dengan faktor karakterisasi masing-masing substansi dalam setiap kategori dampak. Berikut perhitungan tahap karakterisasi dapat dilihat pada Persamaan 4.10.

Category Indicator

$$= \sum_s \text{Characterisation Factor}^* \times \text{Emission Inventory} \quad (4.10)$$

*dapat dilihat pada Sub-bab 2.6.1, Tabel 2.3.

Berdasarkan Gambar 4.13, diketahui bahwa pada proses pengambilan minyak bumi yang memiliki dampak terbesar adalah *fossil fuels*, dibandingkan dengan kategori dampak lainnya, dikarenakan pengambilan minyak bumi termasuk sebagai bahan bakar fosil, yang pada proses utamanya menggunakan minyak bumi sebagai bahan baku. Oleh karena itu, pengambilan minyak bumi tersebut mengakibatkan berkurangnya ketersediaan minyak bumi yang mengakibatkan dampak terhadap penurunan sumber daya alam. Kemudian untuk dampak *respiratory organic* dan *inorganic effects*, serta dampak *climate change* dan *ozone layer depletion* diakibatkan oleh emisi yang dikeluarkan oleh unit *genset* sebagai suplai energi utama dalam menjalankan ESP. Unit *genset* tersebut menggunakan bahan bakar solar dan pada prosesnya terjadi pembakaran dalam, sehingga mengeluarkan emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x. Emisi gas buang tersebut mengakibatkan terganggunya kesehatan manusia, serta mengakibatkan pemanasan global. Sedangkan dampak *land use* pada tahap ini tidak menghasilkan dampak, dikarenakan jumlah sumur produksi yang dianalisis hanya sebagian kecil dari jumlah sumur yang terdapat di PEP Asset 4 *Field* Sukowati, yaitu 5 sumur produksi yang menggunakan ESP dari total sumur sebanyak 113 sumur.

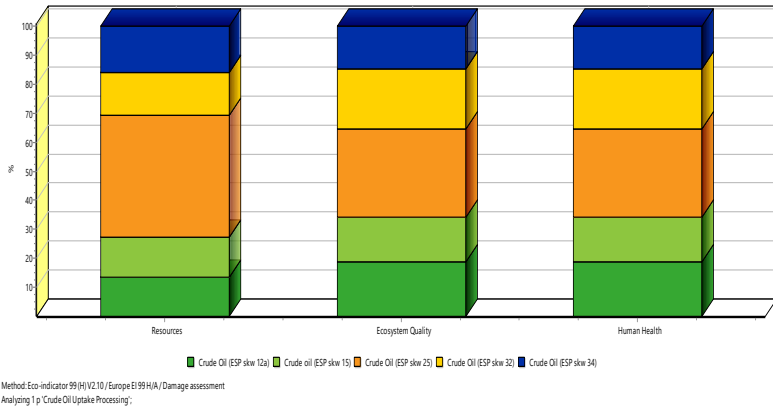
Berdasarkan Gambar 4.14, diketahui bahwa dampak *fossil fuels* dan *land use* disebabkan oleh *output* gas pada unit separator V-100 dan PV-9900, *excess gas* pada unit *LP Flare* dan minyak pada unit *stripper* PV-9500. Akan tetapi dampak *fossil fuels* lebih besar nilainya dari dampak *land use*, selain karena minyak bumi digunakan sebagai bahan baku utama dan dapat menyebabkan berkurangnya persediaan minyak bumi di alam, juga diakibatkan besarnya penggunaan energi dalam proses produksi minyak bumi. Sedangkan dampak *land use*, *output* dari unit-unit tersebut mempengaruhi kualitas ekosistem di sekitar area proses produksi, yang mana dapat mengakibatkan hilangnya spesies/ekosistem di area tersebut. Dibandingkan dengan hilangnya spesies/

ekosistem penggunaan energi dalam memproduksi minyak bumi lebih besar nilainya terhadap beban lingkungan. Oleh sebab itu, dampak *fossil fuels* lebih besar dari dampak *land use* walaupun disebabkan oleh output dari unit-unit yang sama.

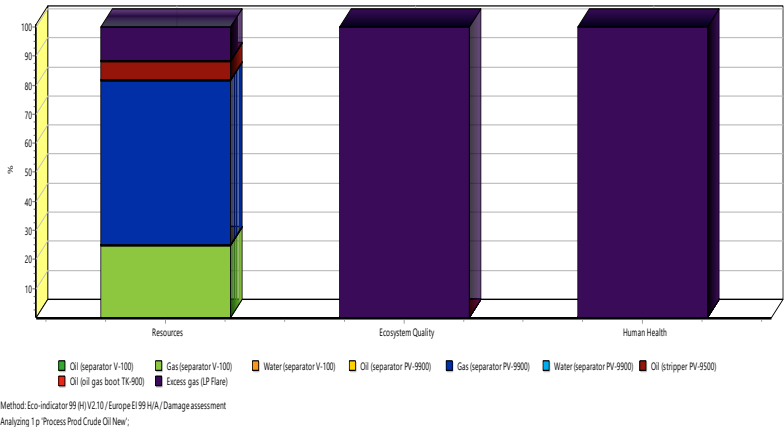
Dampak *respiratory organic* dan *inorganic effects*, serta dampak *climate change* dan *ozone layer depletion* diakibatkan oleh emisi yang dikeluarkan oleh unit *LP Flare*. Yang mana dapat mengganggu kesehatan manusia dan pemanasan global, yang disebabkan karena emisi gas buang dari unit *LP Flare* berupa emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x akibat dari pembakaran gas sisa pada proses produksi minyak bumi.

4.3.3.2 Tahap *Damage Assessment*

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 8.5.2 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PEP Asset 4 *Field* Sukowati, yaitu proses pengambilan minyak bumi dan proses produksi minyak bumi. Lihat Gambar 4.15-4.16.



Gambar 4.15 Diagram *Damage Assessment* Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)
Sumber: SimaPro 8.5.2



Gambar 4.16 Diagram *Damage Assessment* Proses Produksi Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2

Diagram *damage assessment* dalam metode EI 99, menyatakan bahwa pada tahap ini dampak-dampak yang terdapat pada tahap karakterisasi di golongan ke dalam tiga karegori kerusakan, yaitu *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*. Menurut Pre Consultant (2000), tahap *damage assessment* menggambarkan penyakit yang diprediksi sekarang dapat diekspresikan ke dalam unit kerusakan. Misalnya, jika diketahui tingkat paparan tertentu menyebabkan kanker tertentu, maka dapat diketahui usia rata-rata yang menderita kanker dan rata-rata kemungkinan orang yang akan mati. Berdasarkan hal tersebut, dijelaskan bahwa kita dapat menghitung berapa tahun hidup seseorang yang hilang dan berapa tahun hidup cacat seseorang. Selain itu, pada tahap ini dapat diketahui presentasi tanaman dan spesies yang lebih rendah yang terpapar zat beracun. Kerusakan pada spesies yang lebih tinggi seperti burung dan mamalia tidak dihitung, dapat diasumsikan bahwa kerusakan pada tanaman dan organisme tingkat rendah juga mewakili kerusakan populasi hewan yang lebih tinggi. Sebagian besar zat kerusakan dihitung dalam skala Eropa. Sedangkan untuk beberapa zat seperti gas rumah kaca, gas perusak ozon dan zat radioaktif,

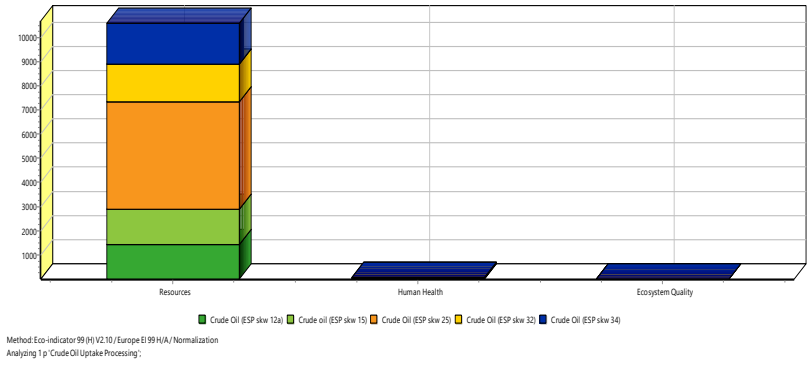
kerusakannya dihitung pada tingkat dunia, dikarenakan zat-zat tersebut tersebar di seluruh dunia.

Berdasarkan Gambar 4.16, pada proses pengambilan minyak bumi yang memiliki nilai kerusakan terbesar dari tiga golongan kerusakan adalah kategori kerusakan sumber daya alam (*resources*) dibandingkan dengan kerusakannya lainnya. Dikarenakan pada tahap karakterisasi sebelumnya dampak *fossil fuels* lebih besar nilainya dari dampak lainnya. Hal ini berhubungan dengan metode penilaian dampak yang digunakan dalam analisis LCA, yakni dampak *fossil fuels* digolongkan ke dalam kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*), dampak *climate change*, *ozone layer depletion*, *respiratory organic* dan *inorganic effects* digolongkan dalam kategori penurunan kesehatan manusia (*human health*) dan dampak *land use* digolongkan kedalam kategori kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*). Adanya kategori kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*) pada tahap ini, dikarenakan penggunaan *genset* sebagai suplai utama dalam menjalankan ESP, menghasilkan emisi gas buang berupa CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x yang mengakibatkan ekosistem di area tersebut terpapar oleh zat-zat beracun, sehingga menghilangnya tanaman dan organisme tingkat rendah. Emisi gas buang dari unit *genset* tersebut pun mengakibatkan terganggunya kesehatan manusia dikarenakan terpapar oleh zat-zat beracun yang lepas ke udara.

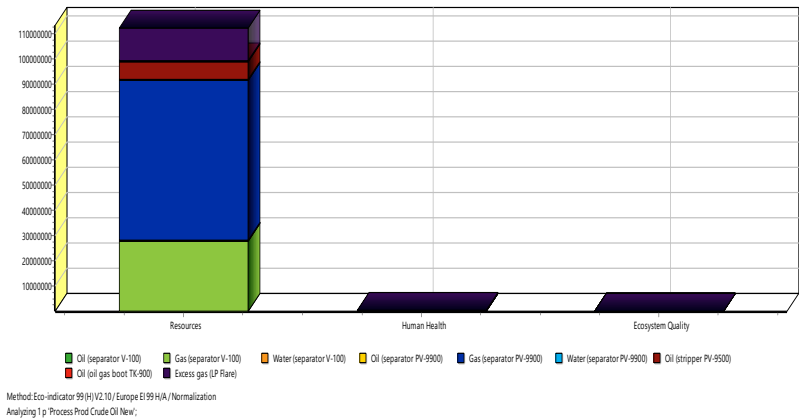
Berdasarkan Gambar 4.16, pada proses produksi minyak bumi, kategori penurunan sumber daya alam (*resources*) lebih besar nilainya dari kategori kerusakan lainnya, dikarenakan dampak *fossil fuels* pada tahap karakterisasi lebih besar dari dampak lainnya, yang disebabkan oleh pengambilan minyak bumi sebagai bahan fosil dapat mengakibatkan berkurangnya ketersediaan minyak bumi di alam. Sedangkan kategori kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*) dan penurunan kesehatan manusia (*human health*) disebabkan oleh emisi berupa CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x yang berasal dari hasil pembakaran gas sisa proses produksi minyak bumi, yaitu unit *LP Flare*.

4.3.3.3 Tahap Normalisasi

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 8.5.2 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PEP Asset 4 *Field* Sukowati, yaitu proses pengambilan minyak bumi dan proses produksi minyak bumi. Lihat Gambar 4.17-4.18.



Gambar 4.17 Diagram Normalisasi Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)
Sumber: SimaPro 8.5.2



Gambar 4.18 Diagram Normalisasi Proses Produksi Minyak Bumi
Sumber: SimaPro 8.5.2

Normalisasi adalah langkah opsional sesuai dengan standar ISO 14040. Namun, normalisasi menambah manfaat menempatkan hasil indikator dampak yang ditandai dalam konteks yang lebih luas. Ini dijelaskan dengan cara yang memungkinkan indikator dampak terjadi dibandingkan satu sama lainnya, sehingga jumlah setiap indikator dibagi dengan faktor normalisasi (Menoufi, 2011). Berikut perhitungan normalisasi, dapat dilihat pada Persamaan 4.11.

$$N_k = S_k / R_k^* \quad (4.11)$$

Dimana:

- k : Kategori dampak
- N : Indikator normalisasi
- S : Indikator dari tahap karakterisasi
- R : Faktor normalisasi

*dapat dilihat pada Sub-bab 2.6.1, Tabel 2.3.

Faktor normalisasi dipilih untuk mewakili besarnya nyata atau potensial dari kategori dampak yang sesuai untuk area geografis dan dalam rentang waktu tertentu.

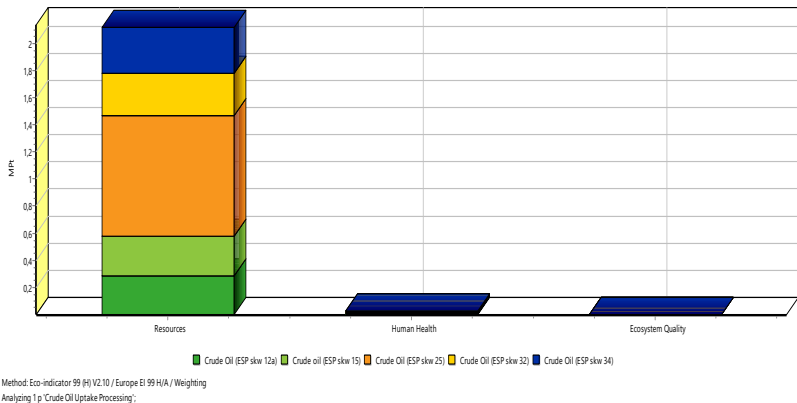
Berdasarkan Gambar 4.17 dan 4.18, diketahui bahwa pada proses pengambilan minyak bumi dengan menggunakan ESP dan proses produksi minyak bumi, tahap normalisasi menunjukkan bahwa kategori kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*) lebih besar dari kategori lainnya. Mengacu pada penjelasan normalisasi diatas, bahwa besarnya nilai kategori *resources* pada tahap ini dikarenakan pada perhitungan tahap normalisasi menggunakan nilai indikator dari tahap karakterisasi, yang mana pada tahap karakterisasi nilai dampak *fossil fuels* lebih besar dari dampak lainnya, oleh karena itu kategori *resources* lebih besar dari kategori lainnya.

Kecilnya nilai kategori *human health* dan *ecosystem quality* dari tahap *damage assessment* sebelumnya, dikarenakan nilai indikator pada tahap karakterisasi dari masing-masing dampak selain kecil, juga sebabkan oleh besarnya potensial dari dampak tersebut yang disesuaikan dengan area geografis dalam kurun waktu tertentu. Sehingga, kategori *human health* yang pada tahap *damage assessment*

berada pada posisi ketiga, pada tahap normalisasi berpindah pada posisi kedua, hal ini dikarenakan kategori *human health* lebih besar potensinya dari kategori *ecosystem quality* yang disebabkan oleh berbagai emisi gas buang ke udara, yang mengakibatkan gangguan kesehatan manusia hingga dapat menyebabkan kematian.

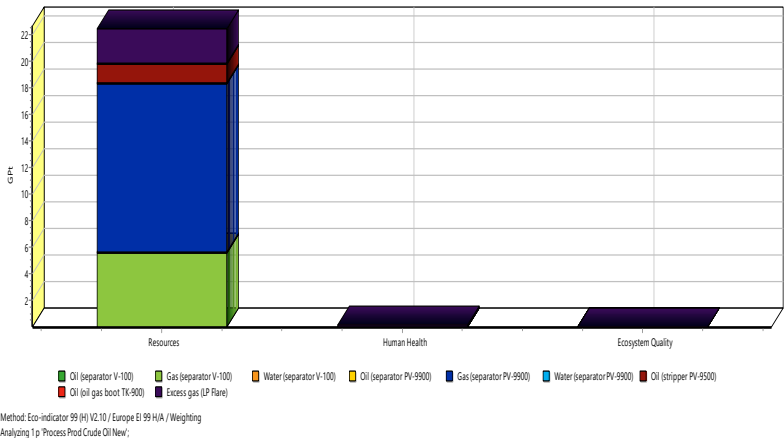
4.3.3.4 Tahap Pembobotan

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 8.5.2 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PEP Asset 4 *Field* Sukowati, yaitu proses pengambilan minyak bumi dan proses produksi minyak bumi. Lihat Gambar 4.19-4.20.



Gambar 4.19 Diagram Pembobotan Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)

Sumber: SimaPro 8.5.2



Gambar 4.20 Diagram Pembobotan Proses Produksi Minyak Bumi
Sumber: SimaPro 8.5.2

Tahap pembobotan pada dasarnya sama seperti tahap normalisasi, yaitu berdasarkan ISO 14040 termasuk sebagai tahapan opsional. Normalisasi dan pembobotan merupakan tahapan penting ketika beberapa solusi perlu dibandingkan secara jelas. Menurut Menoufi (2011), pembobotan adalah proses pengubahan hasil dari indikator yang dinormalisasi dari kategori dampak yang berbeda menjadi nilai-nilai lain menggunakan faktor numerik (faktor bobot) berdasarkan penilaian subjektif. Tahap pembobotan terdiri dari mengalikan faktor pembobotan oleh hasil normalisasi untuk setiap kategori dampak. Perhitungan tahap pembobotan dapat dilihat pada Persamaan 4.12.

$$EI = \sum V_k^* \times N_k \quad (4.12)$$

Dimana:

El : Indikator dampak lingkungan secara keseluruhan

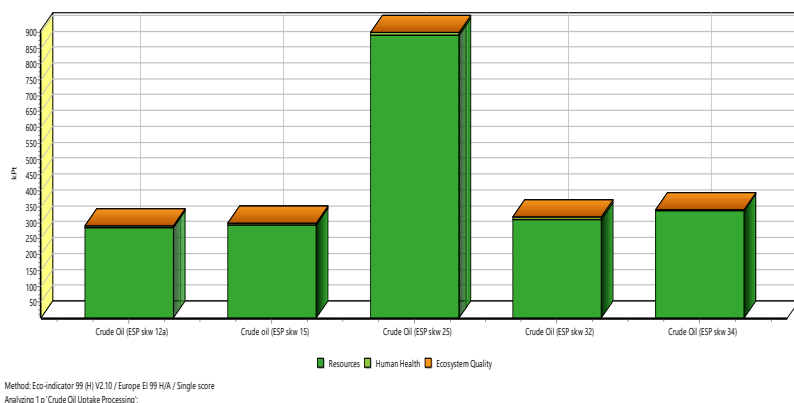
V : Faktor bobot untuk kategori dampak k

N : Indikator dinormalisasi

*dapat dilihat pada Sub-bab 2.6.1, Tabel 2.3.

Faktor bobot masing-masing kategori dampak mewakili kepentingan relatif masing-masing kategori dampak terhadap lingkungan. Faktor-faktor ini bersifat subjektif dan dapat bervariasi sesuai dengan wilayah geografis berdasarkan kriteria sosial ekonomi. Perbedaan antara langkah normalisasi dan pembobotan dapat diperhatikan, yaitu normalisasi memberikan dasar untuk membandingkan berbagai jenis kategori kerusakan (semua kategori kerusakan dengan satuan yang sama), sementara pembobotan memberikan bobot atau nilai relatif pada dampak yang berbeda kategorinya berdasarkan akan kepentingan atau relevansi yang ditimbulkan.

Berdasarkan Gambar 4.19 dan 4.20 diketahui bahwa, pada proses pengambilan dan proses produksi minyak bumi yang menghasilkan dampak terbesar adalah kategori resources. Yang berarti bahwa kategori penurunan sumber daya alam (resources) memiliki kepentingan yang cukup besar terhadap beban lingkungan yang ditimbulkan dibandingkan kategori kerusakan lainnya.

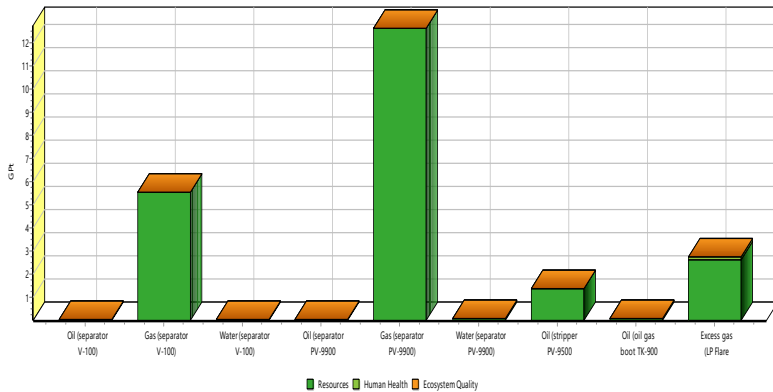


Gambar 4.21 Diagram Tahapan *Single Score* pada Proses Pengambilan Minyak Bumi (ESP)
Sumber: SimaPro 8.5.2

Pada dasarnya tahapan *single score* sama dengan tahapan pembobotan, tidak terjadi perubahan perhitungan maupun nilai. Tetapi, pada tahap *single score* ini lebih diperjelas lagi dampak yang ditimbulkan dari masing-masing unit proses dalam satu sistem yang dianalisis serta untuk diketahuinya hotspot atau unit yang memiliki nilai dampak terbesar terhadap lingkungan.

Sesuai dengan Gambar 4.21, proses pengambilan minyak bumi menggunakan ESP pada lima sumur produksi. ESP skw 25 menghasilkan dampak terbesar dibandingkan dengan unit lainnya yaitu sebesar 0,899 MPt. Kategori dampak yang dapat ditimbulkan dari kegiatan pengambilan minyak bumi ialah kategori dampak *fossil fuels* dibandingkan dengan kategori dampak lainnya. Kategori kerusakan yang dapat ditimbulkan dari kegiatan pengambilan minyak bumi ialah kategori penurunan sumber daya alam (*resources*) dibandingkan dengan kategori kerusakan lainnya. Untuk nilai rincian terlampir pada Tabel 1-5 lampiran II.

Besarnya nilai kategori dampak dalam hal ini ialah *fossil fuels* dan besarnya kategori kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*) memiliki keterkaitan satu sama lain, berdasarkan atas metode penilaian dampak yang digunakan dalam *software* SimaPro 8.5.2 yaitu EI 99. Metode EI 99 merupakan metode *endpoint*, yang pada tahap *damage assessment* digabungkan menjadi tiga kategori kerusakan dari enam kategori dampak yang dipilih, yaitu *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*. Maka, kategori kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*) pada proses pengambilan minyak bumi dibandingkan dengan kategori penurunan kesehatan manusia (*human health*) dan kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*), disebabkan karena pengambilan minyak bumi termasuk sebagai bahan bakar fosil, yang pada proses utamanya menggunakan minyak bumi sebagai bahan baku. Oleh karena itu, pengambilan minyak bumi tersebut mengakibatkan berkurangnya ketersediaan minyak bumi yang mengakibatkan dampak terhadap penurunan sumber daya alam.



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe E1 99 H1A / Single score
Analyzing 1 p / Process Prod/Crude Oil New

Gambar 4.22 Diagram Tahap *Single Score* pada Proses Produksi Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2

Berdasarkan Gambar 4.22 proses produksi minyak bumi terdiri atas unit separator, *stripper*, *oil gas boot* dan *LP Flare*. Diketahui bahwa, unit separator PV-9900 (gas) menghasilkan dampak terbesar dibandingkan dengan unit lainnya yaitu sebesar 12,62 GPt atau sebesar 12620 MPt. Kategori dampak yang dapat ditimbulkan dari kegiatan proses produksi minyak bumi ialah kategori dampak *fossil fuels* dibandingkan dengan kategori dampak lainnya. Dan kategori kerusakan yang dapat ditimbulkan dari kegiatan proses produksi minyak bumi ialah kategori penurunan sumber daya alam (*resources*) dibandingkan dengan kategori kerusakan lainnya. Untuk nilai rincian terlampir pada Tabel 6-10 lampiran II.

Kategori kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*) pada proses produksi minyak bumi memiliki nilai yang besar dibandingkan dengan kategori penurunan kesehatan manusia (*human health*) dan kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*), dikarenakan alokasi jumlah gas pada *output* separator PV-9900 sebesar 98,86% yang selanjutnya diikuti oleh minyak sebesar 0,34% dan air sebesar

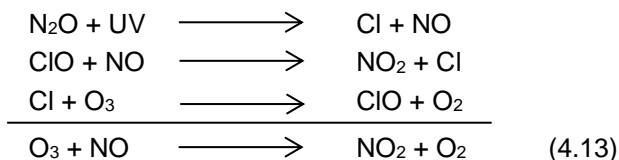
0,80% dari jumlah *input* sebesar 77.537.099 ton/tahun. Alokasi jumlah gas dan air yang lebih dominan pada LCI, menyebabkan kategori kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*) menjadi lebih besar dari kategori kerusakan lainnya. Dan juga dikarenakan pada proses produksi menggunakan minyak bumi sebagai bahan baku utama, yang didalamnya mengandung gas serta air mengakibatkan berkurangnya ketersediaan minyak bumi, gas dan air yang mengakibatkan dampak terhadap penurunan sumber daya alam (*resources*).

Selain kategori kerusakan sumber daya alam (*resources*), pada proses pengambilan minyak bumi dan proses produksi minyak bumi, menghasilkan kategori kerusakan penurunan kesehatan manusia (*human health*). Kategori kerusakan terhadap penurunan kesehatan manusia (*human health*), pada proses pengambilan minyak bumi disebabkan oleh emisi yang dihasilkan dari unit *genset* untuk menghasilkan listrik sebagai suplai utama penggunaan ESP, yang pada kegiatan *genset* tersebut menghasilkan emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x. Sedangkan, pada proses produksi disebabkan oleh emisi yang dihasilkan dari unit separator PV-9900 dan V-100 serta unit *LP flare*, yang mana pada unit separator dikarenakan emisi *fugitive* dan unit *LP flare* tersebut terjadinya proses pembakaran. Sumber emisi *fugitive* tersebut menghasilkan emisi CH₄ dan nmHC (*non methane Volatile Organic Compound*), sedangkan pada proses pembakaran menghasilkan emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x. Kategori kerusakan pada manusia (*human health*) akibat dari emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x dan SO_x dipengaruhi oleh kategori dampak lingkungan yang ditimbulkan, yaitu dampak *ozone layer depletion*, *climate change*, *respiratory organic effects* dan *respiratory inorganic effects*.

Emisi CO₂, CH₄ dan N₂O merupakan emisi gas rumah kaca yang berfungsi menyerap radiasi inframerah dan ikut menentukan suhu atmosfer (Martono, 2015). Sinar matahari masuk ke lapisan atmosfer dan memancarkan panas. Sebagian radiasi matahari dalam bentuk gelombang pendek yang diterima permukaan bumi dipancarkan kembali ke atmosfer dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Energi yang masuk ke bumi mengalami pemantulan oleh awan atau

partikel sebesar 25% dan diserap awan sebesar 25%. 45% energi diadsorpsi permukaan bumi. Tetapi sebagian radiasi yang dipantulkan kembali tetap terperangkap di atmosfer bumi, akibat menumpuknya jumlah gas rumah kaca. Radiasi gelombang yang tertahan akibat adanya gas rumah kaca menimbulkan efek panas yang disebut dengan efek rumah kaca (Sulistyono, 2012). Dengan kondisi gas rumah kaca yang berlebihan di atmosfer, maka akan mengakibatkan pemanasan global. Penyebab utama pemanasan ini ialah adanya pembakaran bahan bakar fosil yang melepaskan CO₂ dan gas rumah kaca lainnya ke atmosfer. Semakin meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, maka semakin panas yang terperangkap di bawahnya (Sulistyono, 2012).

Berdasarkan IPCC tahun 2006, gas CO₂ dan CH₄ merupakan emisi GRK yang paling potensial sebagai penyebab pemanasan global. Pemanasan global merupakan indikasi dari perubahan iklim. Penelitian yang dilakukan oleh You *et al.* (2011), menunjukkan bahwa gas CO₂ sangat berpengaruh terhadap perubahan iklim. Sedangkan, gas N₂O tidak hanya merupakan gas rumah kaca, namun juga berpotensi sebagai penyebab terjadinya penipisan lapisan ozon. Lihat Persamaan 4.13.



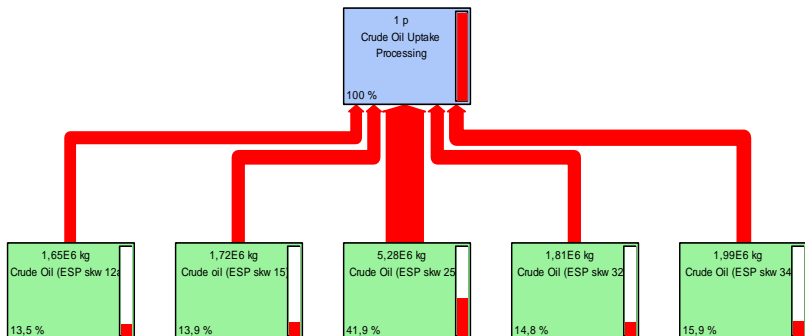
Secara tidak langsung, dampak *ozone layer depletion* akan mempengaruhi terjadinya perubahan iklim. Hal tersebut dikarenakan menipisnya lapisan ozon menyebabkan semakin banyak sinar matahari yang masuk ke bumi. Sedangkan, gas rumah kaca yang semakin meningkat akan mengakibatkan sinar matahari yang dipancarkan kembali oleh bumi akan tertahan dibawah lapisan GRK. Kondisi tersebut berpengaruh pada peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi atau yang disebut dengan pemanasan global yang berdampak pada perubahan iklim yang terjadi. Selain itu, untuk gas NO_x dan

SOx memiliki pengaruh terhadap kategori dampak *respiratory organic effects* dan *respiratory inorganic effects*. Gas SOx yang mudah menjadi asam akan menyerang selaput lendir pada tenggorokan, hidung dan saluran pernapasan lainnya sampai ke paru-paru pada konsentrasi >0,4 ppm. Apabila terpapar SOx dalam waktu yang lama akan menyebabkan peradangan selaput lendir yang dapat menimbulkan kelumpuhan pada sistem pernapasan, kerusakan pada dinding paru-paru hingga kematian.

Untuk kategori kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*) dari proses pengambilan dan proses produksi minyak bumi, disebabkan oleh adanya penggunaan lahan untuk sumur-sumur produksi minyak bumi dan penggunaan lahan dibangunnya perusahaan dalam memproduksi minyak dan gas bumi. Penggunaan lahan tersebut mengakibatkan berubahnya kualitas ekosistem, dalam hal ini adalah hilangnya spesies/ekosistem di area sumur produksi dan area proses produksi minyak bumi tersebut.

4.3.3.5 Network Proses Pengambilan Minyak Bumi

Berikut ditampilkan diagram *network* atau diagram pohon tahap *single score* dari proses pengambilan minyak bumi. Lihat Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Diagram *Network* pada Proses Pengambilan Minyak Bumi

Sumber: *SimaPro 8.5.2*

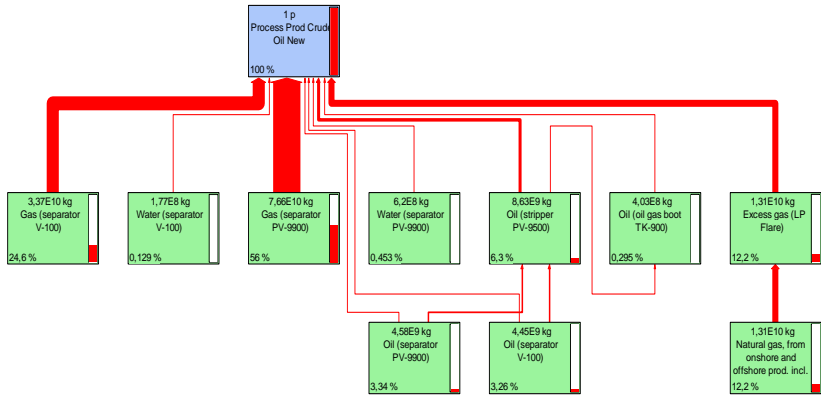
Berdasarkan penjelasan pada Sub-bab 4.5.2 mengenai *network* dalam kajian LCA dengan *software* SimaPro 8.5.2, bahwa tujuan dari diagram *network* ini adalah untuk memberikan informasi mengenai hubungan dari setiap proses yang memiliki pengaruh dalam menghasilkan dampak.

Garis merah yang menghubungkan antar gambar menunjukkan hubungan antar kegiatan. Semakin tebal garis merah tersebut, maka mengartikan semakin besar pula kontribusinya yang dikeluarkan terhadap lingkungan, dalam hal ini adalah dampak.

Pada Gambar 4.23 diatas, diketahui bahwa proses pengambilan minyak bumi dengan menggunakan ESP, unit ESP skw 25 memberikan dampak terhadap lingkungan sebesar 41,9%, ESP skw 34 sebesar 15,9%, ESP skw 32 sebesar 14,8%, ESP skw 15 sebesar 13,9% dan ESP skw 12a sebesar 13,5%. Besarnya kontribusi unit ESP skw 25 dari unit lainnya dikarenakan dalam satu tahun sumur yang menggunakan ESP skw 25 terus memproduksi minyak bumi, oleh karena itu pengambilan minyak bumi secara terus menerus mengakibatkan berkurangnya ketersediaan minyak bumi di alam, serta emisi yang dikeluarkan oleh unit genset sebagai suplai energi utama dalam menjalankan ESP dapat membahayakan kesehatan manusia dan kualitas ekosistem di area tersebut.

4.3.3.6 Network Proses Produksi Minyak Bumi

Berikut ditampilkan diagram *network* atau diagram pohon tahap *single score* dari proses produksi minyak bumi. Lihat Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Diagram Network pada Proses Produksi Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2

Berdasarkan Gambar 4.24, diketahui bahwa yang memiliki kontribusi paling besar terhadap lingkungan adalah unit separator PV-9900 *output* gas sebesar 56% dan unit separator V-100 *output* gas sebesar 24,6%. Hal ini dikarenakan alokasi jumlah gas pada masing-masing unit separator sangat besar, yaitu 98,86% alokasi gas pada unit separator PV-9900 dan 99,07%. Alokasi jumlah gas yang lebih dominan pada LCI, mengakibatkan besar nilai kontribusinya terhadap lingkungan yang menyebabkan kategori kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*) menjadi lebih besar dari kategori kerusakan lainnya.

4.3.4 Interpertasi Analisis *Life Cycle Impact Assessment*

Hasil analisis tahapan *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) pada proses pengambilan minyak bumi dan proses produksi minyak bumi yang dianalisis, dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Hasil Analisis LCIA

Proses	Unit dengan Nilai Dampak Terbesar	Total Nilai Dampak (MPt)
Proses Pengambilan Minyak Bumi	ESP skw 25	0,899
Proses Produksi Minyak Bumi	Separator PV-9900 (gas)	12.620

Berdasarkan Tabel 4.7, diketahui bahwa proses yang memiliki dampak sangat besar terhadap lingkungan adalah proses pada unit separator PV-9900 (gas) dengan nilai dampak sebesar 12.620 MPt atau 12,62 GPt. Hasil analisis dengan menggunakan *software* SimaPro 8.5.2 untuk nilai kategori kerusakan penurunan kesehatan manusia (*human health*) pada unit separator PV-9900 (gas) adalah sebesar 0,00118 DALY. Hal ini berarti apabila kehidupan seseorang yang seharusnya bisa mencapai usia 80 tahun, dapat berkurang usianya sebanyak 0,00118 tahun atau mengalami cacat dalam usia 0,00118 tahun hidupnya. Untuk kategori kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*) adalah sebesar 0,0847 PDF.m².year, yang berarti pada area per meter persegi dalam satu tahun terjadi kepunahan terhadap 0,0847 spesies tumbuhan atau hewan. Sedangkan untuk kategori penurunan sumber daya alam (*resources*) adalah sebesar $4,76 \times 10^{11}$ MJ *surplus* dalam kurun waktu satu tahun, yaitu merupakan kelebihan energi yang harus digunakan pada saat ini yang seharusnya dapat digunakan untuk kepentingan di masa depan.

4.3.5 Evaluasi *Life Cycle Assessment*

Berdasarkan ISO 14040 (2006), tujuan dari dilakukannya evaluasi LCA adalah untuk membangun dan meningkatkan

kepercayaan dan keandalan dari hasil analisis LCA. Evaluasi ini dilakukan sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Terdapat tiga teknik evaluasi yang harus dipertimbangkan, yaitu pemeriksaan kelengkapan (*completeness check*), pemeriksaan sensitivitas (*sensitivity check*) dan pemeriksaan konsistensi (*consistency check*). Hasil analisis ketidakpastian dan analisis kualitas data harus melengkapi pemeriksaan ini. Evaluasi harus mempertimbangkan tujuan akhir dari penelitian.

4.3.5.1 Completeness Check

Completeness check bertujuan untuk memastikan semua informasi dan data yang relevan diperlukan untuk interpretasi tersedia dan lengkap. Jika informasi maupun data yang relevan hilang atau tidak lengkap, dan informasi atau data tersebut diperlukan, maka untuk memenuhi tujuan dan ruang lingkup LCA harus dipertimbangkan kembali. Jika terdapat informasi atau data yang relevan dianggap penting dalam menentukan masalah yang signifikan, hilang atau tidak lengkap, maka tahap LCI dan LCIA harus ditinjau kembali, atau dapat dilakukan dengan menyesuaikan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Dan jika informasi atau data yang relevan tersebut hilang serta dianggap tidak perlu, maka alasan yang diberikan untuk tidak menggunakan data tersebut harus jelas. Tahap ini akan dilakukan dengan peninjauan terkait *inventory* yang sudah diinputkan. Lihat Tabel 4.8-4.9.

Tabel 4.8 *Completeness Check* Proses Pengambilan Minyak Bumi

Keterangan	Unit Kegiatan				
	ESP skw 15	ESP skw 12a	ESP skw 25	ESP skw 32	ESP skw 34
Input					
Produk					
Bahan Bakar					
Bahan Kimia	-	-	-	-	-
Konsumsi Air	-	-	-	-	-
Emisi Udara					
Air Limbah	-	-	-	-	-
Kuantitas Air Limbah	-	-	-	-	-
Limbah B3 (*)	-	-	-	-	-

(*) Perusahaan tidak memiliki data detail perunit

Tabel 4.9 *Completeness Check* Proses Produksi Minyak Bumi

Keterangan	Unit Kegiatan				
	Separator V-100	Separator PV-9900	Stripper PV-9500	Oil Gas Boot TK-900	LP Flare
Input					
Produk					
Bahan Bakar					
Bahan Kimia	-	-	-	-	-
Konsumsi Air	-	-	-	-	-
Emisi Udara					
Air Limbah	-	-	-	-	-
Kuantitas Air Limbah	-	-	-	-	-
Limbah B3 (*)	-	-	-	-	-

(*) Perusahaan tidak memiliki data detail perunit

4.3.5.2 Sensitivity Check

Sensitivity check bertujuan untuk menilai keandalan hasil akhir dan kesimpulan dengan menentukan apakah dampak terhadap lingkungan dipengaruhi oleh ketidakpastian dalam data, metode alokasi atau asumsi yang dibuat dalam analisis LCA. *Sensitivity check* ini merupakan prakiraan efek dari inputan data dan metode penilaian dampak yang dipilih dalam analisis LCA.

Pada penelitian ini, dilakukan *sensitivity check* dari hasil analisis LCIA proses pengambilan minyak bumi dan proses produksi minyak bumi menunjukkan bahwa, kategori dampak yang paling besar nilainya adalah *fossil fuel* dan kategori kerusakan yang dapat ditimbulkan adalah kategori *resources* yang paling besar nilai dampaknya terhadap lingkungan. *Sensitivity check* dilakukan dengan dua skenario, yaitu perubahan jumlah bahan baku atau *input* dan perubahan jenis bahan bakar. Skenario pertama, yaitu perubahan jumlah bahan baku atau input dilakukan pada proses produksi minyak bumi, sedangkan skenario kedua, yaitu perubahan jumlah bahan bakar dilakukan pada proses pengambilan minyak bumi dengan menggunakan ESP.

- Perubahan Jumlah Bahan Baku

Skenario satu merupakan perubahan jumlah bahan baku dilakukan pada proses produksi minyak bumi berupa *crude oil*. Yaitu dilakukan dengan cara menambah kapasitas produksi sebesar 10%. Jumlah *crude oil* pada proses produksi saat ini adalah sebesar 111.432.586 ton/tahun, dan setelah penambahan kapasitas menjadi 122.575.845 ton/tahun. Penambahan bahan baku ini akan mempengaruhi penmabahan produk dari masing-masing unit produksi.

- Perubahan Jumlah Bahan Bakar

Skenario dua yaitu melakukan perubahan pada bahan bakar di unit *genset* sebagai suplai energi listrik dalam menjalankan ESP, pada proses pengambilan minyak bumi. Diasumsikan dengan mengurangi bahan bakar pada unit *genset* sebanyak 10%, maka akan mempengaruhi jumlah listrik (kWh) yang tergunakan untuk ESP. Pengurangan 10% merupakan bentuk

variasi data untuk mengetahui tingkat sensitif dari data yang dimiliki. Perubahan data bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 4.10-4.11.

Tabel 4.10 Data Normal Bahan Bakar Unit Genset

Bulan	Skw 15	Skw 12a	Skw 25	Skw 32	Skw 34
Januari	6916,04	7354,75	10377,22	7196,35	4369,02
Februari	5287,56	3625,98	8183,60	0,00	3932,14
Maret	6130,89	0,00	9965,03	1101,77	4247,49
April	5600,67	4636,84	8071,45	7336,96	490,15
Mei	5236,01	5429,30	3331,89	7195,14	5452,90
Juni	5322,94	5258,41	9921,23	7398,76	5469,35
Juli	5595,92	5502,19	9799,54	7971,07	5153,60
Agustus	5139,06	1742,17	8950,27	2714,10	4371,18
September	5725,91	7803,89	10142,86	7463,52	3711,30
Oktober	2686,19	7443,17	9529,01	8988,68	4681,60
November	0	7911,92	10385,19	4000,68	4413,09
Desember	0	8155,56	5389,67	10766,98	4349,18
Total (L)	53641,19	64864,18	104046,95	72134	50641

Sumber: PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Tabel 4.11 Data Penambahan Bahan Bakar Unit Genset

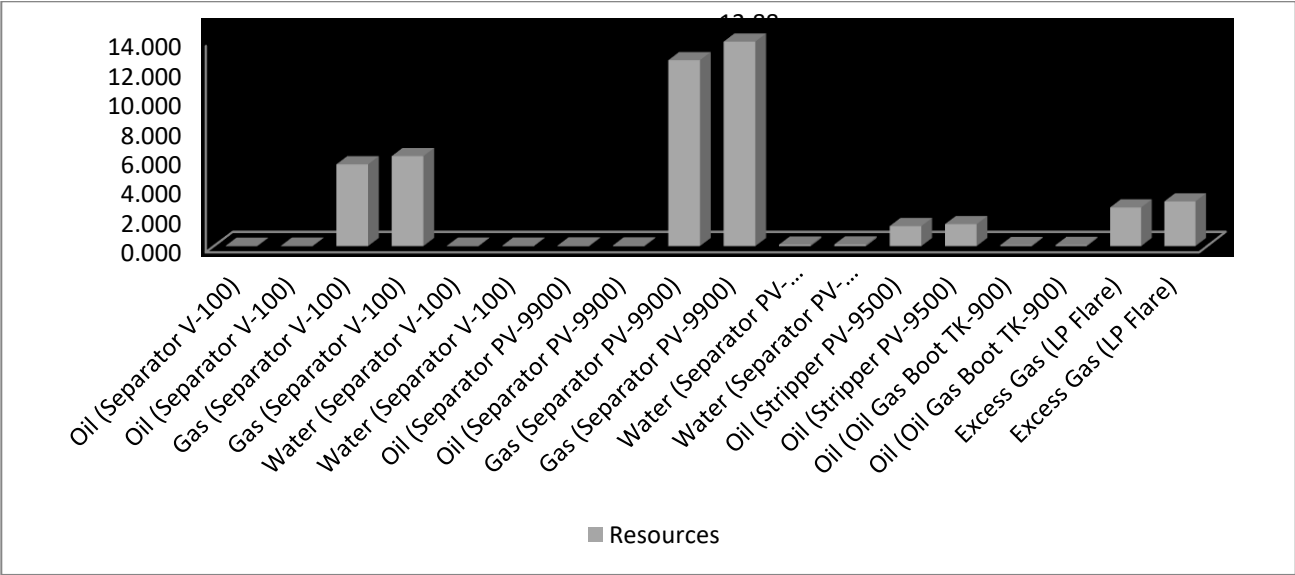
Bulan	Skw 15	Skw 12a	Skw 25	Skw 32	Skw 34
Januari	7607,64	8090,22	11414,94	7915,98	4805,92
Februari	5816,32	3988,58	9001,96	0,00	4325,36
Maret	6743,98	0,00	10961,54	1211,94	4672,24
April	6160,73	5100,52	8878,59	8070,66	539,17
Mei	5759,61	5972,23	3665,08	7914,66	5998,20
Juni	5855,23	5784,25	10913,35	8138,63	6016,29
Juli	6155,52	6052,41	10779,49	8768,18	5668,96
Agustus	5652,96	1916,38	9845,29	2985,51	4808,30
September	6298,50	8584,28	11157,14	8209,87	4082,43
Oktober	2954,81	8187,48	10481,91	9887,55	5149,76
November	0,00	8703,12	11423,71	4400,74	4854,40
Desember	0,00	8971,12	5928,63	11843,68	4784,10
Total (L)	59005,30	71350,60	114451,64	79347	55705

Sumber: PEP Asset 4 Field Sukowati, 2018

Skenario yang telah dibuat kemudian di running kembali dengan menggunakan *software* SimaPro 8.5.2 untuk dilihat sensitivitas data yang dimiliki. Perbandingan kategori *resources* pada proses produksi minyak bumi dan proses pengambilan minyak bumi dapat dilihat pada Gambar 4.25-4.26.

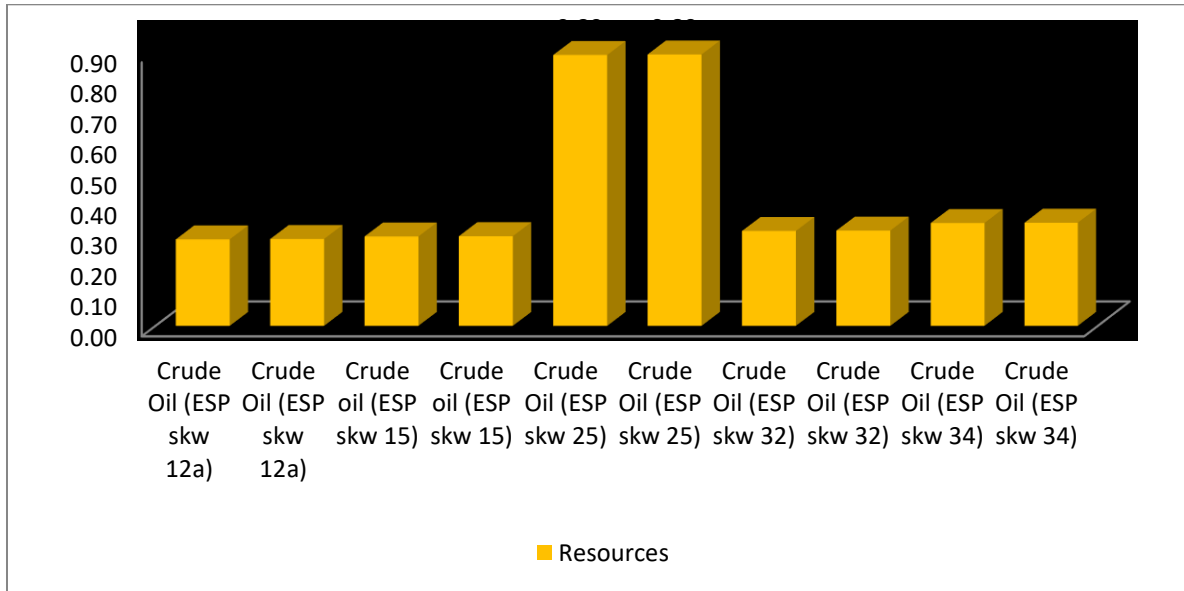
Berdasarkan Gambar 4.25 diketahui bahwa, dengan dilakukannya skenario pertama, yaitu penambahan kapasitas produksi sebanyak 10% mempengaruhi kategori kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*). Dengan adanya penambahan bahan baku atau *input* sebanyak 10%, maka terjadi kenaikan kategori *resources* sebesar 9% pada proses produksi minyak bumi. Sedangkan untuk skenario kedua, yaitu penambahan bahan bakar pada proses pengambilan minyak bumi sebesar 10%, berdasarkan pada Gambar 4.26 tidak terjadi penambahan kategori *resources*, yakni 0% untuk skenario kedua. Sehingga, berdasarkan atas skenario yang direncanakan untuk kedua proses tersebut, kategori *resources* pada proses produksi minyak bumi menunjukkan sensitivitas data. Sedangkan untuk proses pengambilan minyak bumi, kategori *resources* tidak menunjukkan sensitivitas data.

Perbandingan kategori *human health* pada proses produksi minyak bumi dan proses pengambilan minyak bumi dapat dilihat pada Gambar 4.27-4.28. Berdasarkan Gambar 4.27 diketahui bahwa, dengan dilakukannya skenario pertama, yaitu penambahan kapasitas produksi sebanyak 10% mempengaruhi kategori kerusakan penurunan kesehatan manusia (*human health*). Dengan adanya penambahan bahan baku atau *input* sebanyak 10%, maka terjadi kenaikan kategori *human health* sebesar 9% pada proses produksi minyak bumi. Sedangkan untuk skenario kedua, yaitu penambahan bahan bakar pada proses pengambilan minyak bumi sebesar 10%, berdasarkan pada Gambar 4.28 terjadi penambahan kategori *human health*, yakni 9% untuk skenario kedua. Sehingga, berdasarkan atas skenario yang direncanakan untuk kedua proses tersebut, kategori *human health* pada proses produksi dan proses pengambilan minyak bumi menunjukkan sensitivitas data. Perbandingan kategori *ecosystem quality* pada proses produksi minyak bumi dan proses pengambilan minyak bumi dapat dilihat pada Gambar 4.29-4.30.



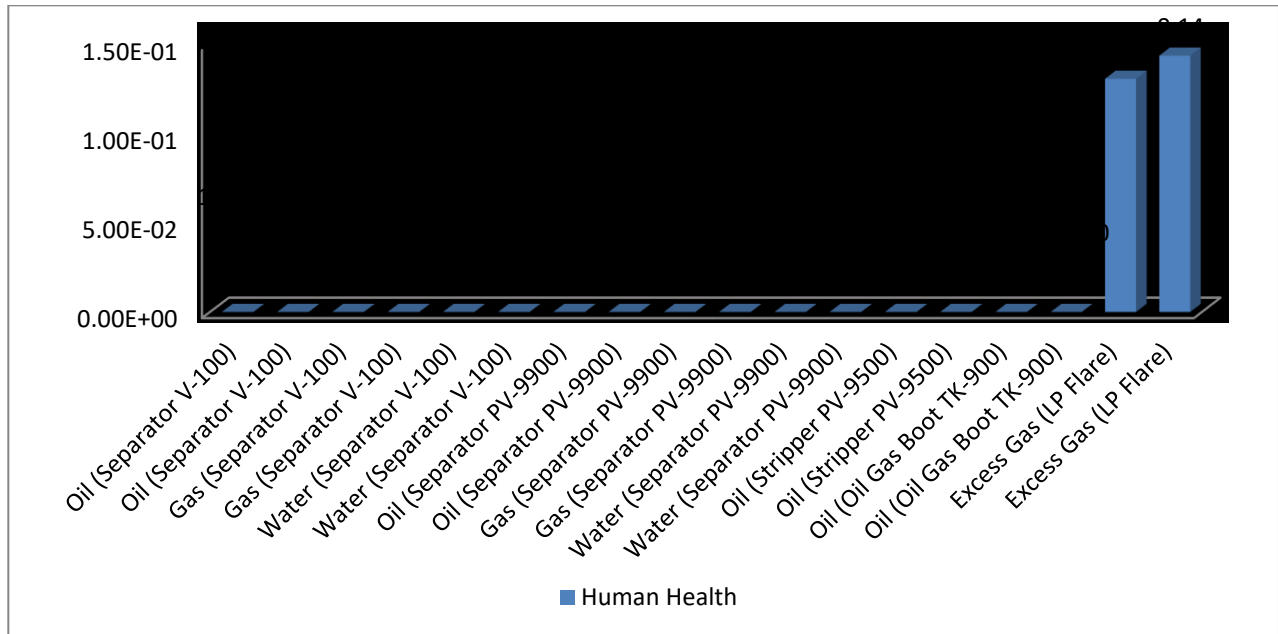
Gambar 4.25 Perbandingan Hasil Sensitivity Check Kategori Resources Proses Produksi Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2



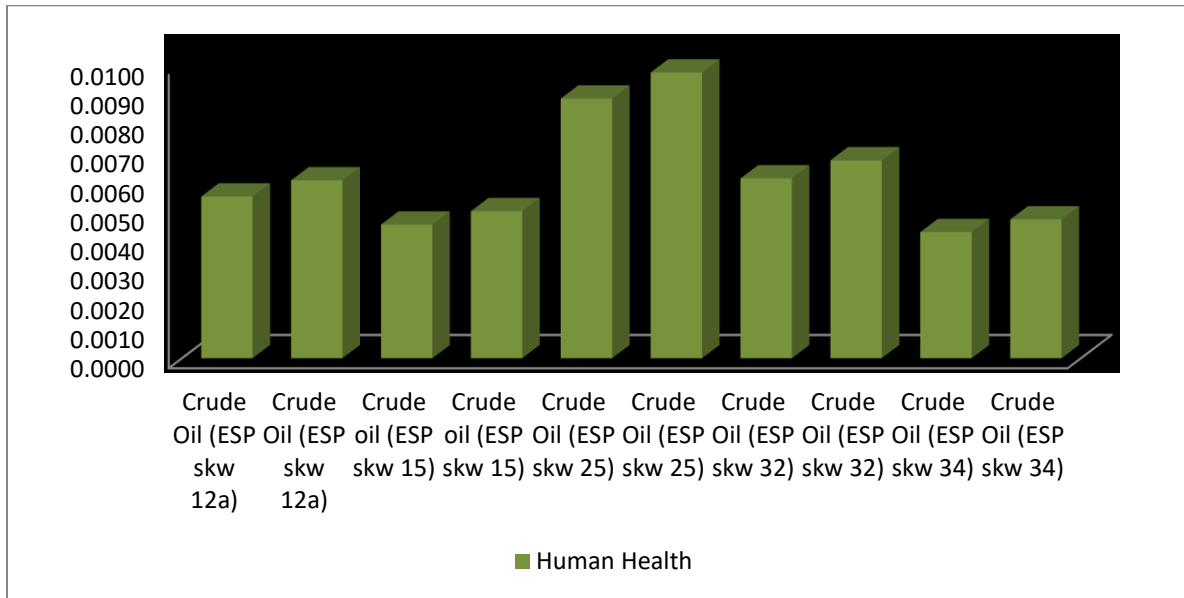
Gambar 4.26 Perbandingan Hasil *Sensitivity Check* Kategori *Resources* Proses Pengambilan Minyak Bumi

Sumber: *SimaPro 8.5.2*



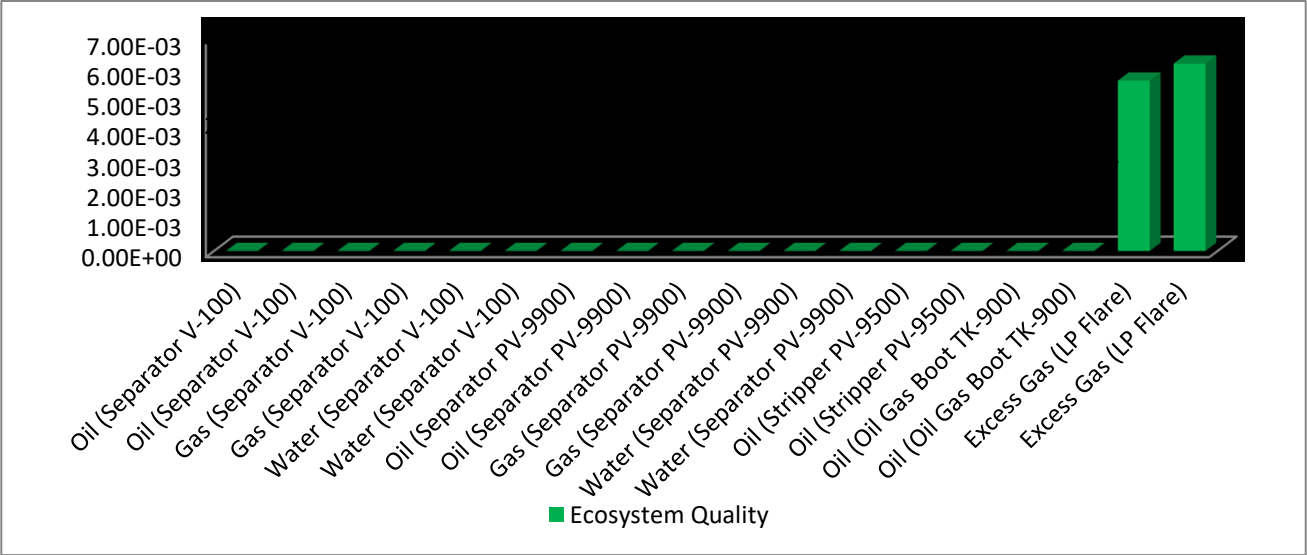
Gambar 4.27 Perbandingan Hasil Sensitivity Check Kategori Human Health Proses Produksi Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2



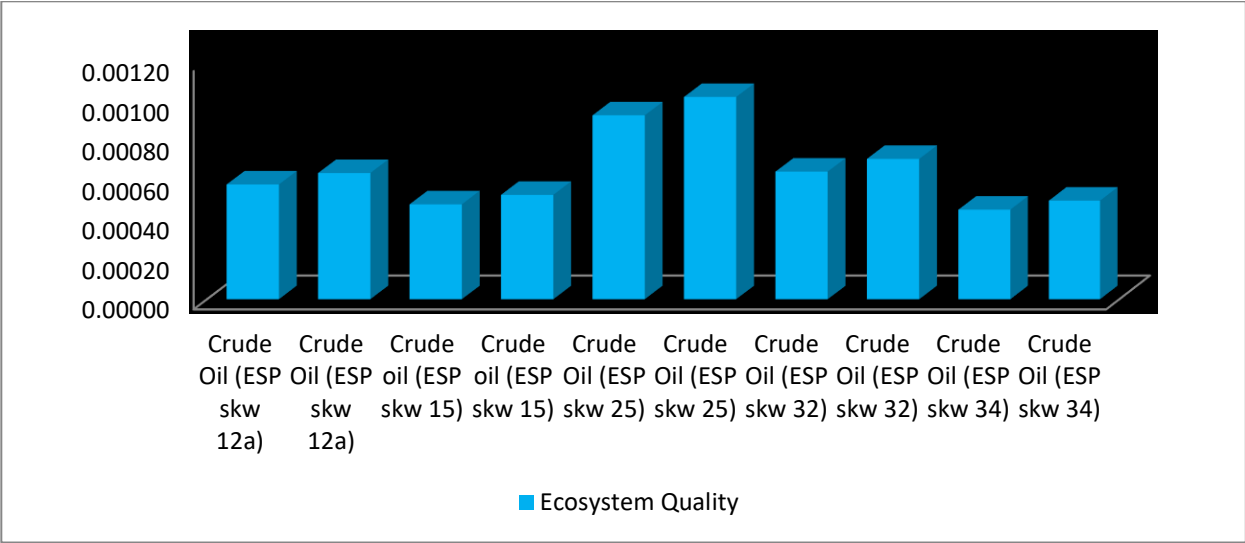
Gambar 4.28 Perbandingan Hasil Sensitivity Check Kategori Human Health Proses Pengambilan Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2



Gambar 4.29 Perbandingan Hasil Sensitivity Check Kategori Ecosystem Quality Proses Produksi Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2



Gambar 4.30 Perbandingan Hasil *Sensitivity Check* Kategori *Ecosystem Quality* Proses Produksi Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2

Berdasarkan Gambar 4.29 diketahui bahwa, dengan dilakukannya skenario pertama, yaitu penambahan kapasitas produksi sebanyak 10% mempengaruhi kategori kerusakan penurunan kesehatan manusia (*ecosystem quality*). Dengan adanya penambahan bahan baku atau *input* sebanyak 10%, maka terjadi kenaikan kategori *ecosystem quality* sebesar 9% pada proses produksi minyak bumi. Sedangkan untuk skenario kedua, yaitu penambahan bahan bakar pada proses pengambilan minyak bumi sebesar 10%, berdasarkan pada Gambar 4.30 terjadi penambahan kategori *ecosystem quality*, yakni 9% untuk skenario kedua. Sehingga, berdasarkan atas skenario yang direncanakan untuk kedua proses tersebut, kategori *ecosystem quality* pada proses produksi dan proses pengambilan minyak bumi menunjukkan sensitivitas data.

4.3.5.3 Consistency Check

Consistency check bertujuan untuk menentukan apakah asumsi, metode alokasi dan data yang digunakan dalam analisis LCA konsisten dengan tujuan dan ruang lingkup LCA. Konsisten dalam hal ini adalah pada tahap analisis LCI dan LCIA asumsi, metode alokasi dan data harus relevan satu sama lain. Contoh-contoh dari ketidakkonsistenan adalah sebagai berikut:

1. **Perbedaan sumber data**, misalnya proses 1 didasarkan pada literatur (artikel, jurnal, buku), sedangkan proses 2 didasarkan pada data primer (pemantauan dan pengukuran lapangan).
2. **Perbedaan dalam akurasi data**, misalnya proses 1 deskripsi prosesnya sangat rinci dan tersedia, sedangkan proses 2 dijelaskan sebagai sistem *black box*.
3. **Perbedaan dalam cakupan teknologi**, misalnya data untuk proses 1 didasarkan pada proses eksperimental (seperti penggunaan alat proses baru dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi).
4. **Perbedaan dengan cakupan waktu**, misalnya data untuk proses 1 menggambarkan teknologi baru, sedangkan proses 2 menggambarkan teknologi baru dan teknologi lama secara bersamaan.

5. **Perbedaan usia data**, misalnya data pada proses 1 merupakan data primer dengan usia 4 tahun, sedangkan proses 2 merupakan data primer yang berusia 4 bulan.
6. **Perbedaan dalam cakupan geografis**, misalnya data untuk proses 1 menggambarkan teknologi Eropa, sedangkan proses 2 menggambarkan satu negara anggota Uni Eropa.

Berikut merupakan uji konsistensi pada proses pengambilan minyak bumi dan proses produksi minyak bumi. Lihat Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Consistency Check Proses Pengambilan dan Produksi Minyak Bumi

Keterangan	Proses Pengambilan Minyak Bumi	Proses Produksi Minyak Bumi
Sumber Data	Pemantauan harian dan bulanan	Pemantauan harian dan bulanan
Keakuratan Data	Berdasarkan uji laboratorium	Berdasarkan uji laboratorium
Usia Data	1 tahun (Januari - Desember 2018)	1 tahun (Januari - Desember 2018)
Cakupan Teknologi	Skala Besar	Skala Besar
Cakupan Terkait Waktu	Lama	Lama
Cakupan Geografis	Indonesia	Indonesia

4.4 Analisis Alternatif Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis dampak dengan metode LCA pada sub-bab 4.5, diketahui bahwa proses pengambilan dan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati memberikan dampak yang sangat besar terhadap kategori penurunan sumber daya alam (*resources*) dan kategori penurunan kesehatan manusia (*human health*).

Kategori *resources* disebabkan oleh penggunaan minyak bumi sebagai bahan baku utama dalam proses produksi yang mempengaruhi ketersediaan minyak bumi sebagai bahan bakar fosil di alam. Sedangkan untuk kategori *human health*, ditimbulkan dari emisi yang dilepaskan oleh unit separator, *genset* dan LP *Flare* pada proses pembakaran. Oleh karena itu, diperlukannya alternatif perbaikan untuk mereduksi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses utama maupun proses penunjang (LP *flare*) pada kegiatan proses produksi minyak bumi di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati.

Alternatif yang digunakan pada proses utama dan penunjang pada kegiatan produksi minyak bumi di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati merupakan alternatif yang di dapatkan dari hasil analisis, hasil diskusi dengan pihak terkait yang bekerja pada proses produksi minyak bumi di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati dan dosen pembimbing. Hasil analisis dilakukan dengan cara analisis literatur, yang di dapatkan dari jurnal maupun analisis terhadap laporan perusahaan di bidang eksplorasi dan produksi. Sedangkan, hasil diskusi dilakukan dengan cara bertukar pendapat dengan pihak terkait yang bekerja di bagian proses produksi serta dosen pembimbing, terkait kondisi aktual lapangan, dampak yang dihasilkan serta alternatif yang mungkin diterapkan. Sehingga, proses produksi dapat berjalan secara maksimal namun juga dapat mengurangi dampak lingkungan yang terjadi. Beberapa alternatif yang digunakan sebagai tujuan untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi sesuai analisis LCA dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Alternatif Perbaikan yang direncanakan

No	Alternatif	Cara Kerja	Fungsi
1	Membangunan <i>Power Plant</i> sebagai pengolahan gas dalam menghasilkan listrik (*)	Memanfaatkan gas bumi sebagai penghasil listrik dalam menunjang kegiatan operasional perusahaan.	<p>Mengurangi pembuangan gas alam sebanyak 27%</p> <hr/> <p>Efisiensi penghasil listrik dari gas bumi sebagai bahan baku ialah sebesar 100%</p>
2	<i>Injection Produced Water</i> pada sumur produksi (reservoir) (**)	Melakukan injeksi air terproduksi hasil pemisahan minyak dan gas bumi ke dalam sumur-sumur produksi.	<p>Mengurangi penggunaan sumber daya alam (<i>water zero discharge</i>) 20%</p> <hr/> <p>Meningkatkan perolehan minyak bumi sebanyak 26,8%</p>



No	Alternatif	Cara Kerja	Fungsi
3	<i>Enchanted Gas Recovery</i> (***)	Menginjeksikan gas CO ₂ kedalam atau berdekatan dengan sumur produksi minyak bumi.	Berkurangnya emisi gas CO ₂ sebesar 80-90% Pemanfaatan gas buang CO ₂ , guna meningkatkan perolehan minyak bumi dengan cara mengurangi kejenuhan minyak residu
4	Penggunaan bahan bakar <i>biodiesel</i> (***)	Mengganti penggunaan bahan bakar solar dengan <i>biodiesel</i> pada unit genset sebagai penghasil listrik untuk ESP. <i>Biodiesel</i> merupakan alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang berasal dari biji-bijian.	Ramah lingkungan, genset dapat bekerja dengan baik dengan pembakaran yang relatif bersih Dapat mengurangi emisi karbon 120-170 kton per tahun

Memiliki kerapatan energi per volume
yang lebih tinggi

Sumber: (*) PT Pertamina EP, 2005.
(**) Kristianto dan Santoso, 2014.
(***) KemenKeu, 2015.
(****) Harsono dan Kiman, 2015.

4.5 Skenario Alternatif Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis *running* pertama dengan SimaPro 8.5.2 didapatkan bahwa dampak dari kegiatan proses pengambilan dan produksi minyak bumi di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati memberikan dampak yang sangat besar terhadap kategori penurunan sumber daya alam (*resources*) dan kategori penurunan kesehatan manusia (*human health*). Alternatif yang dapat dilakukan untuk mereduksi kategori kerusakan *resources* pada *hotspot*, yaitu pada proses produksi minyak bumi dengan unit kegiatan separator PV-9900 dan V-100 ialah pembangunan *power plant* sebagai pengolahan gas alam dan *injection produced water* pada sumur produksi. Sedangkan, untuk mereduksi kategori kerusakan *human health* pada proses pengambilan dan produksi minyak bumi, dapat dilakukan dengan *enchanted gas recovery* dan penggunaan bahan bakar *biodiesel* dalam mengurangi emisi yang dihasilkan yang dapat berdampak terhadap kesehatan manusia. Terdapat 2 skenario yang dilakukan berdasarkan atas alternatif perbaikan yang telah dipilih. Skenario-skenario tersebut adalah sebagai berikut.

4.5.1 Skenario I

Skenario pertama dilakukan dalam penelitian ini ialah dengan menggunakan alternatif perbaikan *power plant* dan *injection produced water*. Alternatif perbaikan *power plant* dan *injection produced water* bertujuan untuk mereduksi kategori kerusakan *resources* akibat dari tidak terolahnya keseluruhan jumlah gas alam dan tidak tergunakan secara keseluruhan air terproduksi untuk sumur-sumur penghasil minyak bumi, yang didapatkan dari proses pemisahan air, gas dan minyak melalui unit separator PV-9900 dan V-100 pada proses produksi minyak bumi yang menjadi *hotspot*, atau unit yang memiliki dampak paling besar dari unit lainnya. *Power plant* mampu mengurangi pembuangan gas alam sebesar 27% dan *injection produced water* mampu mengurangi penggunaan sumber daya alam (*water zero discharge*) 20%.

4.5.2 Skenario II

Skenario kedua dilakukan dalam penelitian ini ialah dengan menggunakan alternatif *enchanted gas recovery* pada kegiatan proses produksi minyak bumi, dan penggunaan bahan bakar *biodiesel* pada kegiatan proses pengambilan minyak bumi dengan menggunakan ESP. Alternatif perbaikan *enchanted gas recovery* dan penggunaan bahan bakar *biodiesel* bertujuan untuk mereduksi kategori kerusakan *human health* dari kegiatan proses pengambilan dan produksi minyak bumi, yang mana mengeluarkan emisi gas buang yang dapat mengganggu kesehatan manusia. Alternatif tersebut dapat mengurangi emisi gas CO₂ sebesar 80-90% untuk *enchanted gas recovery* dan dapat mengurangi emisi karbon sebesar 120-170 kton per tahun untuk alternatif penggunaan bahan bakar *biodiesel*.

4.6 Hasil Analisis Skenario Alternatif Perbaikan

Hasil analisis skenario alternatif perbaikan dengan menggunakan *software* SimaPro 8.5.2 berdasarkan metode LCA dapat dilihat sebagai berikut.

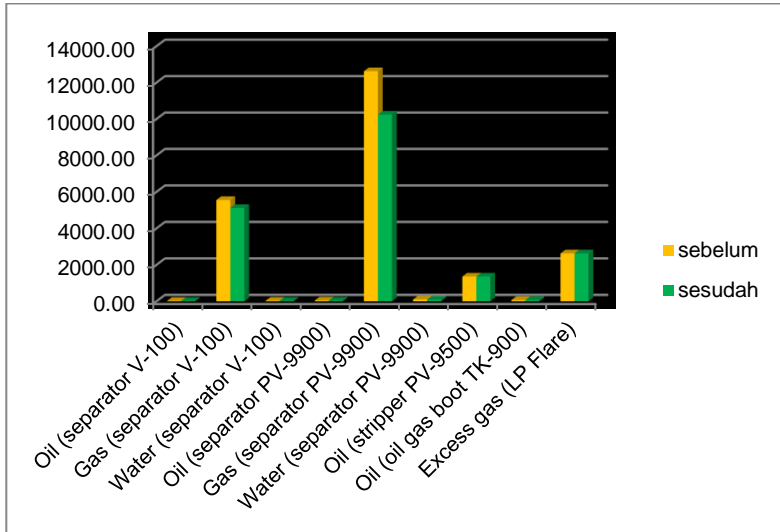
4.6.1 Hasil Analisis Skenario I

Berikut ditampilkan nilai sebelum dan sesudah penurunan nilai kategori kerusakan *resources* dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.31.

Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Resources

Unit Proses	Damage Category		Satuan
	Resources		
	sebelum	sesudah	
Oil (separator V-100)	22,97	21,14	GPt
Gas (separator V-100)	5550,48	5108,83	
Water (separator V-100)	29,13	26,82	
Oil (separator PV-9900)	43,40	35,20	
Gas (separator PV-9900)	12619,33	10234,89	
Water (separator PV-9900)	102,12	82,82	
Oil (stripper PV-9500)	1354,53	1354,53	
Oil (oil gas boot TK-900)	66,42	66,42	
Excess gas (LP Flare)	2620,98	2620,98	

Sumber: SimaPro 8.5.2



Gambar 4.31 Perbandingan Nilai Resources

Sumber: SimaPro 8.5.2

Berdasarkan hasil *running* kedua dengan menggunakan *software* SimaPro 8.5.2 berbasis pada metode LCA, diketahui bahwa dengan skenario I yang terdiri atas alternatif *power plant* dan *injection produced water* pada proses produksi minyak bumi mampu mereduksi kategori kerusakan *resources* pada *hotspot* dari penelitian ini, yaitu unit separator PV-9900 dan V-100 pada *output* gas dan air. Pada Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa unit proses produksi minyak bumi, separator PV-9900 dan V-100 pada *output* gas dan air terjadi penurunan nilai *resources*, dimana nilai *resources* pada unit separator PV-9900 dan V-100 *output* gas sebelum dilakukan alternatif perbaikan berturut-turut ialah 12619,33 GPt dan 5550,48 GPt. Sedangkan, nilai *resources* dari unit separator PV-9900 dan V-100 pada *output* gas sesudah digunakannya alternatif perbaikan *power plant*, nilainya berturut-turut ialah 10234,89 GPt dan 5108,83 GPt. Alternatif perbaikan *injection produced water* yang bertujuan untuk mengurangi kategori kerusakan *resources* pada proses produksi minyak bumi khususnya unit separator PV-9900 dan V-100 pada *output* air sebelum dilakukannya alternatif memiliki nilai berturut-turut ialah 102,12 GPt dan 29,13 GPt. Sedangkan, nilai *resources* dari unit separator PV-9900 dan V-100 pada *output* air sesudah digunakannya alternatif perbaikan *injection produced water*, nilainya berturut-turut ialah 82,82 GPt dan 21,14 GPt.

4.6.2 Hasil Analisis Skenario II

Berikut ditampilkan nilai sebelum dan sesudah penurunan nilai kategori kerusakan *human health* pada proses produksi minyak bumi dan proses pengambilan minyak bumi.

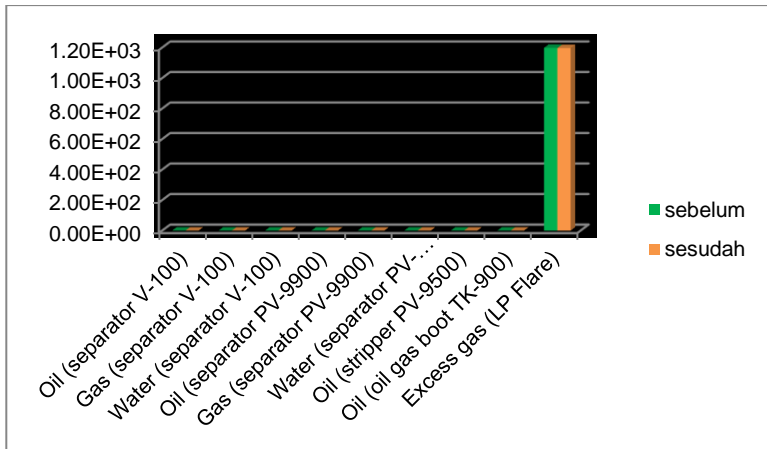
- **Hasil Analisis Skenario II pada Proses Produksi Minyak Bumi**

Berikut ditampilkan hasil analisis skenario II dengan alternatif *enchanted gas recovery* yang digunakan pada proses produksi minyak bumi dalam mereduksi kategori kerusakan *human health*. Lihat Tabel 4.15 dan Gambar 4.32.

Tabel 4.15 Perbandingan Nilai *Human Health* Proses Produksi Minyak Bumi

Unit Proses	<i>Impact Category</i>		Satuan
	<i>Climate Change</i>		
	sebelum	sesudah	
Oil (separator V-100)	3,11E-06	3,11E-06	DALY
Gas (separator V-100)	0,000753	0,00075	
Water (separator V-100)	3,95E-06	3,95E-06	
Oil (separator PV-9900)	3,87E-06	3,87E-06	
Gas (separator PV-9900)	0,001126	0,00113	
Water (separator PV-9900)	9,11E-06	9,11E-06	
Oil (stripper PV-9500)	0,000152	0,00015	
Oil (oil gas boot TK-900)	7,47E-06	7,47E-06	
Excess gas (LP Flare)	1197,85	1196,23	

Sumber: SimaPro 8.5.2



Gambar 4.32 Perbandingan Nilai *Human Health* Proses Produksi Minyak Bumi

Sumber: SimaPro 8.5.2

Penggunaan alternatif ini hanya dilakukan pada proses produksi minyak bumi, dikarenakan sesuai dengan fungsinya dalam mengurangi emisi gas CO₂, yang mana emisi gas CO₂ dihasilkan dari proses produksi, yaitu pada unit *LP Flare*.

Nilai perbandingan kategori kerusakan *human health* pada proses produksi minyak bumi menggunakan nilai tahapan karakterisasi pada metode penilaian dampak *Eco Indicator 99*. Hal ini dikarenakan alternatif perbaikan *enchanted gas recovery* yang mana mampu mengurangi emisi gas CO₂ sebesar 80-90%, hanya mempengaruhi nilai dampak *climate change*. Emisi gas buang CO₂ hasil dari pembakaran dari unit *LP Flare* dapat menyebabkan efek pemanasan global, yang mana mengakibatkan perubahan iklim secara regional maupun global. Dari perubahan iklim tersebut secara tidak langsung dapat berdampak pada kesehatan manusia. Dampak *climate change* dalam tahapan penilaian dampak berada pada tahap *midpoint* dengan satuan dampak ialah DALY (*Disability Adjusted Life Year*), yang nantinya pada tahap *endpoint* masuk dalam kategori *human health*.

Hasil dari *running* kedua dengan menggunakan *software* SimaPro 8.5.2 skenario II untuk alternatif *enchanted gas recovery* pada proses produksi minyak bumi unit *LP Flare*, berdasarkan Tabel 4.17 menunjukkan perubahan nilai sebelum dan sesudah dilakukannya alternatif perbaikan. Nilai *climate change* pada unit *LP Flare* sebelum dilakukannya alternatif adalah sebesar 1197,85 DALY. Sedangkan sesudah dilakukannya alternatif perbaikan dengan *enchanted gas recovery*, nilai *climate change* pada unit *LP Flare* menjadi 1196,23 DALY, terjadi penurunan dampak sebesar 0,13%.

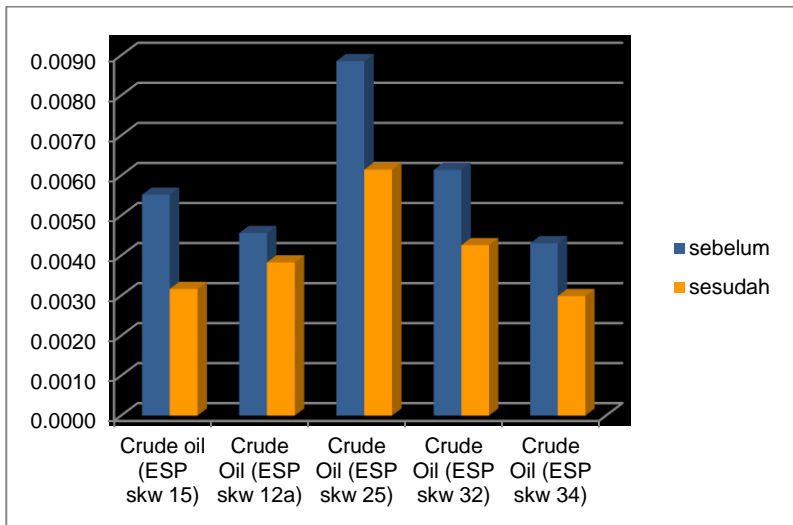
- **Hasil Analisis Skenario II pada Proses Pengambilan Minyak Bumi**

Berikut ditampilkan hasil analisis skenario II dengan alternatif perbaikan penggunaan bahan bakar *biodiesel* pada proses pengambilan minyak bumi, dalam mereduksi kategori kerusakan *human health*. Lihat Tabel 4.16 dan Gambar 4.33.

Tabel 4.16 Perbandingan Nilai *Human Health* Proses Pengambilan Minyak Bumi

Unit Proses	<i>Damage Category</i>		Satuan
	<i>Human Health</i>		
	sebelum	sesudah	
Crude oil (ESP skw 15)	0,0055	0,0032	MPt
Crude Oil (ESP skw 12a)	0,0046	0,0038	
Crude Oil (ESP skw 25)	0,0089	0,0061	
Crude Oil (ESP skw 32)	0,0061	0,0043	
Crude Oil (ESP skw 34)	0,0043	0,0030	

Sumber: *SimaPro 8.5.2*



Gambar 4.33 Perbandingan Nilai *Human Health* Proses Pengambilan Minyak Bumi

Sumber: *SimaPro 8.5.2*

Alternatif perbaikan penggunaan bahan bakar *biodiesel* dilakukan pada proses pengambilan bumi, yaitu pada unit *genset* sebagai penyuplai utama energi listrik dalam menjalankan ESP, hal ini dikarenakan pada proses produksi minyak bumi, unit-unit prosesnya tidak menggunakan bahan bakar. Perbandingan nilai kategori kerusakan *human health* menggunakan nilai tahapan *single score* pada metode penilaian dampak *Eco Indicator 99*. Hal ini dikarenakan penggunaan bahan bakar *biodiesel* dalam proses pengambilan minyak bumi mempengaruhi secara keseluruhan sistem proses.

Berdasarkan Tabel 4.18 dapat diketahui, bahwa penggunaan alternatif perbaikan bahan bakar *biodiesel* untuk unit *genset* dalam proses pengambilan minyak bumi menyebabkan penurunan nilai *human health*. Sebelum dilakukannya alternatif perbaikan, nilai *human health* pada proses pengambilan minyak bumi apabila ditotal dari keseluruhan ESP adalah sebesar 0,029 MPt. Sedangkan, sesudah dilakukannya alternatif perbaikan penggantian bahan bakar menggunakan *biodiesel*, nilai *human health* untuk proses pengambilan minyak bumi menggunakan ESP menjadi 0,020 MPt.

Maka dari itu, kesimpulan untuk analisis skenario dari alternatif perbaikan dalam penelitian ini adalah skenario I maupun skenario II mampu mereduksi dampak terhadap lingkungan. Analisis skenario I dengan alternatif perbaikan *power plant* dan *injection produced water* pada *hotspot*, yaitu unit separator PV-9900 dan V-100 *output* gas dan air mampu mengurangi dampak *resources*. Pengurangan nilai *resources* pada *output* gas dari unit separator PV-9900 dan V-100 berturut-turut sebesar 19% dan 8%, begitu pula dengan pengurangan nilai *resources* pada *output* air dari unit separator PV-9900 dan V-100 berturut-turut sebesar 19% dan 8%. Analisis skenario II dengan alternatif perbaikan *enchanted gas recovery* dan *biodiesel* dilakukan pada dua proses yang berbeda, yaitu alternatif *enchanted gas recovery* dilakukan pada proses produksi minyak bumi, dan alternatif *biodiesel* dilakukan pada proses pengambilan minyak bumi. Alternatif *enchanted gas recovery* mampu mengurangi dampak *climate change* pada tahap *midpoint*, yang mana pada tahap *endpoint*

menjadi kategori kerusakan *human health* sebesar 0,13%. Sedangkan alternatif perbaikan penggunaan bahan bakar *biodiesel* pada proses pengambilan minyak bumi mampu mengurangi nilai *human health* sebesar 31%. Sehingga, alternatif perbaikan yang paling mungkin dapat dilakukan dalam mereduksi dampak yang dihasilkan dari proses pengambilan minyak bumi di PEP Asset 4 *Field* Sukowati adalah alternatif *biodiesel*, yaitu penggunaan bahan bakar *biodiesel* sebagai pengganti bahan bakar solar di unit *genset*. Sedangkan untuk proses produksi minyak bumi di PEP Asset 4 *Field* Sukowati adalah alternatif *power plant*, yaitu pembangunan *power plant* dalam memaksimalkan pengolahan gas alam sebelum di bakar di unit *LP Flare*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Beban emisi yang dihasilkan pada masing-masing unit sumber emisi tidak bergerak yang dianalisis adalah CO₂, CH₄, N₂O dan NO_x berturut-turut sebesar 9600 ton CO₂/tahun, 129 ton CH₄/tahun, 0,298 ton N₂O/tahun dan 5,52 ton NO_x/tahun yang dihasilkan oleh unit LP *Flare*. Sedangkan untuk beban emisi SO_x terbesar dihasilkan oleh unit genset sebesar 20,11 ton SO_x/tahun, dan beban emisi nmHC (*non methane Volatile Organic Compound*) terbesar dihasilkan oleh unit separator senilai 0,1161 ton nmHC/tahun.
2. Dampak terbesar pada proses produksi minyak bumi di CPA, PEP Asset 4 *Field* Sukowati adalah dampak pada kategori penurunan sumber daya alam (*resources*) dan penurunan kesehatan manusia (*human health*). Proses yang memiliki dampak paling besar terhadap lingkungan adalah proses pada unit separator PV-9900 dengan nilai dampak sebesar 12620 MPt dan nilai pada masing-masing kategori kerusakan sebesar $4,76 \times 10^{11}$ MJ *surplus* untuk kategori *resources*, 0,00118 DALY untuk kategori *human health* dan 0,0847 PDF.m².year untuk kategori *ecosystem quality*.
3. Alternatif penggunaan bahan bakar *biodiesel* pada proses pengambilan minyak bumi menggunakan ESP merupakan alternatif yang mengurangi dampak paling besar, yaitu sebanyak 31%. Sedangkan untuk proses produksi minyak bumi, alternatif yang mengurangi dampak paling besar dapat dilakukan dengan membangun *power plant* dan *injection produced water*, dengan penurunan dampak pada unit separator PV-9900 berturut-turut sebanyak 19% dan 19%.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat diberikan saran yang diharapkan bermanfaat bagi penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai dampak dari kegiatan pengolahan gas bumi dan air terproduksi yang terdapat di PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai kajian dampak dari sumur-sumur produksi secara keseluruhan terhadap lingkungan dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).
3. Perlu dilakukan kajian lebih mendalam mengenai penyebab dampak yang dihasilkan dari analisis menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. 2009. **Isu Lingkungan Global**. Jakarta.
- Anonymous. 1998. **Tropospheric Ozone in EU – The Consolidated Report European Environ Agency**. NASA Obervatory. USA.
- Anonymous. 2006. **Ozone Global Change Master Directory**. NASA Obervatory. USA.
- Anonim. 2013. **Proses Produksi Migas**. Jakarta.
- Anonim. 2013. **Teknik Produksi Migas, Proses Produksi Migas**. Jakarta.
- Anonim. 2013. **Proses Pengolahan Migas dan Petrokimia**. Jakarta.
- Anonim. 2012. **Teknis Perhitungan Emisi GRK Sektor Industri Oleh Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri**. Jakarta.
- Antari, A. R. dan Bahari, R. 2016. **Perancangan separator Vertikal Mini 2 Fasa Pada Kegiatan Sampling Fluida (Tinjauan Aspek Keekonomian) di PT Pertamina EP Asset 2 Field Limau**. Jurnal Teknik Patra Akademika, Vol. 7, No. 2.
- Barata. 2005. **Monitoring dan Pemantauan Pencemaran Udara PT. Semen Baturaja**. Jurnal Teknik Lingkungan, FTSL, ITB.
- Cahyono, W. E. 2010. **Pengaruh Pemanasan Global Terhadap Lingkungan Bumi**. Berita Dirgantara: Jurnal LAPAN.
- Chen Gang, *et al.* 2018. **Characteristics of A Crude Oil Composition and Its In Situ Waxing Inhibition Behavior**. China: Xi'an Shiyu University.

- Curran, M. 1996. **Environmental Life Cycle Assessment**. McGraw-Hill, New York.
- Departemen Kesehatan RI. 2010. **Capaian Pembangunan Kesehatan Tahun 2011**. Jakarta.
- EPA. 2010. **Available and Emerging Technologies For Reducing Greenhouse Gas Emissions From The Petroleum Refining Industry**. United State.
- Ghaziyad, V. N. 2015. **Analisis Efektivitas Arang Temperung Kelapa dan Karbon Aktif dalam Mengadsorpsi Gas Karbon dioksida (CO₂) yang Dihasilkan Oleh Lumpur Tinja dan Kotoran Sapi**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Giandadewi, D.S., *et al.* 2017. **Potensi Dampak Lingkungan dalam Sistem Produksi Minyak Kelapa Sawit Mentah (Crude Palm Oil-CPO) dengan menggunakan Metode Life Cycle Assessment (Eco Indicator 99)**. Jurnal Teknik Lingkungan, Vol. 6 (1): 1-10.
- Godish, T. 2004. **Air Quality**. Lewis Publishers. A CRC Press Company. London.
- Goedkoop, M. dan Renilde, S. 2000. **The Eco Indicator 99-A Damage Oriented Method For Life Cycle Impact Assessment**. Belanda: PreConsultant.
- Graedel dan Allenby. 1995. **Steamlined Life Cycle Assessment**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Haas, *et al.* 2005. **Estimation of Environmental Impact of Conversion to Organic Agriculture in Hamburg Using The Life Cycle Assessment Method**. Germany.
- Harsono, B. Dan Kiman, S. 2015. **Peningkatan Kinerja Mesin Diesel dengan Produksi Biodiesel dari Kelapa (Coconut Nufera) dan Unjuk Kinerjanya Berbasis Transesterifikasi dengan Sistem Injeksi Langsung**. Jurnal Rona Teknik Pertanian.

- Hermawan, F., *et al.* 2013. **Peran *Life Cycle Analysis (LCA)* pada Material Konstruksi Dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida pada Efek Gas Rumah Kaca.** Konferensi Nasional Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Herrmann, I. T. dan Moltesen, A. 2015. **Does It Matter Thich *Life Cycle Assessment (LCA)* Tool You Choose? – A Comparative Assessment of SimaPro and GaBi.** *Journal of Cleaner Production*, Vol. 86: 163-169.
- Herprayoga, R. 2014. **Kajian *Life Cycle Assessment (LCA)* untuk Mereduksi Dampak Pencemaran Udara PT Semen Bosowa Maros dengan Pendekatan *Analytical Hierarchy Process (AHP)*.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Husin, S. 1991. **Penipisan Lapisan Ozon dan Hukum Lingkungan Intenasional.** Palembang.
- International Energy Agency. 2010. **Electricity Information.** France.
- IPCC. 2005. **Carbondioxide Capture and Storage.** USA.
- IPCC Climate Change. 2007. **The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to The Fourth Assessment Report of The Intergovernmental Panel On Climate Change.** USA.
- IPCC. 2013. **Climate Change: The The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel On Climate Change.** USA.
- ISO. 2006. **ISO 14040: Environmental Management, Life Cycle Assessment, Requirements and Guidelines.** Switzerland.
- Isaksen, I. S. A. 2014. **Atmospheric Ozone and Methane in a Changing Climate.** London.

- Karras, G. 2010. **Combustion Emissions From Refining Lower Quality Oil: What Is The Global Warming Potential.** *Environmental Science and Technology*, 44 (24), 9584-9589.
- Kautzar, Galuh Zuhria, *et al.* 2015. **Analisis Dampak Lingkungan Pada Aktivitas *Supply Chain* Produk Kulit menggunakan Metode LCA dan ANP.** Universitas Brawijaya, Malang.
- Kementerian Keuangan RI. 2015. **Opsi Kebijakan Fiskal Dalam Mempromosikan Penyerapan dan Penyimpanan Karbon Pada Industri Minyak dan Gas Bumi di Indonesia.** Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup RI. 2012. **Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca.** Jakarta.
- Kristianto, D. dan Santoso, A. P. 2014. **Evaluasi Penggunaan Injeksi Air untuk Pressure Maintenance pada Reservoir Lapangan Minyak.** Jurusan Teknik Perminyakan, Univ. Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Kusminingrum, N. *et al.* 2008. **Polusi Udara Akibat Aktivitas Kendaraan Bermotor di Jalan Perkotaan Pulau Jawa dan Bali.** Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Bandung.
- Kusumawardani, B. 2017. **Identifikasi Dampak Material pada Proses Produksi Batik Cap terhadap Lingkungan dengan menggunakan *Software SimaPro*.** Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Latuconsina, H. 2010. **Dampak Pemanasan Global Terhadap Ekosistem Pesisir dan Lautan "Pesisir dan Lautan Indonesia, Ternate".** FPIK, Ambon.
- Martono. 2011. **Fenomena Gas Rumah Kaca.** *Jurnal Forum Teknologi*, Vol. 2, No. 2.

- Martono. 2014. **Identifikasi Sumber Emisi dan Perhitungan Beban Emisi**. Jurnal Forum Teknologi, Vol. 6, No. 2.
- Menoufi, K. A. I. *et al.* 2011. **Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment Methodologies: A State of The Art**. Lleida: Universitat de Lleida.
- Napitululu, F. H. 2006. **Pengaruh Nilai Kalor (Heating Value) Suatu Bahan Bakar Terhadap Perencanaan Volume ruang Bakar Ketel Uap berdasarkan Metode Penentuan Nilai Kalor Bahan Bakar yang Digunakan**. Jurnal Sistem Teknik Industri, Vol. 7 (1): 60-65.
- Palupi, *et al.* 2014. **Evaluasi Dampak Lingkungan Produk Kertas dengan Menggunakan Life Cycle Assessment (LCA) dan Analytical Network Process (ANP) (Studi Kasus: PT X Probolinggo)**. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri, Vol. 2, No.2, 1136-1147.
- Pamungkas, J. 2004. **Pengantar Teknik Reservoir Migas dan Panas Bumi**. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 13. 2009. **Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Minyak dan Gas Bumi**. Jakarta.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12. 2012. **Pedoman Perhitungan Beban Emisi Kegiatan Industri Minyak dan Gas Bumi**. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah No.41. 1999. **Pengendalian Pencemaran Udara**. Jakarta.
- Pikatan, S. 2012. **Ozon di Atmosfer: Erosi Pada Lapisan Ozon Mengancam Kehidupan di Permukaan Bumi**. Surabaya: Universitas Surabaya, Vol. 1, No. 1.
- Pohan, N. 2002. **Pencemaran Udara dan Hujan Asam**. Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara.

- Pertamina. 2018. **Produksi Pertamina EP Field Sukowati**. <https://www.pertamina.com/id/news-room/news-release/produksi-pertamina-ep-sukowati-field-tembus-10-010-bopd>. (5 Januari 2019).
- PT Pertamina EP Asset 4 *Field* Sukowati. 2019. **Production and Process Flow Diagram of Crude Oil**. Tuban, Jawa Timur.
- PT Pertamina EP. 2005. **Design of Gas Power Plant**. Jakarta.
- Pujadi dan Melfa, Y. 2013. **Analisis Sustainability Packaging Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)**. Riau: Universitas Islam Negeri Sultan Kasim.
- Purwaningsih, I. 2012. **Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) Pada PT PG Rajawali II Unit PG Subang**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- PreConsultant. 2015. **All About SimaPro**. <URL: <https://www.pre-sustainability.com/>>
- PreConsultant. 2000. **Eco-Indicator 99 Manual for Designers**. Netherlands.
- Repele, M., *et al.* 2014. **Life Cycle Assessment of Biomethane Supply System Based on Natural Gas Infrastructure**. *Argonomy Research*, Vol. 12 (3): 999-1006.
- Riyanty, F. P. E. Dan Hariwiko, I. 2015. **Kajian Dampak Proses Pengolahan Air di IPA Siwalanpanji Terhadap Lingkungan Dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)**. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 4, No. 2, 2337-3539.
- Rubin, M. B. 2001. **The History of Ozone The Schonbein Period 1839-1868**. *Bull Hist Chem*, 26 (1): 71-76.

- Sagala, A. 2012. **Petunjuk Teknik Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Sektor Industri**. Jakarta: Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri.
- Samiaji, T. 2009. **Upaya Mengurangi CO₂ di Atmosfer**. Berita Dirgantara: Vol. 10, No. 3.
- Samiaji, T. 2011. **Gas CO₂ di Wilayah Indonesia**. Berita Dirgantara: Vol. 12, No. 2.
- Samperuru, D. 2007. **Dari Mana Datangnya Minyak Bumi**. Jakarta.
- Sari, L. O. *et al.* 2014. **Analisis Respon dan Sensitivitas Alat Deteksi Kadar Polutan Karbon Monoksida (CO) di Udara dengan Sensor TGS 26**. Jakarta: Vol. 5, No. 1.
- Shindell, D. T. *et al.* 2009. **Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions**. Science 326 (5953): 716 – 718.
- Sirait, M. 2016. **Potensi Dampak Lingkungan Pada Proses Produksi *Liquid Cristal Display* (LCD) Komputer**. Vol 4, No. 1: 40 – 48.
- Soesanto, S. S. 1995. **Gas Rumah Kaca**. Vol. V, No. 3.
- Sulistiyono. 2012. **Pemanasan Global (*Global Warming*) dan Hubungannya Dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil**. Jurnal Forum Teknologi, Vol. 2, No. 2: 47 – 56.
- Sumiyanti, H. R. 2006. **Aspek Hukum Kontrak Bagi Hasil (*Production Sharing Contract*) Dalam Pengusahaan Pertambangan Minyak dan Gas Bumi di Indonesia**. Samarinda: Universitas Mulawarman.
- Suprihatin, *et al.* 2008. **Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pengomposan Sampah**. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Susanti, I. *et al.* 2017. **Karakteristik Konsentrasi CH₄ (Metana) di Beberapa Kota besar dan Kota Kecil di**

- Indonesia.** Bandung: Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN.
- Turconi, R., *et al.* 2013. **Life Cycle Assessment (LCA) of Electricity Generation Technologies: Overview, Comparability and Limitations.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 555-565.
- Utina, R. 2015. **Pemanasan Global: Dampak dan Upaya Meminimalisasinya.** Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo, Vol. 3, No. 3: 1 – 11.
- Wardani, D. K. 2017. **Proses Eksplorasi dan Produksi Minyak Bumi.** Semarang.
- Watson, B. S. U. 2003. **Environmentally Friendly Food Processing.** Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England.
- Widowati dan Sutoyo. 2009. **Upaya Mengurangi Penipisan Lapisan Ozon.** Universitas Tribhuwana Tungadewi, Vol. 9, No. 2: 141 – 146.
- Wiwiek, S. 2012. **Kajian Mengenai Gas Nitrous Oxide (N₂O) Sebagai Salah Satu Gas Rumah Kaca yang Memiliki Potensi Besar Terhadap Pemanasan Global.**
- Zaenuri. 2011. **Dampak Pengoperasian Industri Terhadap Kualitas Udara dan Kebisingan di Kawasan Simungan Kota Semarang.** Universitas Negeri Semarang: Vol. 9, No.2.

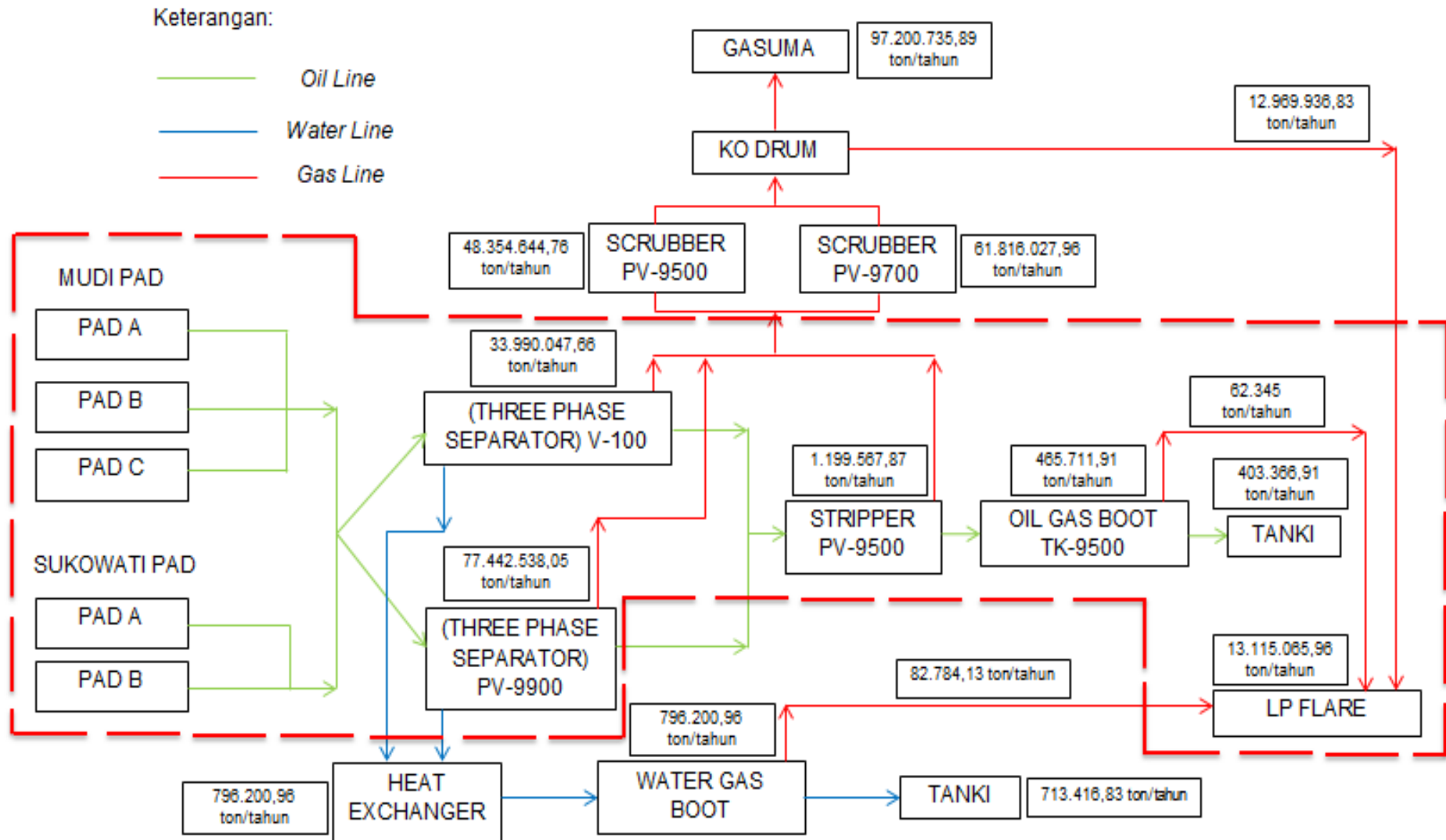
LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN I

Berikut dilampirkan *Process Flow Diagram* proses produksi minyak bumi yang dianalisis, serta kegiatan penunjang lainnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar L.I.1 Process Flow Diagram Produksi Minyak Bumi

Sumber: Pertamina EP Asset 4 Field Sukowati

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN II

Berikut dilampirkan hasil analisis LCA pada tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel L.II.1 Hasil Analisis Karakterisasi pada Proses Pengambilan Minyak Bumi

Impact category	Unit	Total	Crude Oil (ESP skw 12a)	Crude oil (ESP skw 15)	Crude Oil (ESP skw 25)	Crude Oil (ESP skw 32)	Crude Oil (ESP skw 34)
Fossil fuels	MJ surplus	79864024	10714240	11076903	33570732	11756134	12746016
Resp. inorganics	DALY	0,337	0,0633	0,0523	0,1015	0,0703	0,0494
Climate change	DALY	0,274	0,0514	0,0425	0,0824	0,0571	0,0401
Resp. organics	DALY	0,00104	0,000194	0,000161	0,000312	0,000216	0,000152
Ozone layer	DALY	4,62E-08	8,67E-09	7,17E-09	1,39E-08	9,64E-09	6,77E-09
Land use	PDF*m2yr	0	0	0	0	0	0

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.2 Hasil Analisis *Damage Assessment* pada Proses Pengambilan Minyak Bumi

Damage category	Unit	Total	Crude Oil (ESP skw 12a)	Crude oil (ESP skw 15)	Crude Oil (ESP skw 25)	Crude Oil (ESP skw 32)	Crude Oil (ESP skw 34)
Resources	MJ surplus	79864024	10714240	11076903	33570732	11756134	12746016
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	43945,57	8254,47	6826,26	13240,78	9179,61	6444,46
Human Health	DALY	0,644	0,121	0,100	0,194	0,135	0,094

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.3 Hasil Analisis Normalisasi pada Proses Pengambilan Minyak Bumi

Damage category	Unit	Total	Crude Oil (ESP skw 12a)	Crude oil (ESP skw 15)	Crude Oil (ESP skw 25)	Crude Oil (ESP skw 32)	Crude Oil (ESP skw 34)
Resources		10581,98	1419,64	1467,69	4448,12	1557,69	1688,85
Human Health		73,48	13,80	11,41	22,14	15,35	10,78
Ecosystem Quality		7,68	1,44	1,19	2,31	1,60	1,13

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.4 Hasil Analisis Pembobotan pada Proses Pengambilan Minyak Bumi

Damage category	Unit	Total	Crude Oil (ESP skw 12a)	Crude oil (ESP skw 15)	Crude Oil (ESP skw 25)	Crude Oil (ESP skw 32)	Crude Oil (ESP skw 34)
Total	MPt	2,149	0,290	0,299	0,899	0,318	0,343
Resources	MPt	2,116	0,284	0,294	0,890	0,312	0,338
Human Health	MPt	0,0294	0,00552	0,00457	0,00886	0,00614	0,00431
Ecosystem Quality	MPt	0,00307	0,000577	0,000477	0,000926	0,000642	0,000451

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.5 Hasil Analisis *Single Score* pada Proses Pengambilan Minyak Bumi

Damage category	Unit	Total	Crude Oil (ESP skw 12a)	Crude oil (ESP skw 15)	Crude Oil (ESP skw 25)	Crude Oil (ESP skw 32)	Crude Oil (ESP skw 34)
Total	MPt	2,149	0,290	0,299	0,899	0,318	0,343
Resources	MPt	2,116	0,284	0,294	0,890	0,312	0,338
Human Health	MPt	0,0294	0,00552	0,00457	0,00886	0,00614	0,00431
Ecosystem Quality	MPt	0,00307	0,000577	0,000477	0,000926	0,000642	0,000451

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.6 Hasil Analisis Karakterisasi pada Proses Produksi Minyak Bumi

Impact category	Fossil fuels	Resp. Inorganics	Climate change	Resp. Organics	Land use	Ozone layer
Unit	MJ surplus	DALY	DALY	DALY	PDF*m2yr	DALY
Oil (Separator V-100)	8,67E+08	5,32E-09	3,11E-06	1,32E-07	0,000135	2,58E-13
Gas (Separator V-100)	2,09E+11	1,29E-06	0,000753	3,19E-05	0,0326	6,22E-11
Water (Separator V-100)	1,10E+09	6,75E-09	3,95E-06	1,67E-07	0,000171	3,27E-13
Oil (Separator PV-9900)	1,64E+09	4,41E-09	3,87E-06	1,64E-07	0,000112	2,14E-13
Gas (Separator PV-9900)	4,76E+11	1,28E-06	0,001126	4,78E-05	0,0326	6,21E-11
Water (Separator PV-9900)	3,85E+09	1,04E-08	9,11E-06	3,87E-07	0,000264	5,02E-13
Oil (Stripper PV-9500)	5,11E+10	2,26E-07	0,000152	6,46E-06	0,00574	1,09E-11
Oil (Oil Gas Boot TK-900)	2,51E+09	1,19E-08	7,47E-06	3,17E-07	0,000302	5,77E-13
Excess Gas (LP Flare)	9,89E+10	1608,10	1197,85	6,38	1,29E-06	0,00269
Total	8,46E+11	1608,10	1197,85	6,38	0,0719	0,00269

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.7 Hasil Analisis *Damage Assessment* pada Proses Produksi Minyak Bumi

Damage category	Resources	Human Health	Ecosystem Quality
Unit	MJ surplus	PDF*m2yr	DALY
Oil (Separator V-100)	8,67E+08	0,000351	3,25E-06
Gas (Separator V-100)	2,09E+11	0,084858	0,000786
Water (Separator V-100)	1,10E+09	0,000445	4,13E-06
Oil (Separator PV-9900)	1,64E+09	0,000291	4,04E-06
Gas (Separator PV-9900)	4,76E+11	0,0847	0,00118
Water (Separator PV-9900)	3,85E+09	0,000685	9,51E-06
Oil (Stripper PV-9500)	5,11E+10	0,0149	0,000159
Oil (Oil Gas Boot TK-900)	2,51E+09	0,000786	7,80E-06
Excess Gas (LP Flare)	9,89E+10	80417499	2859,53
Total	8,46E+11	80417499	2859,53

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.8 Hasil Analisis Normalisasi pada Proses Produksi Minyak Bumi

Damage category	Resources	Human Health	Ecosystem Quality
Unit	-	-	-
Oil (Separator V-100)	114852,88	0,000371	6,14E-08
Gas (Separator V-100)	27752378	0,0897	1,48E-05
Water (Separator V-100)	145667,07	0,000471	7,79E-08
Oil (Separator PV-9900)	217002,51	0,000461	5,09E-08
Gas (Separator PV-9900)	63096671	0,134	1,48E-05
Water (Separator PV-9900)	510594,14	0,00109	1,20E-07
Oil (Stripper PV-9500)	6772644,40	0,0182	2,61E-06
Oil (Oil Gas Boot TK-900)	332105,25	0,000890	1,37E-07
Excess Gas (LP Flare)	13104904	326272,18	14056,98
Total	1,12E+08	326272,43	14056,98

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.9 Hasil Analisis Pembobotan pada Proses Produksi Minyak Bumi

Damage category	Resources	Human Health	Ecosystem Quality	Total
Unit	GPt	GPt	GPt	GPt
Oil (Separator V-100)	0,0230	1,48E-10	2,46E-14	0,0230
Gas (Separator V-100)	5,55	3,59E-08	5,93E-12	5,55
Water (Separator V-100)	0,0291	1,88E-10	3,11E-14	0,0291
Oil (Separator PV-9900)	0,0434	1,85E-10	2,04E-14	0,0434
Gas (Separator PV-9900)	12,62	5,37E-08	5,92E-12	12,62
Water (Separator PV-9900)	0,102	4,34E-10	4,79E-14	0,102
Oil (Stripper PV-9500)	1,35	7,26E-09	1,04E-12	1,35
Oil (Oil Gas Boot TK-900)	0,0664	3,56E-10	5,50E-14	0,0664
Excess Gas (LP Flare)	2,62	0,131	0,00562	2,76
Total	22,41	0,131	0,00562	22,55

Sumber: SimaPro 8.5.2

Tabel L.II.10 Hasil Analisis *Single Score* pada Proses Produksi Minyak Bumi

Damage category	Resources	Human Health	Ecosystem Quality	Total
Unit	GPt	GPt	GPt	GPt
Oil (Separator V-100)	0,0230	1,48E-10	2,46E-14	0,0230
Gas (Separator V-100)	5,55	3,59E-08	5,93E-12	5,55
Water (Separator V-100)	0,0291	1,88E-10	3,11E-14	0,0291
Oil (Separator PV-9900)	0,0434	1,85E-10	2,04E-14	0,0434
Gas (Separator PV-9900)	12,62	5,37E-08	5,92E-12	12,62
Water (Separator PV-9900)	0,102	4,34E-10	4,79E-14	0,102
Oil (Stripper PV-9500)	1,35	7,26E-09	1,04E-12	1,35
Oil (Oil Gas Boot TK-900)	0,0664	3,56E-10	5,50E-14	0,0664
Excess Gas (LP Flare)	2,62	0,131	0,00562	2,76
Total	22,41	0,131	0,00562	22,55

Sumber: SimaPro 8.5.2

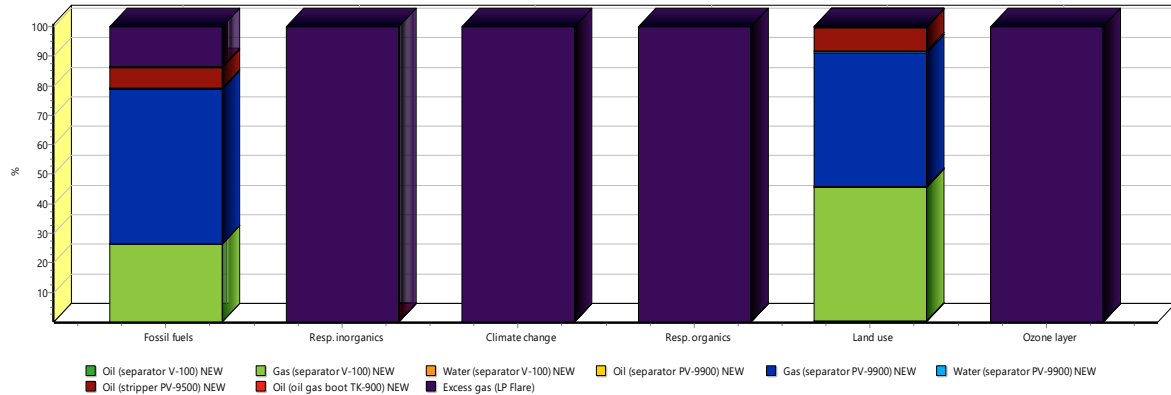
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN III

Berikut dilampirkan hasil analisis alternatif perbaikan dalam mereduksi dampak lingkungan, dengan metode LCA menggunakan *software* SimaPro 8.5.2.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

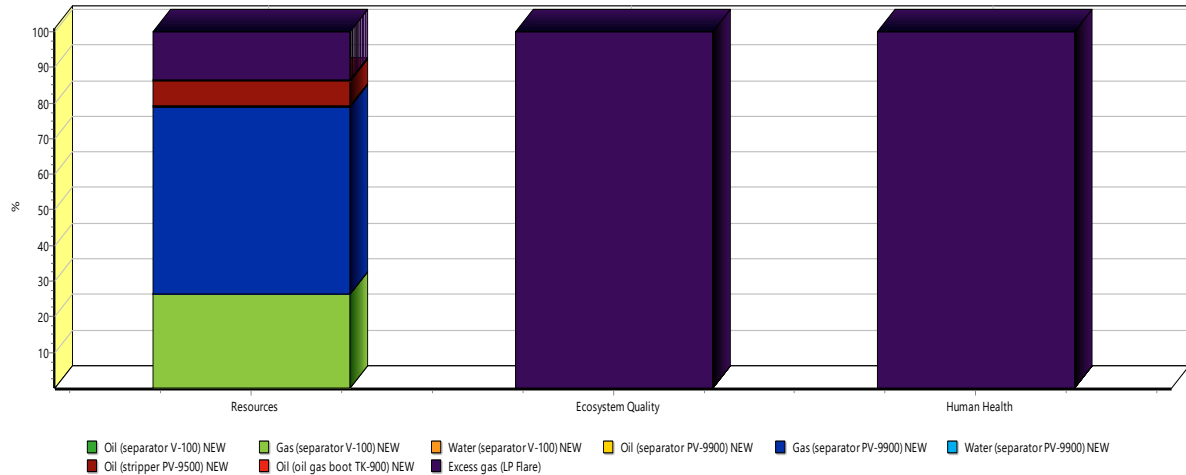
- **Sistem Produksi Minyak Bumi (*Power Plant dan Injection Produced Water*)**



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe E1 99 H/A / Characterization
 Analyzing 1 p "POWER PLANT AND INJECTION WATER";

Gambar L.III.1 Grafik Tahapan Karakterisasi Skenario I

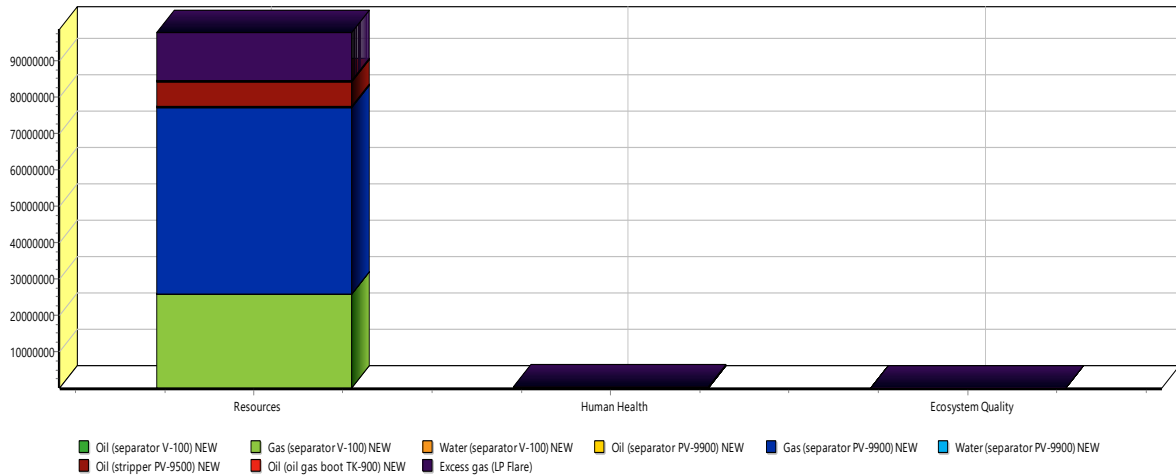
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A / Damage assessment
 Analyzing 1 p "POWER PLANT AND INJECTION WATER";

Gambar L.III.2 Grafik Tahapan *Damage Assessment* Skenario I

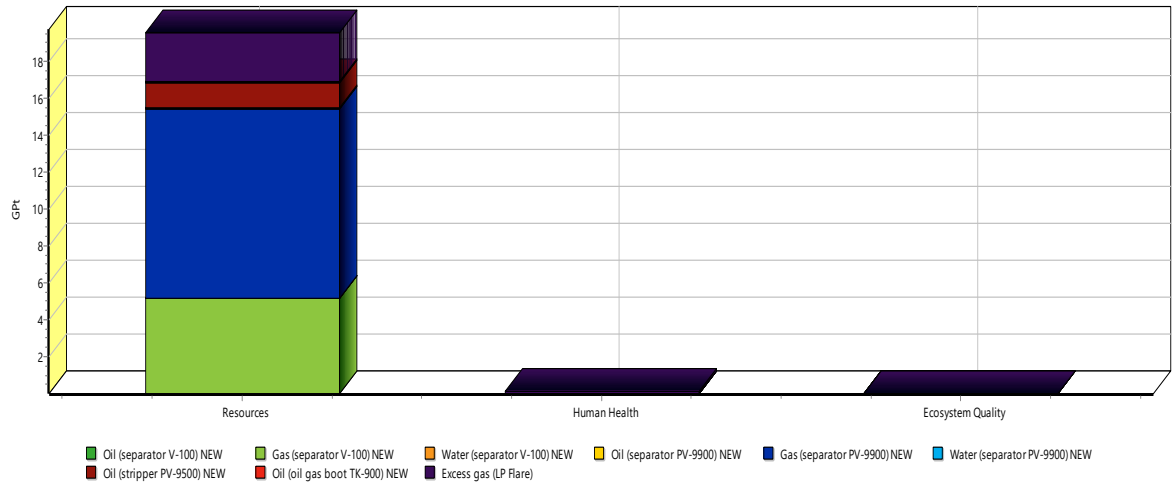
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe E1 99 H/A / Normalization
 Analyzing 1 p 'POWER PLANT AND INJECTION WATER';

Gambar L.III.3 Grafik Tahapan Normalisasi Skenario I

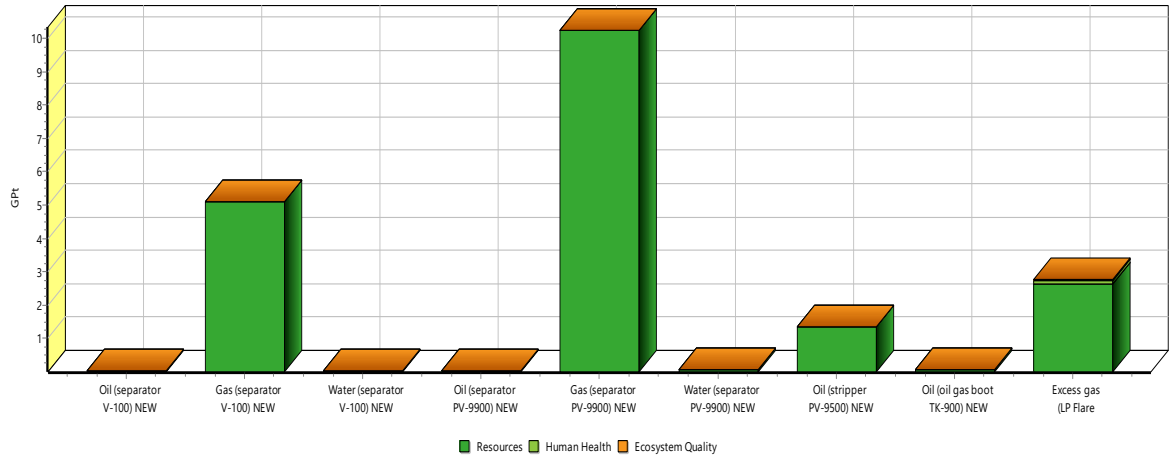
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A / Weighting
 Analyzing 1 p "POWER PLANT AND INJECTION WATER";

Gambar L.III.4 Grafik Tahapan Pembobotan Skenario I

Sumber: SimaPro 8.5.2

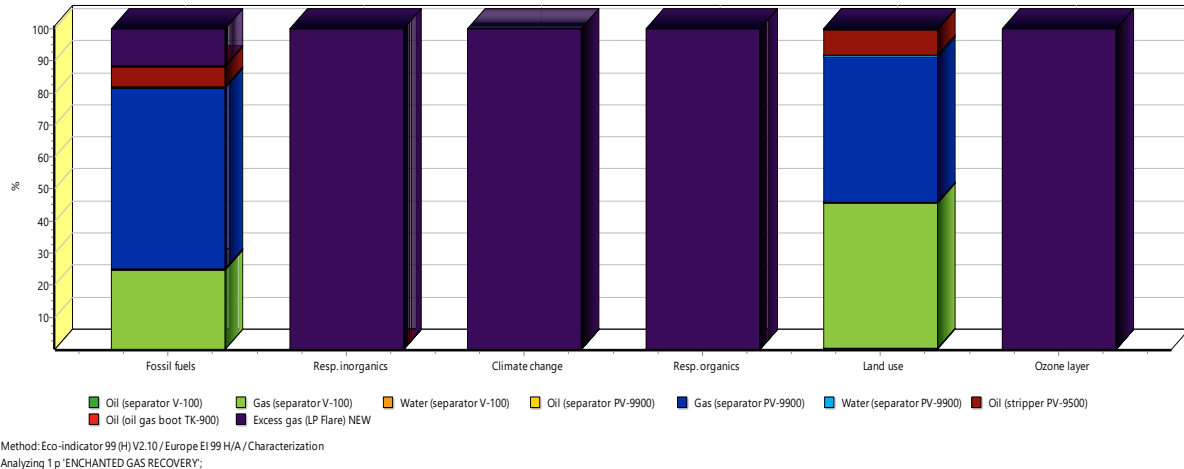


Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A / Single score
 Analyzing 1 p "POWER PLANT AND INJECTION WATER";

Gambar L.III.5 Grafik Tahapan *Single Score* Skenario I

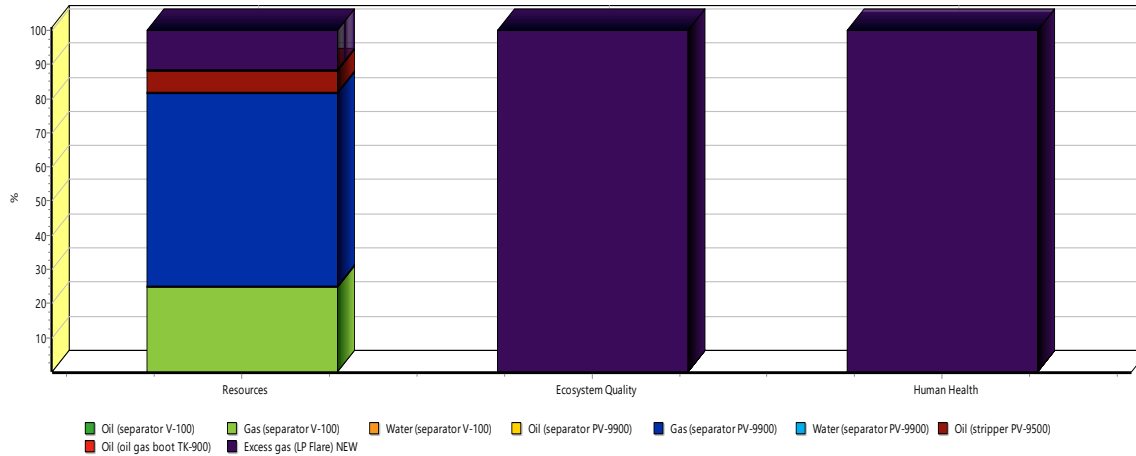
Sumber: SimaPro 8.5.2

- **Sistem Produksi Minyak Bumi (*Enchanted Gas Recovery*)**



Gambar L.III.6 Grafik Tahapan Karakterisasi Skenario II

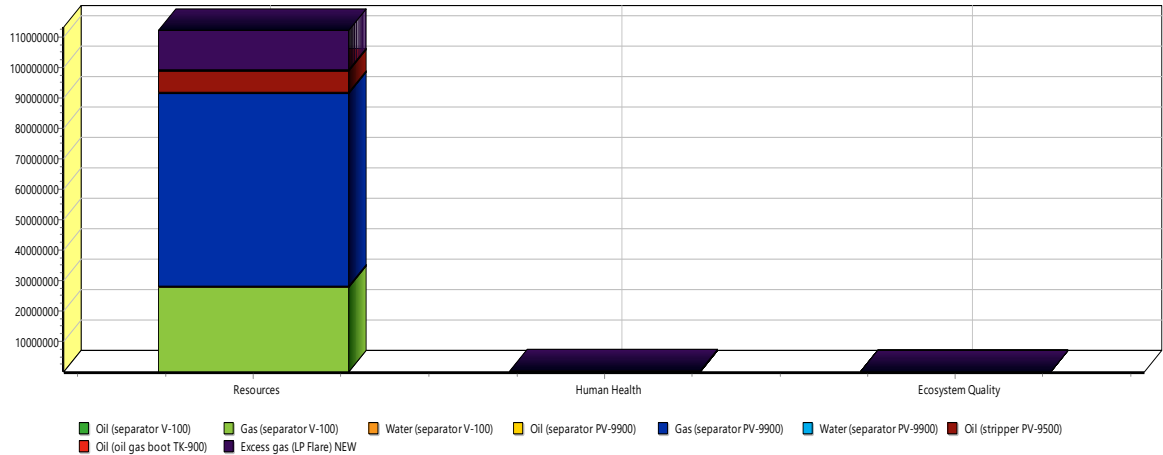
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A / Damage assessment
 Analyzing 1 p 'ENCHANTED GAS RECOVERY';

Gambar L.III.7 Grafik Tahapan *Damage Assessment* Skenario II

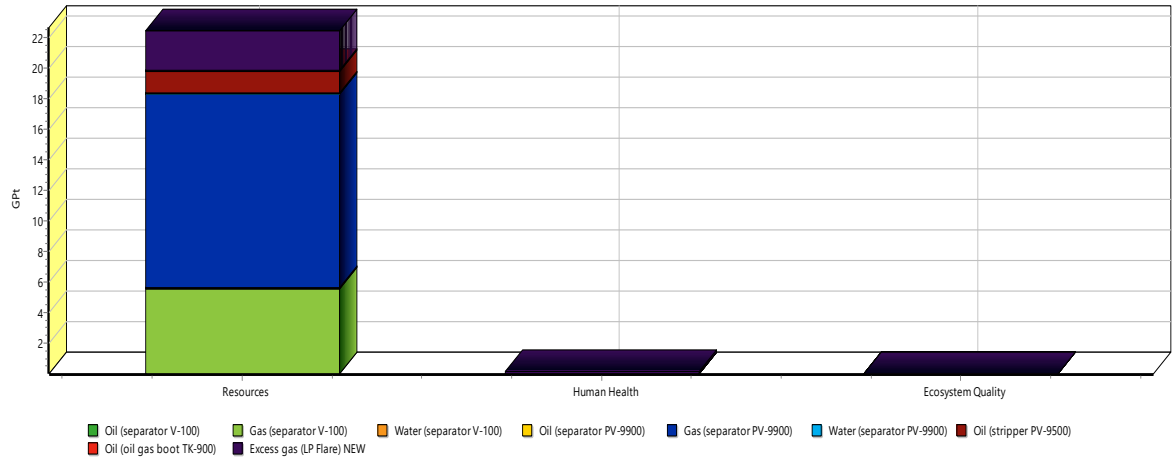
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe E199 H/A / Normalization
 Analyzing 1 p ENCHANTED GAS RECOVERY;

Gambar L.III.8 Grafik Tahapan Normalisasi Skenario II

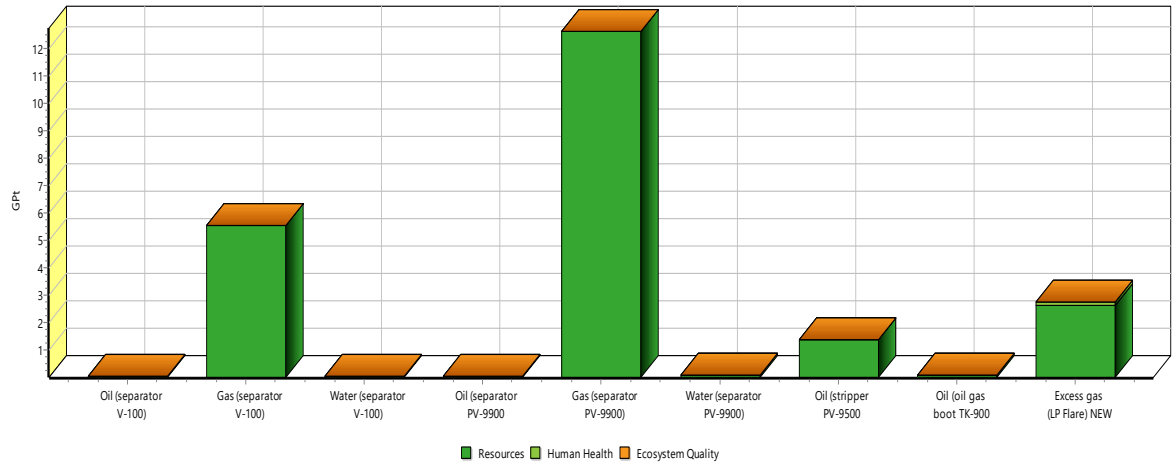
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe El 99 H/A / Weighting
 Analyzing 1 p' ENCHANTED GAS RECOVERY;

Gambar L.III.9 Grafik Tahapan Pembobotan Skenario II

Sumber: SimaPro 8.5.2

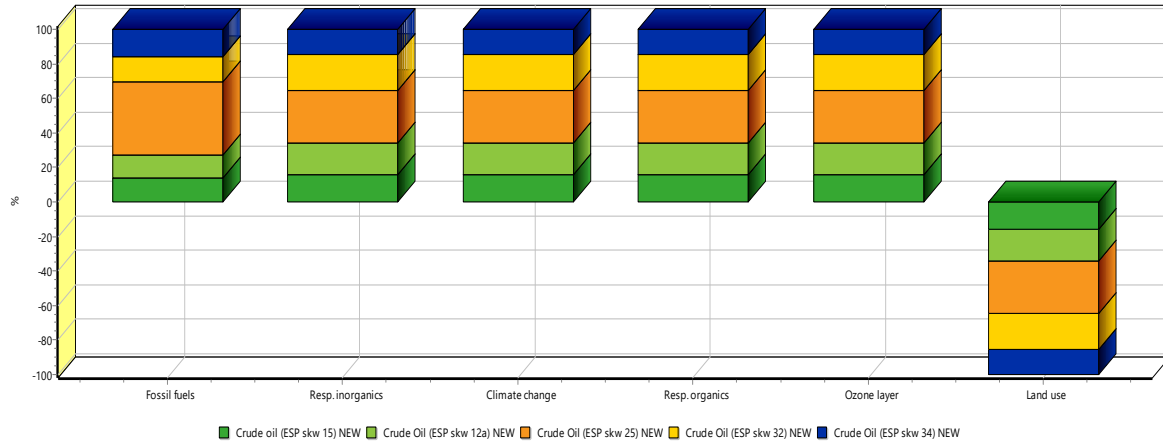


Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A / Single score
 Analyzing 1 p ENCHANTED GAS RECOVERY;

Gambar L.III.10 Grafik Tahapan *Single Score* Skenario II

Sumber: SimaPro 8.5.2

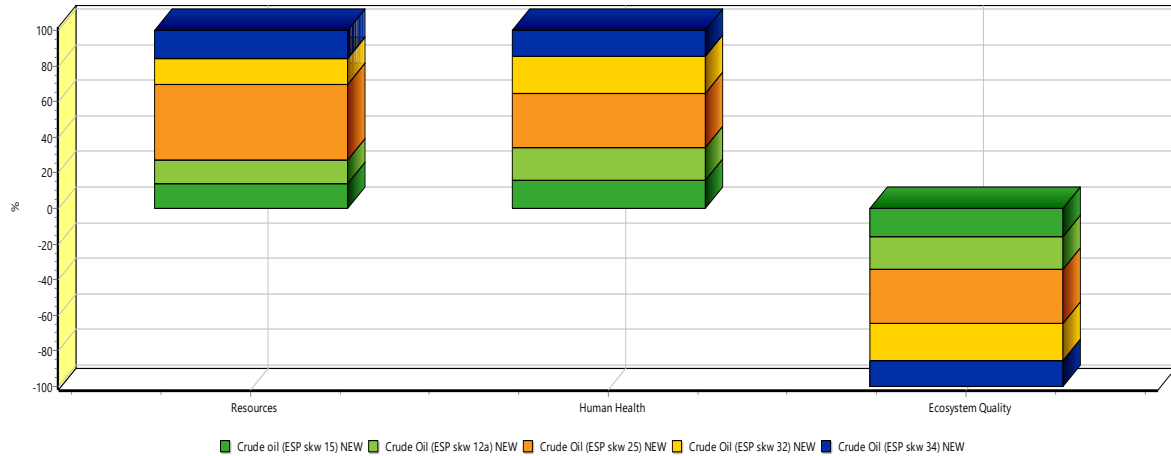
- **Sistem Pengambilan Minyak Bumi (*Biodiesel Fuel*)**



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe E199 H/A / Characterization
 Analyzing 1 p "BIODIESEL";

Gambar L.III.1 Grafik Tahapan Karakterisasi Skenario II

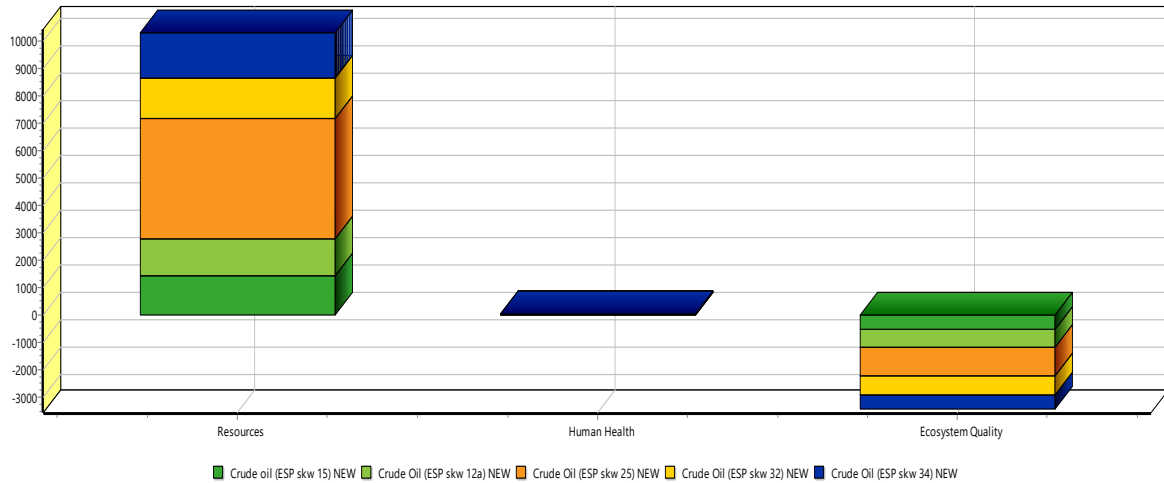
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe E199 H/A / Damage assessment
 Analyzing 1 p "BIODIESEL";

Gambar L.III.2 Grafik Tahapan *Damage Assessment* Skenario II

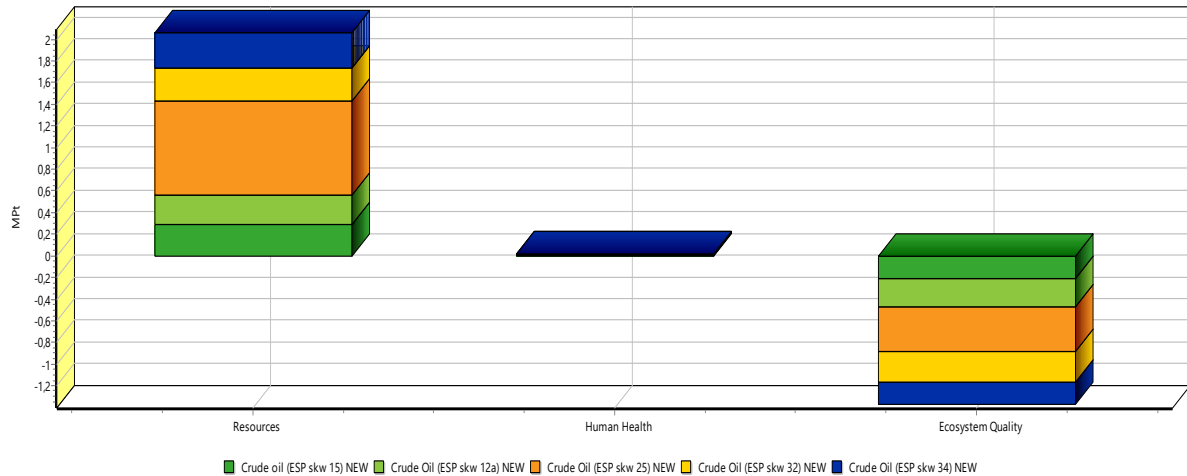
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe E1 99 H/A / Normalization
 Analyzing 1 p "BIODIESEL";

Gambar L.III.3 Grafik Tahapan Normalisasi Skenario II

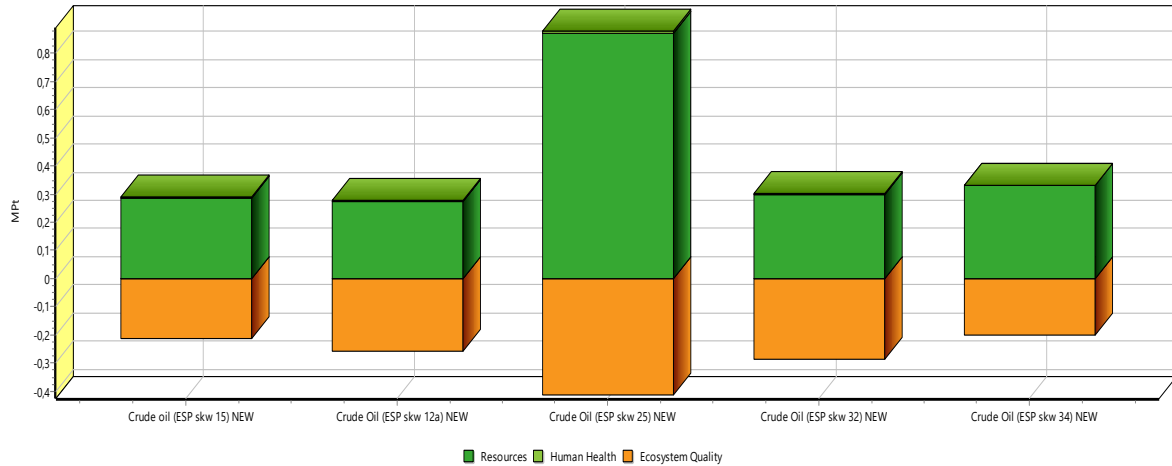
Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A / Weighting
 Analyzing 1 p 'BIODIESEL';

Gambar L.III.4 Grafik Tahapan Pembobotan Skenario II

Sumber: SimaPro 8.5.2



Method: Eco-indicator 99 (H) V2.10 / Europe EI 99 H/A / Single score
 Analyzing 1 p 'BIODIESEL';

Gambar L.III.5 Grafik Tahapan *Single Score* Skenario II

Sumber: SimaPro 8.5.2

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Sri Sulistyawati lahir pada tanggal 08 September 1997 di Ternate, Maluku Utara. Semasa hidupnya penulis menetap di Ternate, Maluku Utara. Pasangan dari Hariyanto Batjo dan Suharti Arief ini memulai pendidikan formalnya di SD Pertiwi I Kecamatan Kota Ternate Tengah. Dilanjutkan di SMPN 4 Kota Kota Ternate, dan SMAN 8 Kota Ternate hingga akhirnya duduk di bangku kuliah pada jurusan Teknik Lingkungan FTSLK di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama perkuliahan penulis aktif di bidang kemahasiswaan yang bergerak dalam bidang bahasa inggris yaitu *Environmental Engineering English Club* (EEEC), tercatat penulis sudah aktif sebagai pengurus pada tahun 2016. Dalam EEEEC penulis menjadi *staff* pada bidang *multimedia* selama satu tahun mulai dari 2016 hingga 2017. Pada tahun berikutnya di amanahkan sebagai kepala bidang *relation and branding* dimulai pada tahun 2017 hingga 2018. Penulis dapat dihubungi melalui email: ssulistywt@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”