



TUGAS AKHIR - RE 184804

**KAJIAN DAMPAK PROSES PUSAT LISTRIK
TENAGA DIESEL DAN GAS (PLTDG) INDONESIA
POWER BALI PESANGGARAN TERHADAP
LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE
LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)**

**Gede Arya Mega Nugraha
0321154000096**

**Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR

**KAJIAN DAMPAK PROSES PUSAT LISTRIK TENAGA
DIESEL DAN GAS (PLTDG) INDONESIA POWER BALI
PESANGGARAN TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN
MENGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT
(LCA)**

GEDE ARYA MEGA NUGRAHA
0321154000096

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT

**STUDY OF THE IMPACT OF DIESEL AND GAS POWER
PLANT PROCESS AT PT. INDONESIA POWER
PESANGGARAN ON ENVIRONMENT USING *LIFE
CYCLE ASSESSMENT (LCA)***

GEDE ARYA MEGA NUGRAHA
0321154000096

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.

Departement of Environmental Engineering
Faculty of Civil, Engineering Planning and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institut Technology
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJIAN DAMPAK PROSES PUSAT LISTRIK TENAGA DIESEL DAN GAS
(PLTDG) INDONESIA POWER BALI PESANGGARAN TERHADAP
LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE
ASSESSMENT (LCA)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Gede Arya Mega Nugraha
NRP. 0321154000096

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.
NIP. 19660166 199703 1 001

Surabaya
Agustus, 2020



KAJIAN DAMPAK PROSES PUSAT LISTRIK TENAGA DIESEL DAN GAS (PLTDG) INDONESIA POWER BALI PESANGGARANTERHADAP LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESMENT (LCA)

Nama Mahasiswa : Gede Arya Mega Nugraha
NRP : 0321154000096
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.

ABSTRAK

Kegiatan proses produksi energi listrik dengan menggunakan bahan bakar *Liquid Natural Gas* (LNG) dan *High Speed Diesel* (HSD) digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator menghasilkan listrik. Beberapa unit proses kegiatan menghasilkan emisi yang dapat menimbulkan dampak lingkungan. Emisi yang dihasilkan antara lain CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, dan *Particulate Matter* (PM). Emisi tersebut berpotensi meningkatkan pemanasan global dan penurunan kualitas udara yang berdampak pada lingkungan dan manusia, oleh karena itu diperlukan perhitungan beban emisi yang dihasilkan dari proses produksi listrik, menganalisis dampak yang ditimbulkan dari proses produksi listrik dan memberikan alternatif untuk mengurangi dampak yang dihasilkan terhadap lingkungan.

Penelitian ini mengidentifikasi dampak yang terjadi dari kegiatan produksi listrik di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengevaluasi dan membandingkan dampak lingkungan dari suatu produk. Identifikasi dampak lingkungan tersebut dilakukan dengan menggunakan *software* SimaPro 9.0.0. Adapun unit proses kegiatan produksi listrik yang dianalisis meliputi *LNG tank*, *HSD tank*, *Water tank*, turbin dan generator.

Hasil perhitungan beban emisi didapatkan pada proses produksi unit turbin dan generator PLTDG PT. Indoneisa Power Pesanggaran yaitu sebesar 467.556.162 kgCO₂/tahun, 21.764,33 kgCH₄/tahun, 4.352,86 kgN₂O/tahun, 131.216 kgSO_x/tahun, 68.215 kgNO_x/tahun. Sedangkan analisis pada SimaPro 9.0.0 menggunakan metode *Eco Indicator 99* menghasilkan besarnya dampak lingkungan yang terjadi dari kegiatan yang dianalisis seperti *human health* sebesar 124 DALY, *ecosystem quality* sebesar 7,95 x 10⁵ PDF.m².year dan untuk kategori *resources* sebesar 2.86 x10⁷ MJ *surplus*. Unit yang memiliki dampak terbesar dalam analisis ini adalah turbin dan generator yang memiliki nilai dampak sebesar 6,49 MPt. Setelah diketahui dampaknya maka dilakukan analisa alternative yang dapat digunakan pada masing-masing kegiatan. Alternative perbaikan yang dapat diterapkan pada PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran ada 2 yaitu substitusi biodiesel sebagai pengganti energi fosil untuk bahan bakar, penambahan alat berupa moving bed pada turbin dan generator. Alternatif ini dapat menurunkan dampak yang terjadi pada proses produksi listrik di PT. Indonesia Power Pesanggaran.

Kata kunci: Dampak lingkungan, Eco Indicator 99, LCA, SimaPro 9.0.0

STUDY OF THE IMPACT OF DIESEL AND GAS POWER PLANT PROCESS AT PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN ON ENVIRONMENT USING *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA)

Nama Mahasiswa : Gede Arya Mega Nugraha
NRP : 0321154000096
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, M.T.

ABSTRACT

The activity process to create electricity power by using Liquid Natural Gas (LNG) and High-Speed Diesel (HSD) is being used to move turbine and generator that generate electricity. There are several unit's activities that produce emissions that can cause impacts to environment. The result of this cause, emissions produce CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, dan *Particulate Matter* (PM). However, these emissions have the potential to increase global warming and decreased air quality that will give an impact to the environment and mankind. Therefore, it is necessary to calculate the emission load that give result from the electricity production process; on the other hand, analyze the impact of the electricity production process can give alternative to reduce negative effect to the environment.

This study identifies the impact that occurs from the electricity production activities at PLTDG PT. Indonesia Pesanggaran uses Life Cycle Assessment (LCA) method to approach. LCA is an analytical method used to evaluate and compare the environmental impact of a product. In order to identified the cause to the environment, SimaPro 9.0.0 is the software to use. The power production activity process unit analyzed include LNG tanks, HSD tanks, water tanks, turbines, and generator.

The results of the calculation of the emission load are obtained in production process of turbine and generator unit of PLTDG PT. Indonesia Power Persanggaran around 467.556.162 kgCO₂/year, 21.764,33 kgCH₄/year, 4.352,86 kgN₂O/year, 131.216 kgSO_x/year, 68.215 kgNO_x/year. Meanwhile, the analysis

on SimaPro 9.0.0 is using Eco Indicator 99 method, it gave a result in magnitude of the environmental impact that occurred from activities analyzed such as human health as much as 124 DALY, ecosystem quality of 7.95×10^5 pdf.m2. year and for the resource category of 2.86×10^7 MJ surplus. The unit that have the greatest influence in analysis are the turbine and generator, which have value over 6.49 MPt. After knowing what it capable, an alternative analysis is carried out that can be used in each activity. There is a couple of alternative remedy that can be applied to PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran which are, biodiesel substitution as substitute for fossil energy fuel and adding tools in the form of moving beds on turbine and generator. This alternative can reduce the impact that occurs in the electricity production process at PT. Indonesia Power Pesanggaran.

Kata kunci: Environmental Impact, Eco Indicator 99, LCA, SimaPro 9.0.0

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa, karena berkat limpahan Kebaikan dan Kekuatan yang telah diberikan penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Kajian Dampak Proses Pusat Listrik Tenaga Diesel dan Gas (PLTDG) di PT. Indonesia Power Pesanggaran Terhadap Lingkungan Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA) ini dengan tepat waktu. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat penulis menyelesaikan pendidikan sarjana di Departemen Teknik Lingkungan ITS. Dalam Kesempatan ini, penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir. Terima kasih atas ilmu, bimbingan, kesabaran, kebaikan dan motivasi yang telah diberikan selama ini.
2. Bapak Abdu Assomadi, S.Si., MT., Ibu Bieby Vojiant Tangahu, ST., MT., PhD., Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc., Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, ST., MPEM, Ibu IDAA Warmadewanthi, ST., MT., PhD selaku dosen pengarah. Terima kasih atas arahan, kritik dan saran yang telah diberikan.
3. Orang tua serta keluarga yang telah mendoakan serta memberikan dukungan dan motivasi sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
4. Teman – teman sesama dosen pembimbing yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Sahabat- sahabat penulis yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dikemudian hari.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Proses Produksi	5
2.2 Pencemaran	5
2.3 Pencemaran Udara	6
2.4 Zat Pencemar Udara	8
2.5 Dampak Pencemaran Udara	9
2.6 Sumber Emisi	10
2.6.1. Sulfur Dioksida	11
2.6.2. Karbon Monoksida	12
2.6.3. Karbon Dioksida (CO ₂)	14
2.6.4. Nitrogen Dioksida (NO _x)	15
2.6.5. Hidrokarbon (HC)	17
2.6.6. Particulate Matter (PM)	17
2.7. Pemanasan Global	18
2.8. Gas Rumah Kaca	19
2.9. Asbut atau Smog	19
2.10. <i>Life Cycle Assesment</i> (LCA)	21
2.11. Simapro 8.5.2	22
2.12. Metode Eco-Indicator 99	24
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Pendahuluan	25
3.2 Kerangka Penelitian	25
3.3 Tahap Pendahuluan	27

3.4 Tahap Pengumpulan Data	27
3.5 Tahap Pengolahan Data	28
3.5.1 Analisis Beban Emisi	28
3.5.2 Analisis Life Cycle Assessment dengan Aplikasi SimaPro	31
3.5.3 Analisis Alternatif yang Direkomendasikan	36
3.6 Kesimpulan dan Saran.....	37
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Analisis Perhitungan Beban Emisi	39
4.1.1 Data Bahan Baku Produksi	39
4.1.2 Perhitungan Beban Emisi	39
4.1.3 Emisi yang dihasilkan dalam 1 KWh listrik	46
4.2 Analisis <i>Life Cycle Assessment</i>	48
4.2.1 Penentuan Goal and Scope	49
4.2.2 Penentuan <i>Life Cycle Inventory</i>	50
4.2.3 Penentuan <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	52
4.2.4 Interpretasi Analisis <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	59
4.2.5 Evaluasi <i>Life Cycle Assessment</i>	60
4.3 Alternatif Perbaikan	63
4.3.1 Skenario Alternatif Perbaikan.....	64
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran.....	67
 DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN-LAMPIRAN	73

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data-Data yang Diperlukan	27
Tabel 4.1	Faktor Emisi CO ₂ , CH ₄ , dan N ₂ O.....	41
Tabel 4.2	Perhitungan Beban Emisi CO ₂ , CH ₄ , dan N ₂ O.....	43
Tabel 4.3	Data Pengukuran Manual Parameter SO _x , NO _x , dan partikulat	44
Tabel 4.4	Perhitungan Beban Emisi SO _x , NO _x , dan Partikulat .	46
Tabel 4.5	Emisi yang dihasilkan per 1 kWh produk listrik	47
Tabel 4.6	Perhitungan Normalisasi	61
Tabel 4.7	Analisis Sensitivitas	62
Tabel 4.8	Analisis Signifikansi	62
Tabel 4.9	Perbandingan Dampak Lingkungan antara Sebelum dan Sesudah Alternatif Perbaikan Skenario I.....	64
Tabel 4.10	Perbandingan Dampak Lingkungan antara Sebelum dan Sesudah Alternatif Perbaikan Skenario II.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagan Alir Tahapan LCA	22
Gambar 3.1.	Kerangka Penelitian	26
Gambar 3.2	PFD Indonesia Power Pesanggaran Bali.....	30
Gambar 3.3	Project Baru di Simapro	31
Gambar 3.4	Penentuan Goal and Scope	32
Gambar 3.5	Langkah Awal Inventarisasi	32
Gambar 3.6	Memasukkan Data Inventori	33
Gambar 3.7	Memberi Nama Product Stage.....	33
Gambar 3.8	Memasukkan data inventori	34
Gambar 3.9	Memasukkan data inventori	35
Gambar 3.10	Analisis Simapro	35
Gambar 4.1	Mass Balance PT. Indonesia Power Pesanggaran	40
Gambar 4.2	Benchmarking Intensitas Emisi PT. Indonesia Power Pesanggaran.....	48
Gambar 4.3	Proses Produksi Listrik PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran.....	49
Gambar 4.4	Mass Balance LNG Tank	50
Gambar 4.5	Mass Balance HSD Tank	50
Gambar 4.6	Mass Balance Water Tank	51
Gambar 4.7	Mass Balance Turbin dan Generator	51
Gambar 4.8	Diagram Karakterisasi Proses Produksi Listrik ...	53
Gambar 4.9	Diagram Damage Assessment Proses Produksi Listrik	54
Gambar 4.10	Diagram Normalisasi Proses Produksi Listrik	56
Gambar 4.11	Diagram Pembobotan Proses Produksi Listrik...	57
Gambar 4.12	Diagram Single Score Proses Produksi Listrik....	58
Gambar 4.13	Diagram Perhitungan Normalisasi.....	61

Halaman sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik terbukti menjadi sebuah bagian utama bagi kelangsungan hidup manusia. Dalam waktu yang akan datang kebutuhan listrik akan meningkat seiring dengan adanya peningkatan dan perkembangan baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi yang meningkat dan memunculkan industri-industri yang baru. Seiring dengan perkembangan tersebut, penyediaan energy listrik sangat dibutuhkan.

PT. Indonesia Power Pesanggaran Bali merupakan salah satu Unit Pembangkit yang ada di Bali dengan kapasitas terpasang 557 MW. Produksi listrik dari PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran menggunakan bahan bakar utama yaitu *Liquid Natural Gas* (LNG) dan *High Speed Diesel* (HSD). Volume LNG yang digunakan sebesar 183.050 ton dan volume HSD yang digunakan sebesar 3461 ton pada tahun 2019. Di sisi lain, terdapat dampak yang perlu diperhatikan dengan adanya produksi listrik dari PLTDG. Semakin meningkatnya penggunaan LNG dan HSD akan menyebabkan semakin meningkat pula emisi polutan yang dihasilkan seperti SO_2 , NO_x dan partikel yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan, serta emisi gas rumah kaca CO_2 , yang berdampak pada pemanasan global (Suarna, 2011).

Hasil pengambilan data emisi gas buang dari peralatan CEMS (Continuous Emission Monitoring System) di PLTDG Unit 1 dengan menggunakan bahan bakar LNG dan HSD pada beban tertinggi (100%) adalah Sulfur Dioksida (SO_2) sebesar 131.49 mg/Nm³ (Sukadana, 2017). Gas SO_2 merupakan salah satu gas rumah kaca (GRK). Tingginya kadar SO_2 di udara juga merupakan penyebab terjadinya hujan asam. Indonesia menargetkan penurunan emisi GRK agar dapat mencapai sebesar 26% dari tingkat business as usual (BaU) dengan usaha sendiri yang akan dicapai pada tahun 2020 atau 41% apabila mendapat dukungan internasional. Hal tersebut didukung oleh Peraturan Presiden No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) dan

Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional.

Berdasarkan kondisi di atas, emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara yang dihasilkan, maka perlu dilakukan sebuah strategi alternative untuk menghasilkan produk ramah lingkungan. Konsep produk ramah lingkungan bertujuan meningkatkan kualitas hidup dengan mengurangi dampak lingkungan, pemakaian sumberdaya melalui daur hidup (life cycle) dan mengetahui tingkat sustainability suatu produk (Palupi, et al, 2014). Salah satu metode 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 semua 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). Pada pelaksanaannya digunakan software SimaPro 9.0.0 yang biasa dipakai sebagai perangkat untuk menganalisis penghematan energy dan pengurangan emisi gas rumahkaca, audit energy dan lingkungan global yang berfokus pada siklus hidup suatu produk, serta efisiensi penggunaan sumberdaya berupa tanah, air, energy dan sumberdaya alam lainnya. LCA juga dapat digunakan untuk menentukan potensi pemanasan global dari setiap proses pemanfaatan biomasa (Rosmeika, et al, 2010).

Setelah mengetahui emisi yang dihasilkan dari setiap proses produksi, dipilih satu proses yang menimbulkan emisi terbesar pada LCA. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar dampak yang dihasilkan dan penanganan apa saja yang dapat dilakukan guna mereduksi dampak dari produksi listrik. Dengan demikian, alternatif perbaikan yang dibuat berdasarkan analisis LCA ini diharapkan dapat mengurangi potensi dampak yang terjadi dari proses produksi listrik pada PLTDG Indonesia Power Bali Pesangaran.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa beban emisi yang dihasilkan pada proses Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dan Gas (PLTDG) Indonesia Power Bali Pesanggaran?
2. Bagaimana dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan produksi listrik melalui pendekatan LCA?
3. Alternatif apa yang dapat dilakukanguna mereduksi emisi yang dihasilkan dari proses produksi listrik?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan beban emisi yang dihasilkan dari beberapa proses kegiatan pembangkit listrik tenaga Diesel dan Gas (PLTDG) Indonesia Power Bali Pesanggaran.
2. Menganalisis dampak lingkungan yang timbul menggunakan metode LCA.
3. Menganalisis alternatif yang dapat dilakukan guna mereduksi emisi dari hasil penelitian.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan dari setiap tahap proses produksi listrik.
2. Memberikan solusi berupa alternatif-alternatif dalam mereduksi emisi berdasarkan dari hasil analisis LCA.
3. Sebagai bahan evaluasi perusahaan dalam menganalisa aktivitas proses produksi yang ramah lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Pengambilan data dilakukan pada PLTDG Indonesia Power Bali Pesanggaran.
2. Data yang digunakan berupa data sekunder yang berasal dari perusahaan.
3. Lingkup analisis sistem proses adalah gate to gate, dimulai dari penyimpanan bahan bakar sampai dengan pembangkit generator.

4. Proses Analisis *life cycle assesment* menggunakan program SimaPro 9.0.0.
5. Life cycle impact assesment (LCIA) adalah Ecosystem Quality, Resources dan Human Health.
6. Indikator emisi yang dianalisis yaitu karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan nitrogen dioksida (N_2O) sebagai emisi gas rumah kaca, sedangkan untuk indikator pencemar udara menggunakan parameter SO_x , NO_x , dan PM
7. Metode yang digunakan dalam menjalankan SimaPro 9.0.0 yaitu Eco Indicator 99.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Produksi

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah Pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (prime mover). Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator.

Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Pada mesin Diesel Energi Bahan bakar diubah menjadi energi mekanik dengan proses pembakaran di dalam mesin itu sendiri. Yang dimaksud dengan Unit PLTD adalah kesatuan peralatan-peralatan utama dan alat-alat bantu serta perlengkapannya yang tersusun dalam hubungan kerja, membentuk sistem untuk mengubah energi yang terkandung didalam bahan bakar minyak menjadi tenaga mekanis dengan menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utamanya dan seterusnya tenaga mekanis tersebut oleh generator diubah menjadi tenaga listrik (Wijana dkk, 2016).

Mesin diesel termasuk mesin dengan pembakaran dalam atau disebut dengan motor bakar ditinjau dari cara memperoleh energi termalnya. Untuk membangkitkan listrik sebuah generator menggunakan generator dengan sistem penggerak tenaga diesel atau yang biasa dikenal dengan sebutan genset (Generator Set).

2.2. Pencemaran

Menurut Peraturan Pemerintah RI no 41 Tahun 1999, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, atau energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ketinggian tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya (Sekretariat Negara Republik Indonesia, 1999). Pada kamus Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), padanan kata pencemaran adalah polusi yang dimaknai dengan pengotoran (tentang air, udara, dan sebagainya). Selanjutnya, Menurut Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup NO.02/MENKLH/I/1988 yang dimaksud

dengan polusi atau pencemaran air dan udara adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air/udara atau berubahnya tatanan (komposisi) air/udara oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air/udara turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air/udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Fardiaz, 1992).

Dengan semakin meningkatnya perkembangan industri, baik industri migas, pertanian, maupun industri non-migas lainnya, maka semakin meningkat pula tingkat pencemaran pada perairan, udara dan tanah yang disebabkan oleh hasil buangan industri-industri tersebut. Semakin meningkatnya kebutuhan manusia maka semakin banyak kebutuhan ekonomi yang dibutuhkan. Dengan adanya lapangan pekerjaan berupa industri-industri yang sangat banyak sekali dibangun di Indonesia ini, maka semakin luas juga peluang usaha dan semakin luas pula polusi yang dihasilkan oleh industri-industri tersebut. Untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh perkembangan industri tersebut perlu dilakukan upaya pengendalian pencemaran lingkungan dengan menetapkan baku mutu lingkungan, termasuk baku mutu air pada sumber air, baku mutu limbah cair, baku mutu udara ambien, baku mutu udara emisi, baku mutu air laut, dan sebagainya.

2.3. Pencemaran Udara

Menurut Astuti (2018), polusi adalah masalah yang berbahaya bagi aktivitas kehidupan manusia baik di dalam maupun di luar ruangan. Polusi udara memiliki implikasi negatif bagi kesehatan manusia secara umum. Terdapat beberapa unsur pencemar yang dapat mengakibatkan dampak negatif bagi kesehatan dan mempengaruhi keseimbangan udara normal. Beberapa gas tersebut antara lain *Sulfur dioksida* (SO_2), *Carbon monoksida* (CO), *Particulat Matter*, *Hidrocarbon* (HC), *Nitrogen dioksida* (NO_2), *Photochemical Oxidant*, Timah (Pb), Ozon dan *Volatile Organic Compound* (VOC)(Ali, 2007).

Untuk menghindari terjadinya pencemaran udara di lingkungan ditetapkan baku mutu udara yang dapat dibedakan atas baku mutu udara ambien dan baku mutu udara emisi. Baku mutu udara ambien adalah batas kadar yang diperoleh bagi

zat atau bahan pencemar terdapat di udara, namun tidak menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup, tumbuh-tumbuhan dan atau benda. Baku mutu udara emisi adalah batas kadar yang diperbolehkan bagi zat atau bahan pencemar untuk dikeluarkan dari sumber pencemaran ke udara, sehingga tidak mengakibatkan dilampauinya baku mutu udara ambien (Fardiaz, 1992).

Penyebab atau asal pencemar dalam dedefinisikan pada Undang-Undang Nomor 23 tahun 1997 pasal 1 ayat 12 mengenai Pencemaran Lingkungan. Bahwa pencemaran udara disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pencemaran yang berasal dari pabrik, kendaraan bermotor, pembakaran sampah, sisa pertanian, dan peristiwa alam seperti kebakaran hutan, letusan gunung api yang mengeluarkan debu, gas, dan awan panas.

Sedangkan Pencemaran Udara Menurut para ahli dijelaskan sebagai berikut. Menurut Parker (1981 dalam Wiharja, 2002), pencemaran udara adalah perubahan atmosfer oleh karena masuknya bahan kontaminan alami atau buatan ke dalam atmosfer tersebut. Selanjutnya, Mukono (2003) dengan lebih rinci menyatakan bahwa pencemaran udara adalah bertambahnya bahan atau substrat fisik/kimia ke dalam lingkungan udara normal yang mencapai jumlah tertentu, sehingga dapat dideteksi oleh manusia (atau yang dapat dihitung dan diukur) serta dapat memberikan efek pada manusia, binatang, vegetasi, dan material.

Asal pencemaran udara dapat diterangkan dengan tiga proses yaitu atrisi, penguapan dan pembakaran. Dari ketiga proses pencemaran udara tersebut, pembakaran merupakan proses yang sangat dominan dalam kemampuannya menimbulkan bahan polutan. Bahan pencemar udara atau polutan terbagi atas dua bagian, yaitu polutan primer dan polutan sekunder. Polutan Primer ialah polutan yang dikeluarkan langsung dari sumber tertentu dan dapat berupa gas yang terdiri dari senyawa karbon, senyawa sulfur, senyawa nitrogen dan senyawa halogen. Polutan Sekunder biasanya terjadi karena reaksi dari dua atau lebih bahan kimia di udara, misalnya reaksi foto kimia. Polutan sekunder ini mempunyai sifat kimia dan sifat fisik yang tidak stabil. Yang termasuk dalam polutan sekunder ini adalah ozon, peroxy acyl nitrat dan formaldehid.

Pencemaran udara dapat disebabkan oleh faktor alam/alami yaitu aktifitas alam disekitar kita seperti aktifitas gunung berapi yang mengeluarkan abu dan gas vulkanik, Kebakaran hutan, Dan kegiatan mikroorganisme. Sementara itu, pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia adalah: Pembakaran ; sebagai contoh pembakaran sampah, pembakaran pada kegiatan rumah tangga, kendaraan bermotor, dan kegiatan industri. Polutan yang dihasilkan antara lain asap, debu, grit (pasir halus), dan gas (CO dan NO). Proses Peleburan, sebagai contoh proses peleburan baja, pembuatan soda, semen, keramik, aspal. Polutan yang dihasilkannya meliputi debu, uap, dan gas. Pertambangan dan penggalian: Polutan yang dihasilkan terutama adalah debu. Proses pengolahan dan pemanasan : sebagai contoh proses pengolahan makanan, daging, ikan, dan penyamakan. Polutan yang dihasilkan meliputi asap, debu, dan bau. Pembuangan limbah: Baik limbah industri maupun limbah rumah tangga. Polutannya adalah gas H₂S yang menimbulkan bau busuk. Proses kimia: sebagai contoh pada pemurnian minyak bumi, pengolahan mineral, dan pembuatan keris. Polutan yang dihasilkan umumnya berupa debu, uap dan gas. Proses pembangunan: Semisal pembangunan gedung-gedung, jalan dan kegiatan yang semacamnya. Polutannya seperti asap dan debu. Proses percobaan atom atau nuklir: Polutan yang dihasilkan terutama adalah gas dan debu radioaktif.

2.4. Zat Pencemar Udara

Zat-zat pencemar udara yang paling sering dijumpai dilingkungan perkotaan adalah: SO₂, NO dan NO₂, CO, O₃, SPM(=Suspended Particulate Matter) dan Pb(=Lead). SO₂ berperan dalam terjadinya hujan asam dan polusi partikel sulfat aerosol. NO₂ berperan terhadap polusi partikel dan deposit asam dan prekursor ozon yang merupakan unsur pokok dari kabut fotokimia. Asap dan debu termasuk polusi partikel. Ozon, CO, SPM, dan Pb seluruhnya telah dibuktikan memberi pengaruh yang merugikan kesehatan manusia. Pembakaran bahan bakar fosil di sumber-sumber yang menetap, mengarah terbentuknya produksi SO₂, NO dan NO₂ serta Pb, sedangkan masing-masing berminyak solar jelas terbukti menghasilkan sejumlah partikel dan SO₂ sebagai tambahan dari NO dan NO₂. Ozon merupakan suatu

fotokimia oksidan secara tidak langsung dihasilkan dari sumber-sumber pembakaran, dibentuk dibagian bawah atmosfer, dari NO dan komponen-komponen organik yang mudah menguap (=VOCs= Volatile Organic Compounds) atau Hidrokarbon-hidrokarbon reaktif dengan adanya sinar matahari. VOCs dihasilkan dari keaneka ragam sumber-sumber buatan manusia termasuk lalu lintas jalan raya, produksi dan pemakaian zat-zat kimia organik seperti; bahan-bahan pelarut, transport dan pemakaian crude oil, pemakaian dan distribusi gas alam, tempat pembuangan limbah dan pabrik-pabrik limbah cair (Yusad, 20013).

Karbon Monoksida Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi karbon monoksida di berbagai perkotaan. Nitrogen Dioksida (NO_2) bersifat racun terutama terhadap paru. Sulfur Oksida (SO_x) terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan Sulfur trioksida (SO_3), yang keduanya disebut sulfur oksida (SO_x). Ozon (O_3) Ozon merupakan salah satu zat pengoksidasi yang sangat kuat setelah fluor, oksigen dan oksigen fluorida (OF_2). Hidrokarbon (HC) di udara akan bereaksi dengan bahan-bahan lain dan akan membentuk ikatan baru yang disebut pycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) yang banyak dijumpai di daerah industri dan padat lalu lintas. Gas Klorin (Cl_2) adalah gas berwarna hijau dengan bau sangat menyengat. Partikulat Debu (TSP) Pada umumnya ukuran partikulat debu sekitar 5 mikron merupakan partikulat udara yang dapat langsung masuk ke dalam paru-paru dan mengendap di alveoli. Timah Logam berwarna kelabu keperakan yang amat beracun dalam setiap bentuknya ini merupakan ancaman yang amat berbahaya bagi anak di bawah usia 6 tahun, yang biasanya mereka telan dalam bentuk serpihan cat pada dinding rumah.

2.5. Dampak Pencemaran Udara

Dampak terhadap kesehatan substansi pencemar yang terdapat di udara memberikan pengaruh yang merugikan bagi kesehatan manusia, bukan saja dengan terhisap langsung, tetapi juga dengan cara-cara pemaparan lainnya seperti: meminum air yang terkontaminasi dan melalui kulit. Umumnya sebagian besar zat-zat polutan udara ini langsung mempengaruhi sistem

pernafasan dan pembuluh darah. Meningkatnya angka kesakitan dan kematian dan adanya gangguan fungsi paru-paru dikaitkan dengan kenaikan konsentrasi zat SO_2 , SPM, NO_2 dan O_3 yang juga mempengaruhi sistem pernafasan. Pemaparan yang akut dapat menyebabkan radang paru sehingga respon paru kurang permeabel, fungsi paru menjadi berkurang dan menghambat jalan udara. Ozon dapat mengiritasi mata, hidung dan tenggorokan dan penyebab sakit kepala. CO beraffianitas tinggi terhadap Hb sehingga mampu mengganti O_2 dalam darah yang menuju ke sistem pembuluh darah dan jantung serta persarafan. Pb menghambat sistem pembentukan Hb dalam darah merah, sumsum tulang, merusak fungsi hati dan ginjal dan penyebab kerusakan syaraf. Pengaruh-pengaruh langsung dari polusi udara terhadap kesehatan manusia tergantung pada; intensitas dan lamanya pemaparan, juga status kesehatan penduduk yang terpapar (Yuzad, 2003).

Selanjutnya, dampak terhadap tanaman yang tumbuh di daerah dengan tingkat pencemaran udara tinggi dapat terganggu pertumbuhannya dan rawan penyakit, antara lain klorosis, nekrosis, bintik hitam. Sementara itu SO_2 mengakibatkan hujan asam. Efek rumah kaca disebabkan oleh keberadaan CO_2 , CFC, metana, ozon, dan N_2O di lapisan udara kita. Pencemaran udara juga mengakibatkan kerusakan lapisan ozon yang berada di stratosfer (ketinggian 20-35 km) merupakan pelindung alami bumi yang berfungsi memfilter radiasi ultra violet B dari matahari.

2.6. Sumber Emisi

Revai (2012) menyebutkan, komponen pencemar udara dari gas buang motor diesel yang paling berpengaruh adalah: Sulfur Oksida (SO_x), Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO_x), Hidrokarbon (HC), dan Partikulat Matter (PM). Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh adanya kandungan sulfur dalam bahan bakar yang membentuk Sulfur dioksida (SO_2) dan Sulfur trioksida (SO_3), dan keduanya disebut sulfur oksida (SO_x). Berikutnya, karbon dan oksigen bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO_2) sebagai hasil pembakaran sempurna. Pencemar gas buang motor diesel selanjutnya adalah Nitrogen Oksida (NO_x). Udara

terdiri dari 80% nitrogen dan 20% oksigen. Nitrogen Oksida (NO_x) adalah kumpulan gas nitrogen yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). Pembentukan NO dan NO_2 merupakan reaksi antara nitrogen dan oksigen pada kondisi temperatur yang tinggi. Hidrokarbon (HC) terbentuk karena adanya bahan bakar yang tidak terbakar pada saat proses pembakaran. Akhirnya, partikulat Matter (PM) merupakan emisi dari motor diesel yang tersusun atas partikel jelaga, hidrokarbon, dan kandungan sulfur yang terdapat pada bahan bakar. Partikulat merupakan senyawa dengan kandungan karbon yang tinggi (misalnya aromatics) yang belum ikut terbakar di dalam ruang pembakaran motor diesel dan ikut dikeluarkan pada saat langkah buang. Partikulat bergabung dengan senyawa sulfur dan air yang membentuk jelaga. Partikulat yang dihasilkan motor diesel tersusun dengan inti senyawa karbon yang bergabung dengan senyawa organik, seperti sulfat, nitrat, logam, dan elemen lainnya. Diesel partikulat matter berukuran kurang dari $2,5\mu\text{m}$ yang pada partikel ini tersusun oleh partikel yang lebih kecil yaitu dengan ukuran diameter kurang dari $0,1\mu\text{m}$. Partikulat matter yang dihasilkan motor diesel sangat memungkinkan terhirup pada saat proses pernapasan makhluk hidup dan masuk ke dalam paru-paru. Efek jangka pendek yang diakibatkan karena pengaruh partikulat yang masuk contohnya yaitu iritasi pada mata, tenggorokan, dan bronkus. Gejala yang terlihat karena pengaruh partikulat dalam jangka pendek yaitu sakit kepala, mual, dan gangguan pernapasan seperti batuk. Berikut adalah beberapa jenis karakteristik emisi:

2.6.1. Sulfur Dioksida

Sulfur dioksida adalah salah satu jenis dari gas-gas oksida sulfur (SO_x). Gas ini sangat mudah terlarut dalam air, memiliki bau namun tidak berwarna. Sebagaimana O_3 , pencemar sekunder yang terbentuk dari SO_2 , seperti partikel sulfat, dapat berpindah dan terdeposisi jauh dari sumbernya. SO_2 dan gas-gas sulfur oksida lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan biji-biji yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbal dan besi. Di daerah

perkotaan, yang menjadi sumber sulfur utama adalah kegiatan pembangkit tenaga listrik, terutama yang menggunakan batu bara ataupun minyak diesel sebagai bahan bakarnya, juga gas buang dari kendaraan yang menggunakan diesel dan industri industri yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak mentah (Wahyuddin dkk, 2016).

2.6.2. Karbon Monoksida

Gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak mengiritasi, mudah terbakar dan sangat beracun, serta tidak larut dalam air. Gas ini merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor, alat pemanas dan peralatan yang menggunakan bahan api. Senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya terhadap manusia, karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin.

Paparan udara dengan gas CO dapat mengakibatkan keracunan sistem saraf pusat dan jantung. Keracunan ini terjadi jika paparan gas CO melampaui batas dari yang bisa di toleransi tubuh, yaitu lebih dari 250 ppm. Karbon monoksida yang keluar dari knalpot akan berada di udara ambient, jika terhirup oleh manusia maka molekul tersebut akan masuk kedalam saluran pernapasan terus masuk ke dalam paru – paru dan kemudian akan menempel pada haemoglobin darah membentuk carboxy Haemoglobin (COHb). Semakin tinggi konsentrasi CO yang terhirup oleh manusia maka semakin fatal Gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak mengiritasi, mudah terbakar dan sangat beracun, serta tidak larut dalam air. Gas ini merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor, alat pemanas dan peralatan yang menggunakan bahan api. Senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya terhadap manusia, karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin (Dharmawan dan Susanti, 2012). Paparan udara dengan gas CO dapat mengakibatkan keracunan sistem saraf pusat dan jantung. Keracunan ini terjadi jika paparan gas CO melampaui batas dari yang bisa di toleransi tubuh, yaitu lebih dari 250 ppm (Rezki, 2012 dalam Hasairin dkk, 2018).

Karbon monoksida yang keluar dari knalpot akan berada di udara ambient, jika terhirup oleh manusia maka molekul tersebut akan masuk kedalam saluran pernapasan terus masuk ke dalam paru – paru dan kemudian akan menempel pada haemoglobin darah membentuk carboxy Haemoglobin (COHb). Semakin tinggi konsentrasi CO yang terhirup oleh manusia maka semakin fatal Gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak mengiritasi, mudah terbakar dan sangat beracun, serta tidak larut dalam air. Gas ini merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor, alat pemanas dan peralatan yang menggunakan bahan api. Senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya terhadap manusia, karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin (Dharmawan dan Susanti, 2012 dalam Hasairin dkk, 2018). Paparan udara dengan gas CO dapat mengakibatkan keracunan sistem saraf pusat dan jantung. Keracunan ini terjadi jika paparan gas CO melampaui batas dari yang bisa di toleransi tubuh, yaitu lebih dari 250 ppm (Rezki, 2012 dalam Hasairin dkk, 2018).

Karbon monoksida yang keluar dari knalpot akan berada di udara ambient, jika terhirup oleh manusia maka molekul tersebut akan masuk kedalam saluran pernapasan terus masuk ke dalam paru – paru dan kemudian akan menempel pada haemoglobin darah membentuk carboxy Haemoglobin (COHb). Semakin tinggi konsentrasi CO yang terhirup oleh manusia maka semakin fatal Gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak mengiritasi , mudah terbakar dan sangat beracun, serta tidak larut dalam air. Gas ini merupakan hasil pembakaran tidak sempurna dari kendaraan bermotor, alat pemanas dan peralatan yang menggunakan bahan api. Senyawa CO mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya terhadap manusia, karena mampu membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu haemoglobin. Paparan udara dengan gas CO dapat mengakibatkan keracunan sistem saraf pusat dan jantung. Keracunan ini terjadi jika paparan gas CO melampaui batas dari yang bisa di toleransi tubuh, yaitu lebih dari 250 ppm (Rezki, 2012). Karbon monoksida yang keluar dari knalpot akan berada di udara ambient, jika terhirup oleh manusia maka molekul tersebut akan masuk kedalam saluran pernapasan

terus masuk ke dalam paru – paru dan kemudian akan menempel pada haemoglobin darah membentuk carboxy Haemoglobin (COHb). Semakin tinggi konsentrasi CO yang terhirup oleh manusia maka semakin fatal resiko yang diterima oleh manusia tersebut, bahkan dapat menyebabkan kematian. Daya ikat gas CO terhadap Hb adalah 240 kali dari daya ikat CO terhadap O₂. Apabila gas CO darah (HbCO) cukup tinggi, maka akan mulai terjadi gejala antara lain pusing kepala (HbCO 10%), mual dan sesak nafas (HbCO 20%), gangguan penglihatan dan konsentrasi menurun (HbCO 30%), tidak sadar, koma (HbCO 40-50%) dan apabila berlanjut akan dapat menyebabkan kematian. Pada paparan menahun akan menunjukkan gejala gangguan syaraf, gangguan otak, jantung dan kematian bayi dalam kandungan. Gas CO yang tinggi di dalam darah dapat berasal dari rokok dan asap dari kendaraan bermotor (Hasairin dkk, 2018).

2.6.3. Karbon Dioksida (CO₂)

Jumlah karbon dioksida dalam biosfir hanya sedikit dan toksisitasnya relatif rendah. Beberapa bilyun tahun yang lampau terjadi kenaikan jumlah karbon dioksida yang sangat mencolok di atmosfer bumi yang disebabkan oleh letusan gunung berapi. Letusan gunung berapi pada jaman itu menyemburkan sejumlah besar karbon dioksida ke udara, diperkirakan 40.000 kali jumlah karbon dioksida di udara pada saat ini. Kirakira 25% dari seluruh senyawa yang terbentuk dengan karbon dioksida (kalsium dan magnesium) dipergunakan oleh tumbuhtumbuhan dan kemudian terkubur oleh batuan pada saat terjadinya perubahan zaman. Sebagian kecil dari jumlah itu akan terkumpul dalam bentuk batu bara, pasir dan kantong gas alam bumi yang akhirnya menjadi bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil ini akan diambil dari dalam bumi oleh manusia untuk dimanfaatkan dalam berbagai keperluan hidupnya. Gas yang paling banyak dihasilkan dari setiap proses perubahan (oksidasi) adalah karbon dioksida (CO₂). Oleh karena CO₂ yang dihasilkan dari proses perubahan ini berbentuk gas, maka atmosfer bumi merupakan wadah yang akan menampung semua limbah CO₂ ini. Selama manusia menggunakan kayu sebagai bahan bakar, penambahan karbon dioksida ke dalam atmosfer dapat diabaikan karena pengaruh hasil pembakaran itu sedikit sekali. Akan tetapi pada zaman

industri seperti sekarang ini pemakaian bahan bakar setiap hari berlangsung sedemikian cepat dan jumlahnya semakin meningkat pula. Keadaan ini sudah tentu dapat mengubah kadar karbon dioksida dalam atmosfer. Pemasukan karbon dioksida ke atmosfer sebagai hasil pembakaran bahan bakar karbon diperkirakan sepuluh kali lipat jumlah karbon dioksida yang berasal dari hasil pernafasan. Oleh karena itu bila tidak ada proses alam yang menghasilkan karbon dioksida (misalnya letusan gunung berapi) maka dalam waktu 500 tahun saja kadar karbon dioksida dalam atmosfer akan menjadi dua kali lipat jumlahnya. Sebagian karbon dioksida yang masuk ke dalam atmosfer akan dipergunakan oleh tumbuh-tumbuhan dalam proses fotosintesis atau diserap oleh air (Susana, 1998).

2.6.4. Nitrogen Dioksida (NO_x)

Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan salah satu polutan udara apabila jumlahnya melewati nilai ambang batas yang ditetapkan dalam bentuk polutan, gas NO₂ akan merusak lingkungan karena merupakan salah satu komponen penyebab hujan asam yang akan berakibat pada kerusakan bangunan, keasaman tanah dan lain-lain. Selain itu gas NO₂ juga berfungsi sebagai perintis jalan pada pembentukan ozon yang merupakan polutan udara yang lain. Pada manusia gas NO₂ dalam konsentrasi tertentu dapat menyebabkan infeksi paru-paru dan saluran pernafasan. Pencegahan dan penanggulangan polutan NO₂ ini dapat dilakukan beberapa cara, yaitu dengan menggunakan catalitic converter pada kendaraan, memodifikasi sistem dan proses pembakaran, melakukan proses denitrifikasi pada industri dan menggunakan exhaust fan pada ruangan yang berpotensi menghasilkan NO₂.

Kedua bentuk Nitrogen Okside, yaitu NO dan NO₂ sangat berbahaya terhadap manusia. Penelitian aktifitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan bahwa NO₂ empat kali lebih beracun daripada NO. Selama, ini belum pernah dilaporkan terjadinya keracunan NO yang mengakibatkan kematian. Pada konsentrasi yang normal ditemukan di atmosfer, NO tidak mengakibatkan iritasi dan tidak berbahaya, tetapi pada konsentrasi udara ambient yang normal NO dapat mengalami oksidasi menjadi NO₂ yang lebih beracun. NO₂ adalah gas yang

toksik bagi manusia, efek yang terjadi tergantung pada dosis serta lamanya paparan yang diterima seseorang.

Nitrogen dioksida yang berasal dari kendaraan bermotor timbul karena pembakaran yang kurang sempurna sehingga menghasilkan gas NO_x , yang sebagian besar berubah menjadi NO_2 pada suhu ruang. Emisi NO_x pada tahun 1980 kira-kira 9,2 juta ton di Eropa, 19,3 juta ton di Amerika Serikat dan 1,8 juta ton di Kanada. Di Eropa Barat, 30 - 50% NO_x berasal dari transportasi, di Amerika Serikat 44% dan di Kanada 61%, sedangkan di negara sedang berkembang transportasi merupakan sumber NO_x yang lebih besar dari pada pusat pembangkit listrik.

Menurut Warneck (1988 dalam Sugiarti, 2009), diperkirakan $2,3 \times 10^{15}$ g N_2O masuk ke atmosfer pertahun yang diproduksi pertahunnya sebesar 20×10^{12} g dengan waktu tinggal rata-rata N_2O di atmosfer lebih dari 100 tahun sehingga mempunyai waktu yang panjang untuk bercampur dengan bahan pencemar udara lainnya yang menghasilkan campuran pencemar yang lebih berbahaya bagi manusia. Sampai tahun 1999 NO_x yang berasal dari alat transportasi laut di Jepang menyumbang 38% dari total emisi NO_x (25.000 ton/tahun). NO_x terbentuk atas tiga fungsi yaitu Suhu (T), Waktu Reaksi (t), dan konsentrasi Oksigen (O_2), $\text{NO}_x = f(T, t, \text{O}_2)$. Secara teoritis ada 3 teori yang mengemukakan terbentuknya NO_x , yaitu:

1. Terbentuk karena Thermal NO_x (Extended Zeldovich Mechanism). Proses ini disebabkan gas nitrogen yang beroksidasi pada suhu tinggi pada ruang bakar (>1800 K). Thermal NO_x ini didominasi oleh emisi NO ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$).
2. Prompt NO: Formasi NO_x ini akan terbentuk cepat pada zona pembakaran.
3. Fuel NO_x : NO_x formasi ini kandungan N dalam bahan bakar.

Menurut Schlesinger and William (1991 dalam Sugiarti, 2009) bahwa kira-kira 90% dari emisi NO_x adalah disebabkan proses thermal NO_x , dan tercatat bahwa dengan penggunaan HFO (Heavy Fuel Oil), bahan bakar yang biasa digunakan di kapal, menyumbang emisi NO_x sebesar 20-30%. Nitrogen oksida yang ada di udara yang dihirup oleh manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru. Setelah bereaksi dengan

atmosfir zat ini membentuk partikel-partikel nitrat yang amat halus yang dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Selain itu zat oksida ini jika bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dengan sempurna dan zat hidrokarbon lain akan membentuk ozon rendah atau smog kabut berawan coklat kemerahan yang menyelimuti sebagian besar kota di dunia.

2.6.5. Hidrokarbon (HC)

Menurut Sugiarti (2009), emisi Hidrokarbon (HC) pada mesin terbentuk dari bermacam-macam sumber. Tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna, tidak terbakarnya minyak pelumas silinder adalah salah satu penyebab munculnya emisi HC. Emisi HC pada bahan bakar HFO yang biasa digunakan pada mesin-mesin diesel besar akan lebih sedikit jika dibandingkan dengan mesin diesel yang berbahan bakar Diesel Oil (DO). Emisi HC ini berbentuk gas methan (CH_4).

2.6.6. Particulate Matter (PM)

Particulate Matter adalah campuran partikel dan tetesan di udara, terdiri dari berbagai komponen seperti senyawa organik, logam, asam, tanah, dan debu. Dampak utama bagi kesehatan manusia dari paparan PM-10 meliputi: efek pada pernapasan dan sistem pernapasan, kerusakan jaringan paru-paru, kanker, dan kematian dini. Orang tua, anak-anak, dan orang-orang dengan penyakit paru-paru kronis, influenza, atau asma, sangat sensitif terhadap efek partikel. PM-10 yang asam juga dapat merusak bahan buatan manusia dan merupakan penyebab utama berkurangnya jarak pandang.

Partikel debu dalam emisi gas buang terdiri dari bermacam-macam komponen. Bukan hanya berbentuk padatan tapi juga berbentuk cairan yang mengendap dalam partikel debu. Partikepartikel lautan banyak masuk ke atmosfir sebagai hasil penyerapan dari gelembung-gelembung air dan garamgaram mengkristal membentuk aerosol garam laut yang bersusunan kimiawi air laut. Selain itu ada debu tanah melalui proses pembakaran, debu terbentuk dari pemecahan unsur hidrokarbon dan proses oksidasi setelahnya. Dalam debu tersebut terkandung debu sendiri dan beberapa kandungan metal oksida. Dalam proses ekspansi selanjutnya di atmosfir, kandungan metal dan

debu tersebut membentuk partikulat. Beberapa unsur kandungan partikulat adalah karbon, SOF (Soluble Organic Fraction), debu, SO₄, dan H₂O. Sebagian benda partikulat keluar dari cerobong pabrik sebagai asap hitam tebal, tetapi yang paling berbahaya adalah butiran-butiran halus sehingga dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Diketahui juga bahwa di beberapa kota besar di dunia perubahan menjadi partikel sulfat di atmosfer banyak disebabkan karena proses oksida oleh molekul sulfur. Partikel debu bervariasi ukurannya dan tempat tinggalnya di udara atau di bumi. Partikel lebih kecil ukurannya dan sulit mengendap dalam air akan tinggal lama di udara dan menyebar secara global mengikuti arus angin yang membawanya (Sugiarti, 2009).

2.7. Pemanasan Global

Pemanasan global adalah kejadian meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut dan daratan Bumi. Peneliti dari Center for International Forestry Research (CIFOR), menjelaskan, bahwa pemanasan global adalah kejadian terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari (gelombang panas atau infra merah), yang dipancarkan ke bumi oleh gas-gas rumah kaca.

Ada enam jenis gas rumah kaca, yaitu Karbondioksida (CO), Metana (CH₄), Nitrous oksida (N₂O), Hydroperfluorokarbon (HFCs), Perfluorokarbon (CFCs), Sulfur Heksaforida (SF₆). Gas-gas ini secara alami terdapat di udara (atmosfer). Efek rumah kaca adalah istilah untuk panas yang terperangkap di dalam atmosfer bumi dan tidak bisa menyebar.

Penipisan lapisan ozon juga memperpanas suhu bumi. Karena, makin tipis lapisan-lapisan teratas atmosfer, makin leluasa memancarkan radiasi gelombang pendek matahari (termasuk ultraviolet) memasuki bumi. Selanjutnya radiasi gelombang pendek ini juga berubah menjadi gelombang panjang atau gelombang panas matahari atau infra merah, sehingga semakin meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca. Lebih jelasnya prosesnya pemanasan global ini adalah sebagai berikut :

- Energi yang masuk ke bumi mengalami serangkaian proses
- 25% energi dipantulkan oleh awan atau partikel lain ke atmosfer

- 25% diadsorpsi oleh awan
- 5% lagi dipantulkan kembali oleh permukaan bumi
- Energi yang diadsorpsi oleh awan dan permukaan bumi (25%+45% = 70%) dipantulkan kembali dalam bentuk radiasi infra merah atau gelombang panas matahari
- Namun sebagian besar infra merah yang dipancarkan bumi tertahan oleh awan, gas CO₂ dan gas gas lain (efek rumah kaca), untuk dikembalikan ke permukaan bumi.

Dalam keadaan normal Efek Rumah Kaca alami diperlukan untuk mengurangi perbedaan suhu antara siang dan malam. Namun dengan meningkatnya Gas Rumah Kaca terutama (CO₂), akan semakin banyak gelombang panas matahari atau infra merah yang dipantulkan dari permukaan bumi diserap atmosfer sehingga suhu permukaan bumi semakin meningkat (Triana, 2008).

2.8. Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca merupakan suatu istilah yang yang tepat digunakan pada gas-gas yang menyebabkan peningkatan suhu bumi. Gas-gas ini terdapat diudara membentuk suatu perisai yang membendung panas bumi yang ditimbulkan oleh aktivitas manusia dan alam itu sendiri, tetapi panas bumi ini tidak dapat lepas ke udara hingga batas tertinggi sebab adanya gas-gas ini yang membendungnya sehingga panas bumi terperangkap dan terpantul kembali ke bumi sehingga bumi semakin tinggi suhunya. Semua gas-gas rumah kaca ini merupakan hasil buang pembakaran bahan bakar fosil dan aktivitas alam yang sampai saat ini sulit dikendalikan sebab penggunaan bahan bakar fosil/minyak tetap me ningkat dengan pesat (Sugiarti, 2009)

2.9. Asbut atau Smog

Asap kabut (asbut) adalah kabut pengoksidasi yang terbentuk dari reaksi fotokimia nitrogen oksida dan hidrokarbon organik yang mudah menguap, yang merupakan polutan utama dilepaskan dari pembakaran bahan bakar fosil di mobil, pembangkit listrik, dan lain-lain.

Kejadian kabut asap ini merupakan permasalahan kompleks yang diakibatkan oleh pencermar udara di perkotaan. Hal ini sebetulnyabukanlah hal baru, mengingat padatahun 1952

kota London gelap tertutup awan yang bukan awan hujan tetapi merupakan awan yang berisi kabut dan asap yang mengandung gas SO_2 dan disebut dengan smog. Pada hari terjadi smog tersebut tercatat adanya 3000 warga kota London yang meninggal dan merupakan suatu kejadian langka karena dalam satu hari terjadi angka kematian yang sangat tinggi. Kasus serupa terjadi lagi tahun 1962 dan pada saat terjadi smog tersebut juga mengakibatkan 700 warga London meninggal (Foust, 2012 dalam Gusnita, 2014).

Pencemaran udara merupakan permasalahan kompleks yang senantiasa terjadi, khususnya di perkotaan. Berdasarkan proses pembentukannya pencemar udara terbagi menjadi 2 yaitu: pencemar primer dan sekunder. Pencemar primer adalah substansi pencemar yang ditimbulkan langsung dari sumber pencemaran udara, contohnya karbon monoksida yang berasal dari pembakaran kurang sempurna kendaraan bermotor. Pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk dari reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer. Pembentukan ozon dalam smog fotokimia adalah sebuah contoh dari pencemaran udara sekunder. Asap kabut (asbut) atau lebih dikenal smog (smoke dan fog) adalah sejenis kasus pencemaran udara berat yang bias terjadi berhari-hari hingga hitungan bulan. Asbut sendiri merupakan koloid jenis aerosol padat dan aerosol cair. Dewasa ini terdapat dua jenis asbut yaitu asbut klasik yang pertama kali muncul, dan asbut fotokimia yang muncul.

Dari penelitian diketahui bahwa smog dan sekarang dikenal sebagai smog fotokimia merupakan koloid (aerosol) yang mengandung gas nitrogendioksida (NO_2) dan gas ozon (O_3) yang berasal dari reaksi gas buang kendaraan bermotor dengan sinar matahari. Gas buang kendaraan bermotor umumnya mengandung gas NO , CO dan hidrokarbon. Gas-gas tersebut selanjutnya akan mengalami reaksi fotokimia yaitu reaksi yang terjadi adanya foton (cahaya). Reaksi fotokimia ini menghasilkan polutan sekunder yang mengandung gas NO_2 dan ozon (O_3) yang akhirnya membentuk smog (Mark, 2002 dalam Gusnita, 2014). Sinar matahari terutama pada daerah spektrum panjang gelombang yang lebih rendah dari 400 nm menyebabkan gas NO_2 terurai menjadi NO dan atom oksigen yang sangat reaktif. Atom oksigen yang dihasilkan sangat reaktif dan bereaksi dengan

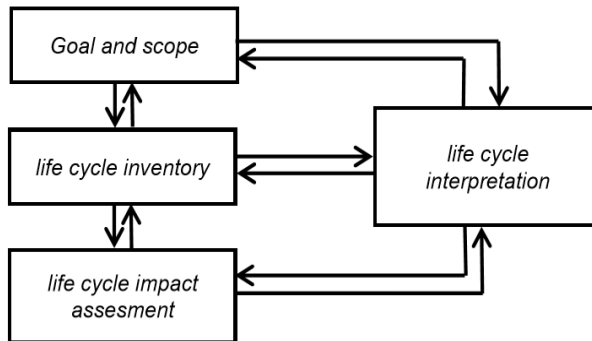
gas oksigen membentuk molekul M , adalah gas inert (gas yang stabil dan sukar bereaksi) misalnya N_2 dan ozon selanjutnya dapat bereaksi dengan ikatan rangkap yang terdapat pada hidrokarbon yang tidak terbakar padamesin mobil, NO dan O_2 . Salah satu hasil reaksi fotokimia tersebut adalah senyawa peroksiasetil (PAN) yaitu senyawa yang dapat menyebabkan mata perih dan berair serta menimbulkan sesak nafas.

2.10. Life Cycle Assesment (LCA)

LCA adalah sebuah teknik yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk. Tahap pertama pada LCA adalah menyusun dan menginventarisasi masukan dan keluaran yang berhubungan dengan produk yang akan dihasilkan (Hermawan, et.al., 2013). LCA adalah pendekatan "*cradle-to-grave*" untuk menilai sistem industri. "*Cradle-to-grave*" dimulai dengan pengumpulan bahan baku dari bumi untuk menciptakan produk dan berakhir pada titik ketika semua bahan dikembalikan ke bumi. LCA memungkinkan estimasi dampak lingkungan kumulatif yang dihasilkan dari semua tahapan dalam siklus hidup produk, sehingga akan diketahui bagian mana yang menimbulkan dampak terhadap lingkungan paling besar (Putri et al., 2014). Esensi dari life cycle assesment adalah evaluasi dampak teknologi, ekonomi dan lingkungan, yang relevan dengan bahan mentah (material), proses dan/atau produk, sepanjang siklus hidup mulai dari pembuatannya hingga menjadi limbah (Soemarmo, dkk., 2013).

Setelah diketahui dampak kritis dari seluruh kegiatan terhadap lingkungan maka akan diperoleh beberapa alternatif perbaikan untuk masing-masing kegiatan dalam supply chain. Alternatif perbaikan yang diusulkan untuk masing-masing rantai dapat digunakan sebagai dasar pembuatan alternatif untuk *life cycle* yang ada sehingga didapatkan *supply chain* yang sesuai dengan konsep *green supply chain management* (Putri, et. al., 2014).

Terdapat beberapa tahapan untuk melakukan identifikasi dan evaluasi produk menggunakan LCA. Berikut adalah tahapannya:



Gambar 2.1 Bagan Alir Tahapan LCA

1. Definisi tujuan dan cakupan (goal and scope definition) Merupakan petunjuk yang dapat membantu konsistensi dari penelitian LCA. Tujuan harus menunjukkan alasan dilakukannya penelitian dan untuk apa penelitian tersebut. Ruang lingkup penjelasan penelitian metode yang dipakai, asumsi, dan batasan.
2. Tahap input analisis inventory (life cycle inventory) Melakukan inventarisasi masukan dan keluaran yang berhubungan dengan ruang lingkup studi. Tujuan analisis ini adalah untuk menunjukkan pengaruh lingkungan per bagian life cycle.
3. Tahap perdugaan dampak (life cycle impact assesment) Evaluasi terhadap dampak potensi terhadap lingkungan dengan menggunakan hasil dari life cycle inventory dan menyediakan informasi untuk menginterpretasikan pada fase terakhir.
4. Tahap intepretasi (life cycle interpretation) Tahap akhir analisis daur hidup memberikan simpulan, rekomendasi, dan pengambilan keputusan.

2.11. Simapro 8.5.2

SimaPro merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan untuk melakukan analisis dampak lingkungan dari suatu sistem amatan tertentu. SimaPro merupakan singkatan dari *System fo Integrated Environmental Assessment of Products*

(Riyanty dan Hariwiko, 2015). Data yang dimasukkan dalam *software* SimaPro ditentukan berdasarkan deskripsi sistem amatan yang sudah dijelaskan sebelumnya meliputi distribusi bahan baku, proses produksi, serta distribusi produk akhir (Kautzar, 2015). *Software* SimaPro yang digunakan di dalam analisis LCA ini adalah SimaPro versi 8.5.2 *Software* SimaPro dengan versi terbaru ini memiliki update dari *database* dari standar-standar di dalam analisis ekologi, dan pada versi terbaru ini memiliki *database* LCA atau *database* eko inventori yang terbaru. Hasilnya akan mengkalkulasi inputan seperti kuantitas dan kualitas bahan baku dan menghasilkan outputan suatu nilai grafik. SimaPro memiliki kelebihan dibandingkan *software* lainnya, diantaranya sebagai berikut (Pre, 2014):

- Bersifat fleksibel
- Dapat digunakan secara multi-user-version sehingga dapat menginput data secara berkelompok meskipun berbeda lokasi
- Memiliki metode dampak yang beragam
- Dapat menginventarisasi data dalam jumlah banyak
- Data yang didapatkan memiliki nilai transparansi yang tinggi, dimana hasil interaktif analisis dapat melacak hasil lainnya kembali ke asal-usulnya

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). Metode *Eco-Indicator 99* adalah metode penilaian dampak yang paling banyak digunakan dalam penilaian LCA (Repele *et al.*, 2014). Pemilihan metode disesuaikan dengan kegiatan proses dan produk yang dianalisis. SimaPro menggunakan berbagai metode evaluasi yang akan mengklasifikasikan zat menurut efeknya terhadap lingkungan seperti hujan asam dan penipisan lapisan ozon.

2.12. Metode *Eco-Indicator 99*

Metode EI 99 adalah metode evaluasi yang mengklasifikasikan zat menurut efeknya terhadap dampak lingkungan serta dapat menunjukkan efeknya terhadap lingkungan serta dapat menunjukkan kontribusi relative dari setiap proses yang dihitung (Sirait, 2016). 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 memiliki 11 kategori dampak yaitu Climate change, ozone layer depletion, acidification, eutrophication, carcinogenic, respiratory effects, ionizing radiation, ecotoxicity, land use, mineral resources, and fossil resources. Kategori-kategori ini digabungkan menjadi 3 kategori kerusakan yaitu Ecosystem quality, human health dan natural resource.

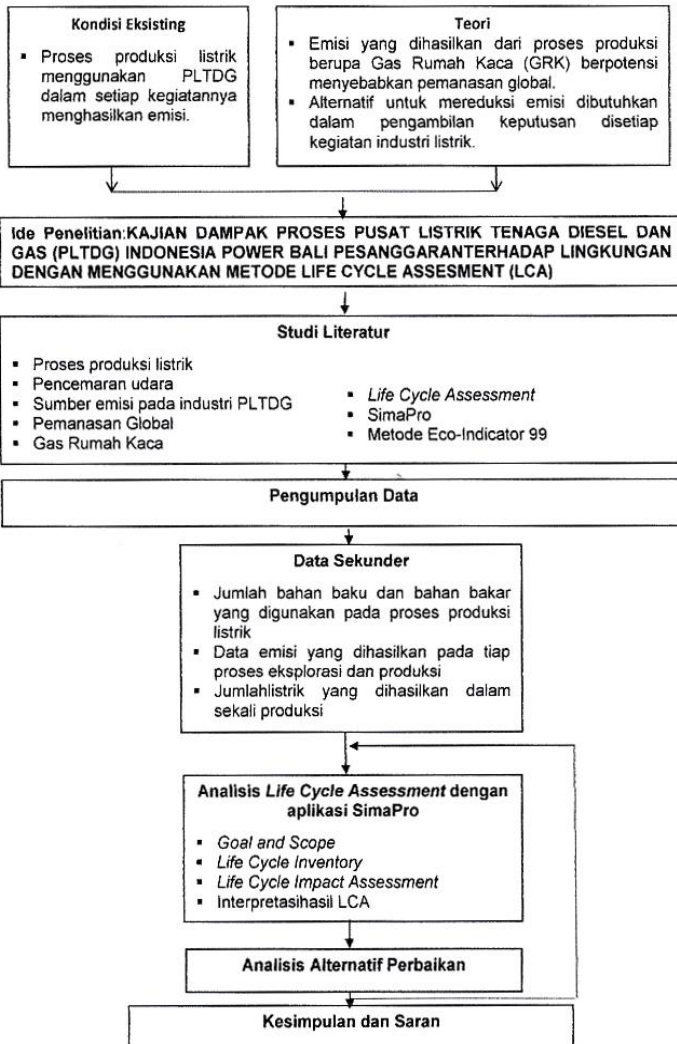
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi dampak produksi listrik dari PLTDG dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu prakiraan beban emisi (CO₂, CH₄, SO₂, NO₂, dan partikulat) dari proses produksi PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN BALI, identifikasi dampak lingkungan yang terjadi pada proses produksi PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN BALI, serta rekomendasi alternative perbaikan untuk mereduksi dampak yang terjadi pada kegiatan produksi. 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 listrik 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 listrik. Hasil dari analisis LCA tersebut digunakan untuk menentukan alternative perbaikan yang dapat dilakukan untuk mereduksi dampak yang terjadi, yang kemudian di analisis kembali menggunakan *software* SimaPro dengan metode LCA.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini disusun berdasarkan tujuan penelitian. Dari tujuan tersebut, dikembangkan menjadi ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data lapangan, analisis beban emisi, analisis dampak lingkungan dengan LCA menggunakan aplikasi



Gambar 3.1. Kerangka Penelitian

3.3 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan pada penelitian ini terdiri dari:

1. Kajian literatur yang dilakukan terhadap:
 - Proses produksi
 - Pencemaran udara
 - Sumber emisi pada industri PLTDG
 - Pemanasan Global
 - Gas Rumah Kaca
 - Asbut atau *Smog*
 - *Life Cycle Assessment*
 - SimaPro
 - Metode Endpoint menggunakan Eco – Indicator 99
2. Melakukan perizinan untuk kepentingan pengumpulan data pada pihak PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN, BALI
3. Membuat perizinan untuk mendapatkan lisensi aplikasi SimaPro.

3.4 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan adalah data sekunder.

- Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari *history* proses produksi di PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN, BALI. Untuk data yang diperlukan dalam penelitian ini secara lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data-Data yang Diperlukan

No	Jenis Data	Metode Pengambilan Data	Durasi Data	Asal Data
1	Emisi CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, SO ₂ , NO ₂ , dan partikulat pada unit produksi	Data Sekunder	2 tahun	PT. INDONESIA POWER BALI.
2	Data jumlah bahan bakar, bahan baku, bahan kimia yang digunakan pada setiap unit produksi	Data Sekunder	2 tahun	PT. INDONESIA POWER BALI.
3	Data jumlah produk listrik yang dihasilkan dari produksi batu bara	Data Sekunder	2 tahun	PT. INDONESIA POWER BALI.

3.5 Tahap Pengolahan Data

Analisis data dilakukan dalam rangka memprakirakan beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO₂, dan SO₂, identifikasi dampak lingkungan yang terjadi, dan pemilihan alternatif perbaikan yang akan direkomendasikan.

3.5.1 Analisis Beban Emisi CO₂, CH₄, N₂O, SO₂, NO₂, dan Partikulat

Data yang akan dianalisis adalah data beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, dan partikulat. Analisis yang akan dilakukan mencakup data konsentrasi CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, dan partikulat dalam 2 tahun setiap 6 bulan sekali, serta jumlah bahan bakar yang digunakan pada setiap unit pengolahan selama 2 tahun. Dalam melakukan analisis beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, dan partikulat dilakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi sumber-sumber emisi tidak bergerak yang ada di PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN, BALI.
2. Merekapitulasi data hasil pengukuran pada sumber emisi tidak bergerak untuk beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, dan partikulat selama 2 tahun terakhir berdasarkan data laporan PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN, BALI.
3. Mengidentifikasi unit-unit pengolahan yang menggunakan bahan bakar, lama operasionalnya, dan laju alir bahan bakar berdasarkan data laporan kegiatan produksi PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN, BALI.
4. Merekapitulasi data penggunaan bahan bakar pada setiap unit-unit pengolahan yang menggunakan bahan bakar dalam operasinya berdasarkan data laporan kegiatan produksi PT. INDONESIA POWER PESANGGARAN, BALI. Kemudian dilakukan perhitungan *Low Heating Value* (LHV) / *Net Caloric Value* (NCV) bahan bakar.

Energi bahan bakar = LHV x laju alir bahan bakar x waktu operasi

(Persamaan 3.1)

5. Mencari data faktor emisi sesuai dengan bahan bakar yang digunakan.
6. Menghitung beban emisi dengan menggunakan metode faktor emisi IPCC

$$E = A \times EF$$

(Persamaan 3.2)

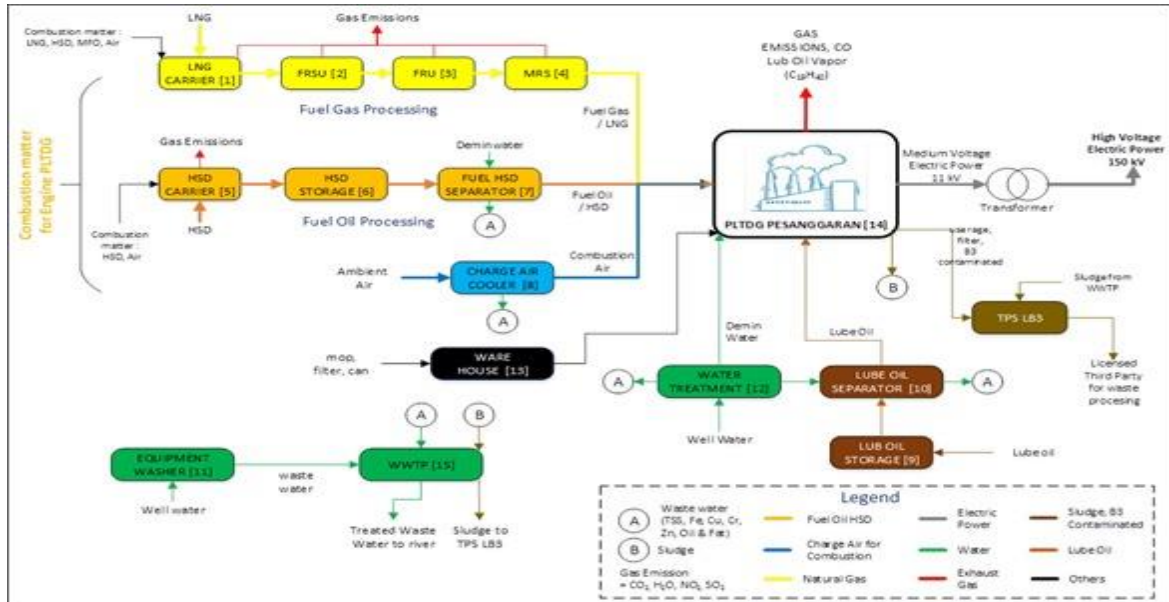
Keterangan:

E = Jumlah emisi (kg).

A = Energi bahan bakar (TJ).

EF = Faktor emisi (kg/TJ).

Hasil dari analisis ini adalah data beban emisi untuk gas CO₂, CH₄, N₂O, SO_x, NO_x, dan partikulat dari setiap unit pengolahan dalam kegiatan produksi listrik di PT. INDONESIA POWER BALI. Hasil dari analisis beban emisi ini nantinya akan digunakan dalam analisis LCA. Berikut ini skema beserta tahapan-tahapan yang dilakukan untuk analisis beban emisi.



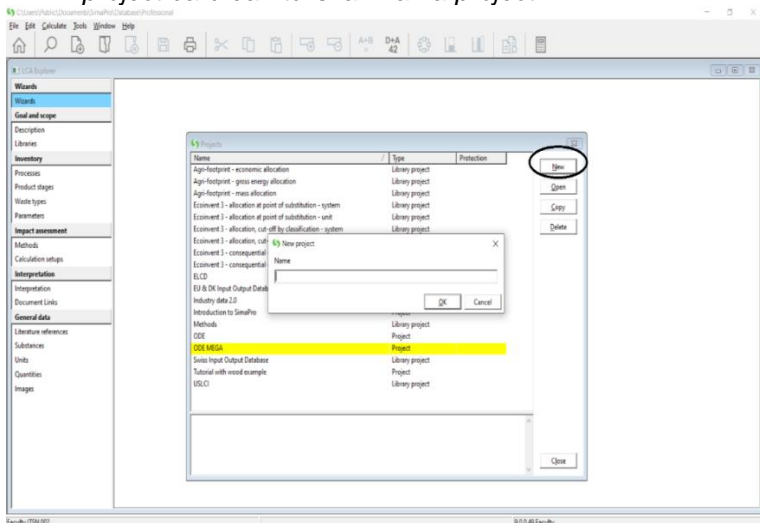
Gambar 3.4 PFD PT Indonesia Power Pesangaran

Sumber : PT Indonesia Power Pesangaran

3.5.2 Analisis *Life Cycle Assessment* dengan Aplikasi *SimaPro*

Untuk analisis dampak yang terjadi dari setiap kegiatan yang dianalisis maka digunakan metode LCA. Analisis yang akan dilakukan mencakup data bahan bakar, bahan baku, bahan kimia, produk, dan emisi yang dihasilkan dalam proses produksi. Dalam melakukan analisis dampak yang terjadi dengan metode LCA digunakan *software* *SimaPro*. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam menganalisis dampak dengan metode LCA menggunakan *software* *SimaPro* adalah sebagai berikut:

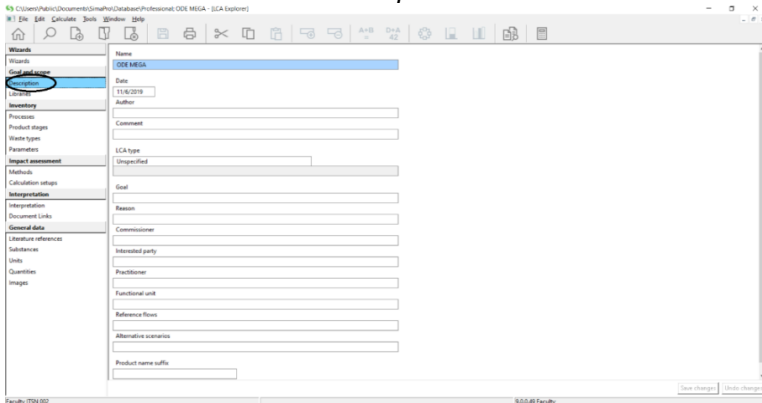
1. Menjumlahkan data-data yang telah direkap dan mengambil data rata-rata dengan membagi hasil penjumlahan setiap data dengan jumlah data yang terkumpul.
2. Membuka *software* *SimaPro* dan klik *New* untuk memulai *project* baru dan tuliskan nama *project*



Gambar 3.3 Project Baru di SimaPro

Sumber : SimaPro 9.0 Tutorial

3. Menentukan *Goal and Scope*

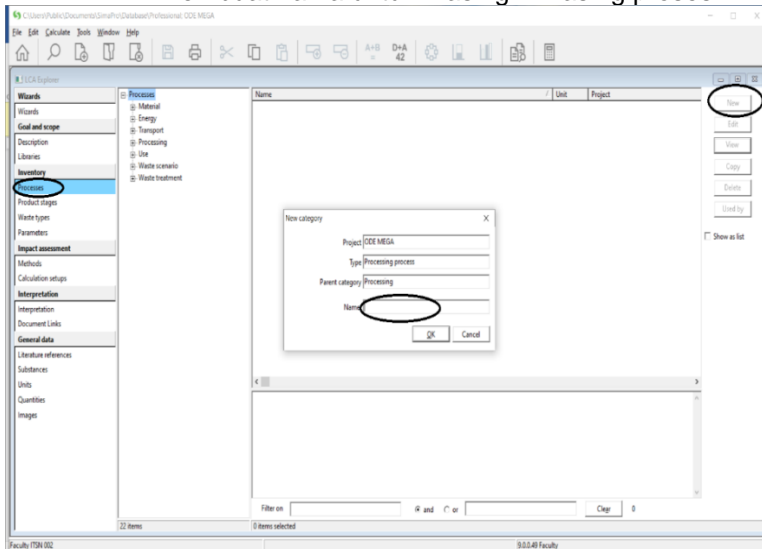


Gambar 3.4 Penentuan *Goal and Scope*

Sumber : SimaPro 9.0 Tutorial

4. Melakukan Inventarisasi

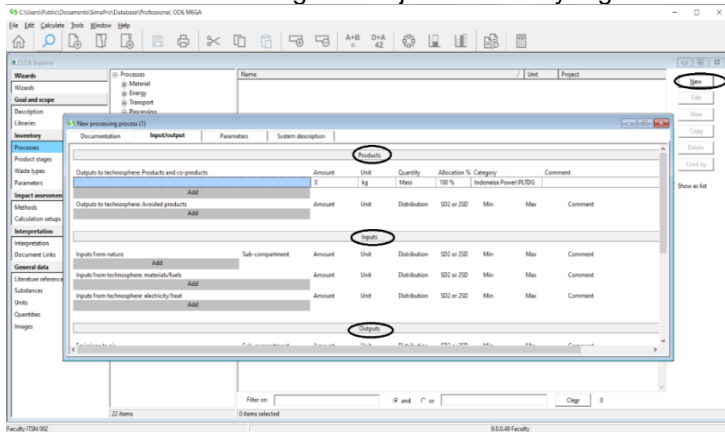
- Membuat nama untuk masing – masing proses



Gambar 3.5 Langkah Awal Inventarisasi

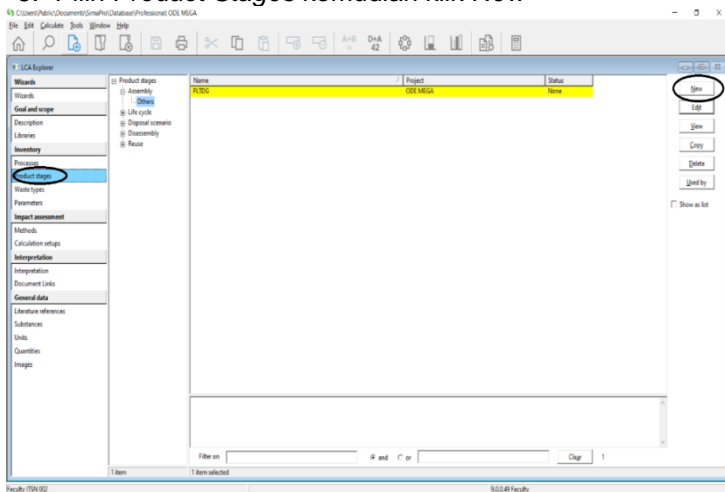
Sumber : SimaPro 9.0 Tutorial

- Memasukkan data inventori yaitu mengisi data jumlah produk yang keluar, mengisi data jumlah produk yang masuk dan mengisi data jumlah emisi yang keluar



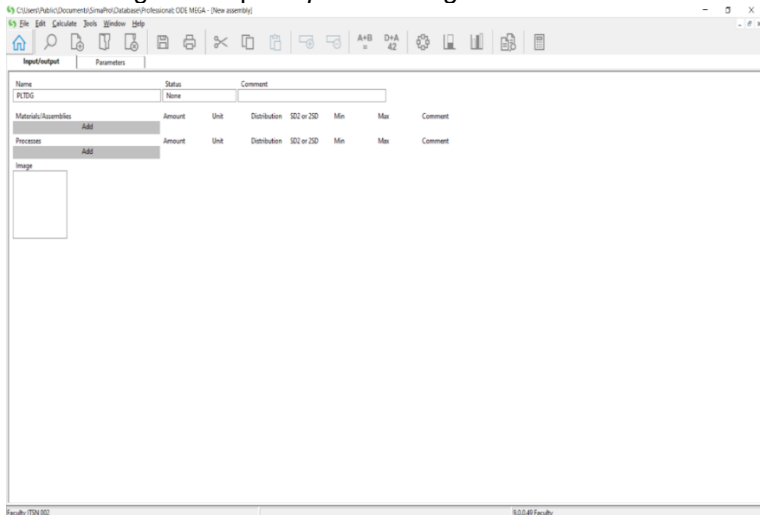
Gambar 3.6 Memasukkan Data Inventori
Sumber : SimaPro 9.0 Tutorial

5. Pilih *Product Stages* kemudian klik *New*



Gambar 3.7 Memberi Nama *Product Stage*
Sumber : SimaPro 9.0 Tutorial

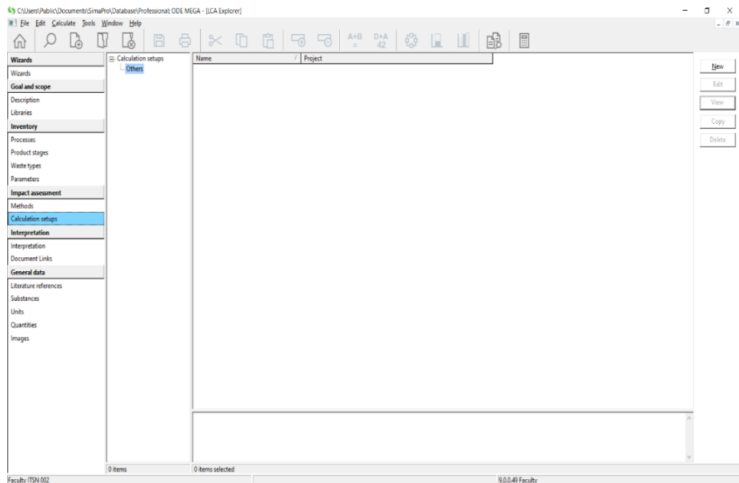
6. Mengisi data pada *product Stage*



Gambar 3.8 Memasukkan Data Inventori

Sumber : SimaPro 9.0 Tutorial

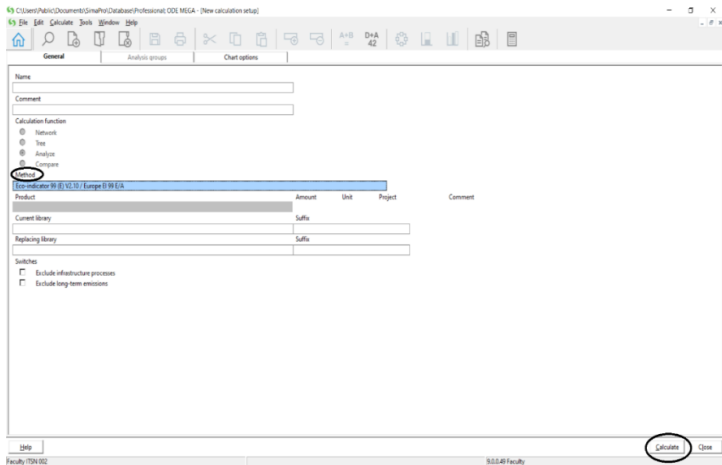
7. Penilaian terhadap Cemarannya (*Calculation Setup*)
Melakukan tahapan *characterisation* pada *software* SimaPro, yang mana terjadi pengalihan faktor karakterisasi dengan data-data yang telah di input pada tahap sebelumnya. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui kontribusi nilai dampak dari setiap kegiatan pada tiap kategori dampak.



Gambar 3.9 Memasukkan data inventori

Sumber : SimaPro 9.0 Tutorial

8. Memilih metode yang digunakan (Eco Indicator 99) lalu klik *Calculate*



Gambar 3.10 Analisis SimaPro

9. Melakukan tahapan *normalization* pada *software* SimaPro dengan membagi hasil tahapan karakterisasi dengan faktor normalisasi. Hal tersebut bertujuan untuk menyetarakan nilai dampak guna mengetahui perbandingan nilai dampak pada tiap kategori dampak.
10. Melakukan tahapan *weighting* pada *software* SimaPro dengan mengalikan hasil tahapan *normalization* dengan faktor pembobotan. Hal tersebut bertujuan untuk menyetarakan nilai dampak antar tiap kategori.
11. Melakukan Interpretasi data pada *software* SimaPro.

Dari data-data yang dimasukkan pada *software* SimaPro, maka akan terlihat dampak yang paling besar dari setiap kegiatan yang dianalisis sesuai dengan kategori dampak yang dipilih.

3.5.3 Analisis Alternatif yang Direkomendasikan

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

1. Dari hasil analisis LCA dengan mengetahui dampak yang terjadi, maka dilakukan studi literature mengenai alternative perbaikan yang dapat diterapkan untuk mereduksi dampak yang terjadi.
2. Melakukan rekapitulasi alternative perbaikan mengenai cara kerja dan fungsinya sesuai dengan hasil studi literature.
3. Melakukan pra-survey kepada pihak perusahaan terkait kondisi produksi pengolahan minyak bumi yang dilakukan dan kemungkinan alternative-alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk mereduksi dampak lingkungan yang terjadi.
4. Menginput 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.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir yang dilakukan, yaitu 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.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Perhitungan Beban Emisi

Perhitungan beban emisi ini hanya mencakup proses utama (*main process*) dari produksi listrik oleh PT. Indonesia Power Pesanggaran. Proses produksi listrik dimulai dari penyimpanan LNG (*LNG Tank*), penyimpanan HSD (*HSD Tank*), penyimpanan air (*Water Tank*) turbine dan generator. Proses utama ini dapat dilihat pada gambar

4.1.1 Data Bahan Baku Produksi

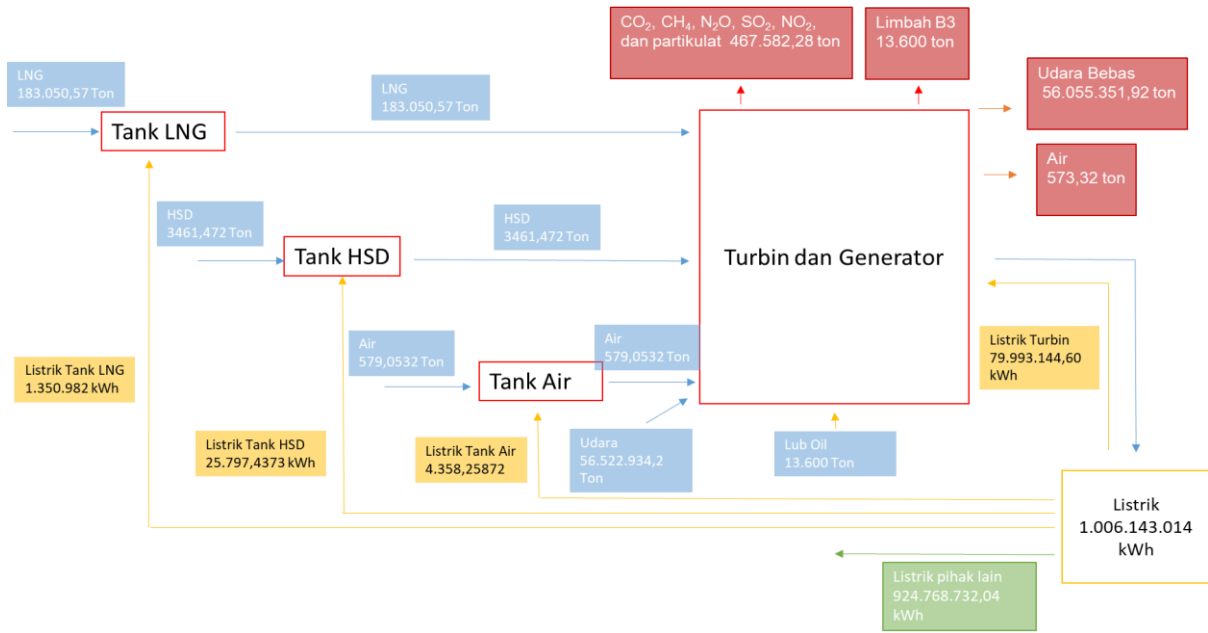
Kegiatan produksi mencakup jumlah bahan baku, nama unit yang digunakan serta jumlah produk yang dihasilkan. Dalam operasionalnya menggunakan bahan bakar dan energy dalam unitnya. Data jumlah bahan baku, unit dan bahan bakar serta energy yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.1. Masing-masing unit dan jumlah bahan baku, bahan bakar dan energi serta produk dari masing-masing material akan dijelaskan pada penentuan *life cycle inventory*.

4.1.2 Perhitungan Beban Emisi

Perhitungan beban emisi dilakukan untuk mengetahui emisi yang terbentuk selama proses produksi berlangsung hingga dihasilkan satuan produk. Akan didapat dua hasil perhitungan emisi, secara utuh yaitu beban emisi total selama proses berlangsung pada tiap pencemar dan perhitungan dalam satuan produk. Berikut ini adalah contoh perhitungan beban emisi dari unit *turbine dan generator*. menggunakan bahan bakar *Liquid Natural Gas* (LNG) dan bahan bakar *High Speed Diesel* (HSD).

4.1.2.1 Perhitungan Beban Emisi CO₂, CH₄, N₂O

Rumus yang digunakan dalam perhitungan emisi CO₂, CH₄, N₂O



Gambar 4.1 Mass Balance PT. Indonesia Power Pesangaran

Energi bahan bakar = Nilai Kalor x laju alir bahan bakar x waktu operasi

(Persamaan 3.1)

$$E = A \times EF$$

(Persamaan 3.2)

Keterangan:

E = Jumlah emisi (kg)

A = Energi bahan bakar (TJ)

EF = Faktor emisi (kg/TJ)

Tabel 4. 1 Faktor Emisi CO₂, CH₄, dan N₂O

Emisi	Faktor Emisi (kg/TJ)	
	LNG	HSD
CO ₂	61000	74100
CH ₄	2,85	2,85
N ₂ O	0,57	0,57

Sumber: API Compendium, 2009

Diketahui pada *turbine dan generator* pemakaian bahan bakar LNG dan HSD masing-masing sebesar 177.719 ton/tahun dan 3.393,6 ton/tahun. Berdasarkan API Compendium didapatkan faktor emisi untuk masing-masing bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 4.1. Karena faktor emisi berbasis energi maka konsumsi bahan bakar harus dikonversi ke konsumsi energi dengan cara mengalikan dengan nilai kalornya berdasarkan API Compendium 2009. Nilai kalor untuk bahan bakar LNG sebesar 0.041 TJ/ton, sedangkan untuk bahan bakar HSD sebesar 0,038 TJ/ton.

Sehingga:

a. Perhitungan untuk bahan bakar LNG

Energi bahan bakar = Nilai Kalor (TJ/Ton) x laju alir bahan bakar (ton/tahun)

$$\begin{aligned}
 &= 0,041 \text{ TJ/ton} \times 183.050,57 \text{ ton/tahun} \\
 &= 7.505,07 \text{ TJ/tahun} \\
 E_{\text{CO}_2} &= A \times EF \\
 &= 7.505,07 \text{ TJ/tahun} \times 61000 \text{ kg/TJ} \\
 &= 457.809.270 \text{ kg/tahun} \\
 E_{\text{CH}_4} &= A \times EF \\
 &= 7.505,07 \text{ TJ/tahun} \times 2.85 \text{ kg/TJ} \\
 &= 21.389,45 \text{ kg/tahun} \\
 E_{\text{N}_2\text{O}} &= A \times EF \\
 &= 7.505,07 \text{ TJ/tahun} \times 0.57 \text{ kg/TJ} \\
 &= 4.277,89 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan untuk bahan bakar HSD

$$\begin{aligned}
 \text{Energi bahan bakar} &= \text{Nilai Kalor (TJ/Ton)} \times \text{laju alir bahan bakar (ton/tahun)} \\
 &= 0.038 \text{ TJ/ton} \times 3.461,5 \text{ ton/tahun} \\
 &= 131,537 \text{ TJ/tahun} \\
 E_{\text{CO}_2} &= A \times EF \\
 &= 131,537 \text{ TJ/tahun} \times 74100 \text{ kg/TJ} \\
 &= 9.746.892 \text{ kg/tahun} \\
 E_{\text{CH}_4} &= A \times EF \\
 &= 131,537 \text{ TJ/tahun} \times 2,85 \text{ kg/TJ} \\
 &= 374,8 \text{ kg/tahun} \\
 E_{\text{N}_2\text{O}} &= A \times EF \\
 &= 131,537 \text{ TJ/tahun} \times 0,57 \text{ kg/TJ} \\
 &= 74,9 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk hasil perhitungan CH₄ dan N₂O dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Perhitungan Beban Emisi CO₂, CH₄, dan N₂O

LNG				
Emisi	Faktor Emisi (kg/TJ)	Nilai Kalor (TJ/ton)	Konsumsi Energi (TJ)	Beban emisi (kg)
CO ₂	61000	0.041	7,505	457,809,270
CH ₄	2.85	0.041	7,505	21389.4495
N ₂ O	0.57	0.041	7,505	4277.8899

HSD				
Emisi	Faktor Emisi (kg/TJ)	Nilai Kalor (TJ/L)	Konsumsi Energi (TJ)	Beban emisi (kg)
CO ₂	74100	0.038	132	9,746,892
CH ₄	2.85	0.038	132	374.88045
N ₂ O	0.57	0.038	132	74.97609

Sumber: Hasil Perhitungan

4.1.2.2 Perhitungan beban emisi SO_x, NO_x, dan partikulat.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12 tahun 2012 rumus yang digunakan dalam perhitungan emisi SO_x, NO_x, dan partikulat adalah:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{corr}} &= C_{\text{terukur}} \times (21 - O_{2\text{corr}}) / (21 - O_{2\text{terukur}}) \\
 Q &= v \cdot A \\
 E_{\text{SO}_2} &= C_{\text{corr}} \times Q \times 0,0036 \times \text{waktu operasi (jam)}
 \end{aligned}$$

(Persamaan 3.3)

Keterangan :

C_{corr} = konsentrasi dengan koreksi O₂ (mg/Nm³).
 C_{terukur} = konsentrasi terukur sebelum dikoreksi dengan koreksi O₂ (mg/Nm³).
 $O_{2\text{corr}}$ = koreksi O₂ yang ditetapkan dalam baku mutu emisi(%).

O ₂ terukur	= prosentase O ₂ diukur langsung dalam gas emisi(%).
E	= Jumlah emisi (kg/tahun).
Q	= Laju alir emisi volumetrik (m ³ /detik).
0,0036	= faktor konversi dari mg/detik ke kg/jam.
Opr. Hours	= lama operasi sumber emisi selama 1 tahun (jam).
V	= Laju alir (m/detik).
A	= Luas penampang stack (m ²)

Tabel 4.3 Data Pengukuran Manual Parameter SO_x, NO_x, dan partikulat

Emisi	Konsentrasi
	mg/Nm ³
SO _x	132,36
NO _x	68,81
Total Partikel	0

Sumber : PT. Indonesia Power Pesanggaran

Diketahui konsentrasi beban emisi dari pengukuran manual untuk parameter SO_x, NO_x, dan partikulat seperti pada Table 4.3. Dengan O₂ terkoreksi sebesar 0 dan O₂ terukur sebesar 12,14%, serta laju alir sebesar 23,53 m/s dan diameter stack 1 m. Selanjutnya dilakukan perhitungan beban emisi menggunakan persamaan 3.3.

Sehingga :

a. Perhitungan Emisi SO₂

Konsentrasi SO₂ = 132,36 mg/Nm³

O₂ *correction* = 0

O₂ terukur = 12,14%

Laju alir = 23,53 m/s

Diameter *stack* = 1 m

Jam operasi = 6290 jam

C_{corr} = C_{terukur} x (21-O₂corr)/(21-O₂terukur)

= 132,36 mg/Nm³ x (21-0)/(21-12,14)

= 313,72 mg/Nm³

$$\begin{aligned}
Q &= v.A \\
&= 23,53 \text{ m/s} \times 3,14 \times (0,5 \times 1)^2 \\
&= 18,47 \text{ m}^3/\text{s} \\
E_{\text{SO}_2} &= C_{\text{corr}} \times Q \times 0,0036 \times \text{waktu operasi (jam/tahun)} \\
&= 313,72 \text{ mg/Nm}^3 \times 18,47 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,0036 \times 6290 \text{ jam/tahun} \\
&= 131,216 \text{ kg/tahun}
\end{aligned}$$

b. Perhitungan Emisi NO₂

$$\begin{aligned}
\text{Konsentrasi NO}_2 &= 68,81 \text{ mg/Nm}^3 \\
\text{O}_2 \text{ correction} &= 0 \\
\text{O}_2 \text{ terukur} &= 12,14 \% \\
\text{Laju alir} &= 23,53 \text{ m/s} \\
\text{Diameter stack} &= 1 \text{ m} \\
\text{Jam operasi} &= 61290 \text{ jam} \\
C_{\text{corr}} &= C_{\text{terukur}} \times (21 - \text{O}_2\text{corr}) / (21 - \text{O}_2\text{terukur}) \\
&= 68,81 \text{ mg/Nm}^3 \times (21 - 0) / (21 - 12,14) \\
&= 163,09 \text{ mg/Nm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q &= v.A \\
&= 23,53 \text{ m/s} \times 3,14 \times (0,5 \times 1)^2 \\
&= 18,47 \text{ m}^3/\text{s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
E_{\text{NO}_2} &= C_{\text{corr}} \times Q \times 0,0036 \times \text{waktu operasi (jam/tahun)} \\
&= 163,09 \text{ mg/Nm}^3 \times 18,47 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,0036 \times 6290 \text{ jam/tahun} \\
&= 68,215 \text{ kg/tahun}
\end{aligned}$$

c. Perhitungan Emisi Partikulat

$$\begin{aligned}
\text{Konsentrasi Partikulat} &= 0 \text{ mg/Nm}^3 \\
\text{O}_2 \text{ correction} &= 0 \\
\text{O}_2 \text{ terukur} &= 12,14 \% \\
\text{Laju alir} &= 23,53 \text{ m/s} \\
\text{Diameter stack} &= 1 \text{ m} \\
\text{Jam operasi} &= 6290 \text{ jam} \\
C_{\text{corr}} &= C_{\text{terukur}} \times (21 - \text{O}_2\text{corr}) / (21 - \text{O}_2\text{terukur}) \\
&= 0 \text{ mg/Nm}^3 \times (21 - 0) / (21 - 12,14) \\
&= 0 \text{ mg/Nm}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= v \cdot A \\
 &= 23,53 \text{ m/s} \times 3,14 \times (0,5 \cdot 1)^2 \\
 &= 18,47 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{SO}_2} &= C_{\text{corr}} \times Q \times 0,0036 \times \text{waktu operasi (jam)} \\
 &= 0 \text{ mg/Nm}^3 \times 18,47 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,0036 \times 6290 \text{ jam/tahun} \\
 &= 0 \text{ kg/tahun}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk ringkasan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan Beban Emisi SO_x, NO_x, dan Partikulat

Emisi	Konsent rasi	O ₂ correct ion	O ₂ teru kur	Laju Alir	Diam eter Stack	Konsent rasi Koreksi	Q	Jam Oper asi	Beban Emisi	
	mg/Nm ₃	-	%	m/s	m	mg/Nm ₃	m ³ /d etik	jam	kg	ton
SO ₂	132.36	0	12.14	23.53	1	313.72	18.47	6290	131,216	131
NO ₂	68.81	0	12.14	23.53	1	163.09	18.47	6290	68,215	68
Total Partikel	0	0	12.14	23.53	1	0.00	18.47	6290	-	-

4.1.3 Emisi yang dihasilkan dalam 1 KWh listrik

Pada proses produksi diketahui bahwa jumlah produk yang dihasilkan PT. Indonesia Power Pesanggaran yaitu sebesar 1.006.143.014 kWh/tahun. Maka dilakukan perhitungan beban emisi dalam satuan kWh/produk. Perhitungan dalam 1 kWh dilakukan dengan cara membagi beban emisi yang terbentuk dengan total produk yang dihasilkan. Berikut perhitungan dari beban emisi proses pengolahan:

Perhitungan total emisi CO₂ per produk :

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah emisi} &= \text{Emisi} / \text{Jumlah produk} \\
 &= \frac{457.809.270 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}}{1.006.143.014 \text{ kWh/tahun}} \\
 &= 0,4550141 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk hasil perhitungan parameter emisi per produk lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Emisi yang dihasilkan per 1 kWh produk listrik

Jumlah Produk (kWh/tahun)	Jumlah Emisi yang dihasilkan (kg/tahun)					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO _x	NO _x	PM
1006143014	457809270	21389.45	4277.89	131216.1	68215.31	0
	Jumlah Emisi yang dihasilkan per satuan produk (kg/tahun)					
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO _x	NO _x	PM
	0.4550141	2.13E-05	4.25E-06	0.00013	6.78E-05	0

Untuk membandingkan nilai beban emisi dengan *benchmarking* intensitas emisi Gas Rumah Kaca (GRK) menurut Peraturan Direktur Jendral Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan nomor: P.18/PPKL/SET/KUM.1/10/2018. 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. menurut IPCC tahun 2007, GWP merupakan Indeks GRK dengan CO₂ yang memiliki nilai 1, CH₄ mempunyai nilai 25, dan N₂O mempunyai nilai 298. Sehingga perhitungan nilai CO₂-eq sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2\text{-eq} &= (467.556.162 \text{ kg CO}_2 \times 1) + (21.764,33 \text{ kg CH}_4 \times 25) + \\
 &(4352,87 \text{ kg N}_2\text{O} \times 298) \\
 &= 469.397.424 \text{ kg CO}_2\text{-eq/tahun} \\
 &= 469.397,42 \text{ ton CO}_2\text{-eq/tahun}
 \end{aligned}$$

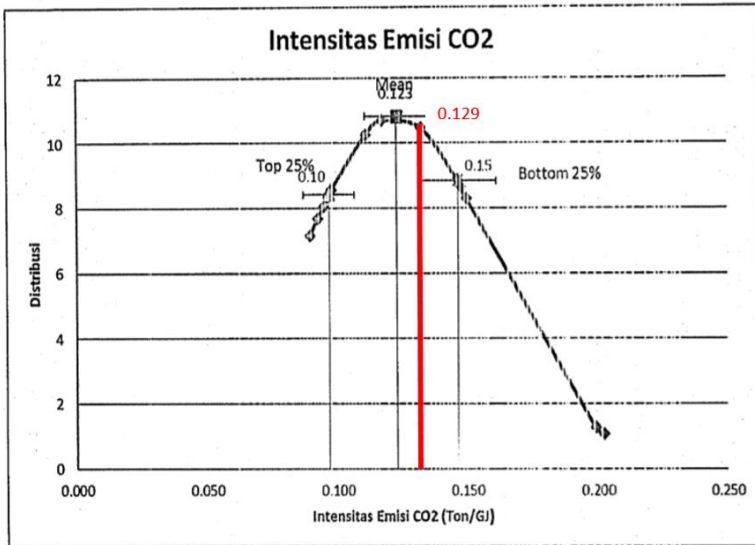
Sehingga, hasil perhitungan CO₂ *Equivalen* diatas dapat disimpulkan bahwa emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama satu tahun di PT. Indonesia Power Pesanggaran adalah sebesar 469.397,42 ton CO₂-eq/tahun.

Produksi listrik di PT. Indonesia Power Pesanggaran selama satu tahun adalah sebesar 1.006.143.014 kWh. Maka, *benchmarking* emisi CO₂-eq adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Emisi CO}_2 \text{ (Ton/GJ)} &= \frac{\text{emisi (ton CO}_2\text{-eq)}}{\text{produksi listrik (GJ)}} = \frac{469.397,42 \text{ ton CO}_2\text{-eq}}{3.622.155 \text{ GJ}} \\ &= 0,129 \text{ Ton/GJ} \end{aligned}$$

Benchmarking mengenai emisi udara PT. Indonesia Power Pesanggaran dapat dilihat pada Gambar 4.2

A. ACUAN DATA BENCHMARKING INTENSITAS EMISI GAS RUMAH KACA



Gambar 4.2 Benchmarking Intensitas Emisi PT. Indonesia Power Pesanggaran

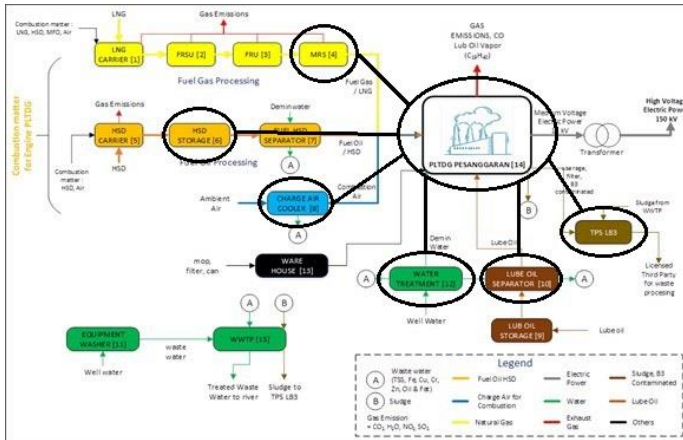
Berdasarkan Gambar 4.2, diketahui bahwa PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran memiliki intensitas emisi dibawah rata-rata jika dibandingkan dengan acuan data benchmarking intensitas emisi gas rumah kaca PPKL tahun 2018.

4.2 Analisis Life Cycle Assessment

Analisis LCA adalah sebuah teknik yang digunakan untuk melakukan penilaian terhadap dampak lingkungan yang berhubungan dengan suatu produk. Tahapan penilaian dampak lingkungan terhadap proses produksi listrik dilakukan sebagai berikut ini:

4.2.1 Penentuan Goal and Scope

Penelitian ini salah satunya bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan akibat gas rumah kaca dan pencemar udara selama proses produksi listrik. Dengan batasan penelitian adalah proses utama dari produksi listrik di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran yang dimulai dari LNG Tank, HSD Tank, Water Tank hingga turbin dan generator. Penentuan proses yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 4.3. metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis dampak yang terjadi adalah *Eco Indicator 99*. Pada metode ini dampak terhadap lingkungan yang dianalisis adalah *climate change, ozone layer depletion, acidification/ eutrophication, carcinogenesis, respiratory organic effects, respiratory inorganic effects, land use, minerals 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 menjadi tiga kategori yaitu *human health, ecosystem quality* dan *resources*.



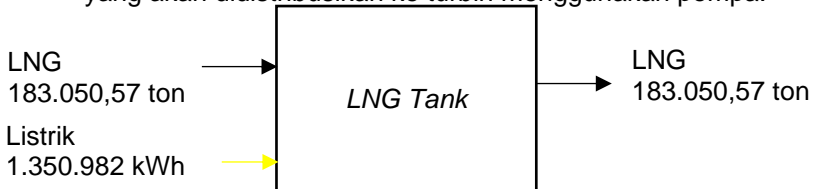
Gambar 4.3 Proses Produksi Listrik PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran

4.2.2 Penentuan *Life Cycle Inventory*

Analisis data membutuhkan input data yang meliputi kesetimbangan massa dan spesifik data yang didapat dari PT. Indonesia Power Pesanggaran. Berikut analisis dari *life cycle inventory*:

1. LNG Tank

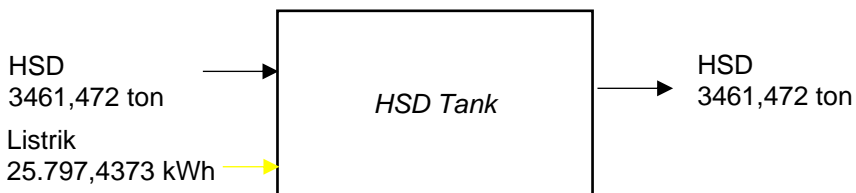
LNG Tank adalah unit penampung bahan bakar LNG yang akan didistribusikan ke turbin menggunakan pompa.



Gambar 4.4 Mass Balance LNG Tank
Sumber: PT. Indonesia Power Pesanggaran

2. HSD Tank

HSD Tank memiliki fungsi sama dengan LNG Tank yang merupakan unit penampung bahan bakar HSD yang akan didistribusikan ke turbin menggunakan pompa.

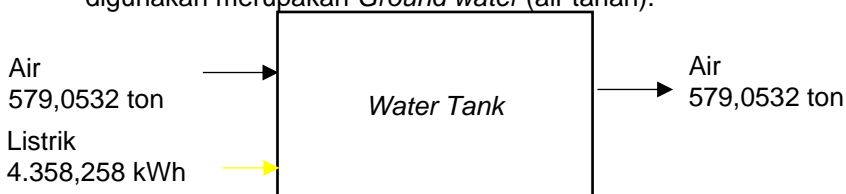


Gambar 4.5 Mass Balance HSD Tank

Sumber: PT. Indonesia Power Pesanggaran

3. Water Tank

Water tank adalah unit penampung air dan akan didistribusikan ke turbin menggunakan pompa. Air yang digunakan merupakan *Ground water* (air tanah).

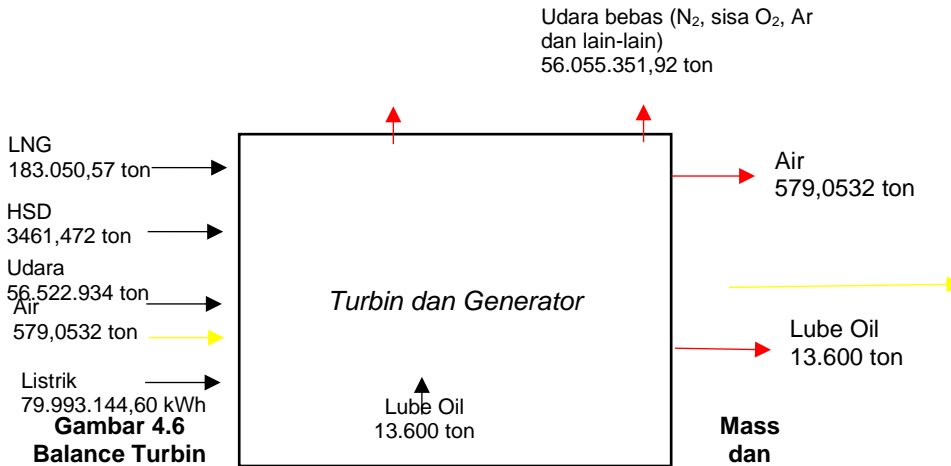


Gambar 4.6 Mass Balance Water Tank

Sumber: PT. Indonesia Power Pesanggaran

4. Turbin dan Generator

Turbin adalah alat yang digunakan untuk mengubah tenaga dari bahan bakar menjadi energi mekanik. Putaran turbin (energy mekanik) akan diubah menjadi energi listrik oleh generator.



Gambar 4.7 Mass Balance Turbin dan Generator

Sumber: PT. Indonesia Power Pesanggaran

4.2.3 Penentuan *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 9.0.0 yang digunakan adalah metode *Eco Indicator 99*. Metode EI 99 ini memiliki 11 kategori dampak, yaitu *climate change*, *ozone layer depletion*, *acidification/eutrophication*, *carcinogenesis*, *respiratory organic effects*, *respiratory inorganic effects*, *land use*, *minerals dan fossil fuels* yang termasuk dalam tiga kategori utama yaitu *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*. Penjelasan kategori utama yang terdapat pada metode *Eco Indicator 99* sebagai berikut:

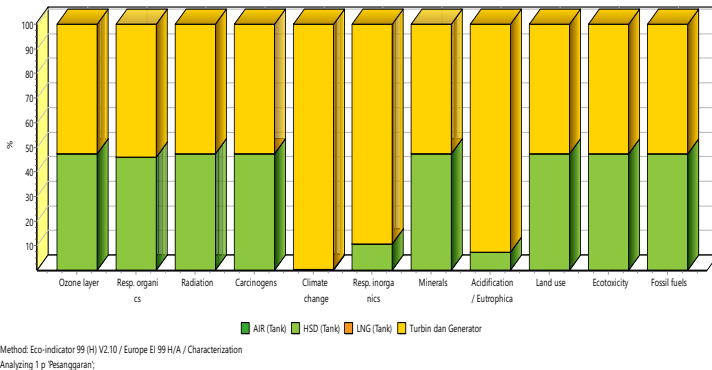
1. *Disability Adjust Life Years (DALY)* merupakan satuan untuk *damage category Human Health* yang memiliki arti jumlah tahun untuk kehidupan yang hilang/kehidupan yang cacat. Menurut Goedkoop dan Reniide (2000), kategori dampak lingkungan yang masuk dalam kategori *human health* adalah *carcinogenesis*, *climate change*,

respiratory organic and inorganic effects, ozone layer depletion.

2. *Potentially Disappear Fraction* (PDF*m2yr) merupakan satuan untuk *damage category ecosystem quality* yang memiliki arti hilangnya spesies (hewan/tumbuhan) pada area per meter persegi dalam satu tahun (Kusumawardani, 2017). Menurut Goedkoop and Renilde (2000), kategori dampak lingkungan yang termasuk dalam kategori kerusakan kualitas ekosistem adalah *ecotoxicity, acidification atau eutrophication* dan *land use*.
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 energy yang dikeluarkan dalam satu tahun di bumi (Kusumawardani, 2017). Kategori dampak lingkungan yang masuk ke dalam kategori *Resources* adalah mineral dan *fossil fuels* (Goedkoop dan Renilde, 2000).

4.2.3.1 Tahap Karakterisasi

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 9.0.0 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran, yaitu proses produksi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Diagram Karakterisasi Proses Produksi Listrik

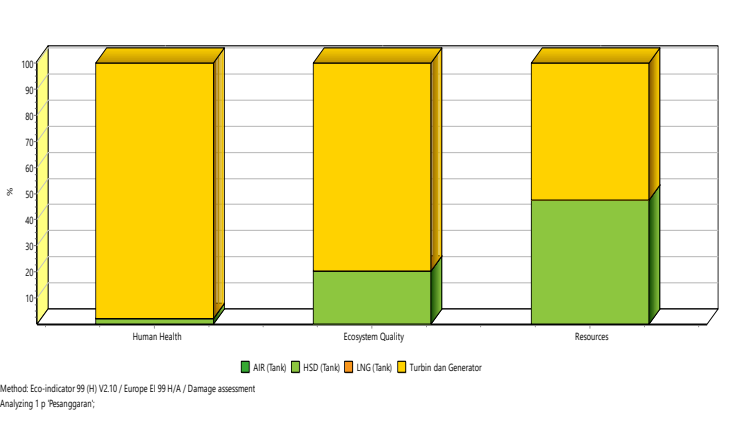
Tahap karakterisasi pada metode penilaian dampak EI 99 yang digunakan didalam *software* SimaPro menjelaskan bahwa, nilai karakterisasi dan normalisasi dilakukan dengan menggunakan data ekstraksi sumber daya alam dan emisi. Setelah kategori dampak telah ditentukan berdasarkan kontribusi relative masing-masing *input* dan *output* dari suatu system produk terhadap beban lingkungan, kategori dampak tersebut dikonversi menjadi indicator yang mewakili dampak potensial terhadap lingkungan. Nilai dampak karakterisasi didapat dari perhitungan yang dilakukan secara otomatis oleh aplikasi SimaPro 9.0.0.

Berdasarkan Gambar 4.7, diketahui bahwa pada proses produksi listrik yang memiliki dampak terbesar adalah *fossil fuels*, dibandingkan dengan kategori dampak lainnya, dikarenakan penggunaan *High Speed Diesel* (HSD) sebagai salah satu bahan bakar pada produksi listrik. Pengambilan HSD tersebut mengakibatkan dampak terhadap penurunan sumber daya alam. Kemudian untuk dampak *respiratory organic* dan *inorganic effects*, *climate change* dan *ozone layer depletion*, *acidification/eutrophication*, *carcinogens* diakibatkan oleh emisi yang dikeluarkan pada unit turbin dan generator. Emisi yang dikeluarkan oleh unit turbin dan generator adalah CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, SO_x dan PM. Dampak *land use* disebabkan oleh *output* kegiatan produksi listrik yang dapat mempengaruhi kualitas

ekosistem di sekitar area proses produksi, yang mana dapat mengakibatkan rusak/hilangnya spesies/ekosistem di area tersebut. Dampak radiasi disebabkan oleh penggunaan energy listrik yang cukup besar dalam proses produksi listrik. *Ecotoxicity* adalah potensi kerusakan ekologis akibat bahan kimia yang dikeluarkan ke lingkungan dan terakumulasi.

4.2.3.2 Tahap Damage Assessment

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 9.0.0 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran, yaitu proses produksi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.9 Diagram *Damage Assessment* Proses Produksi Listrik

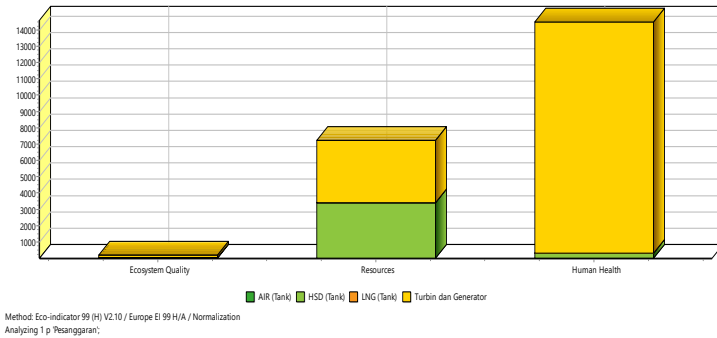
Diagram *damage assessment* dalam metode EI 99, menyatakan bahwa pada tahap ini dampak-dampak yang terdapat pada tahap karakterisasi digolongkan ke dalam tiga kategori kerusakan, yaitu *human health*, *ecosystem quality* dan *resources*. Menurut Pre Consultant (2000), tahap *damage assessment* menggambarkan penyakit yang diprediksi sekarang dapat diekspresikan ke dalam unit kerusakan. Pada tahap ini juga dapat diketahui presentasi tanaman dan spesies yang lebih rendah yang terpapar zat beracun. Kerusakan pada spesies yang

lebih tinggi seperti mamalia tidak dihitung, dapat diamsusikan bahwa kerusakan pada tanaman dan organisme tingkat rendah juga mewakili kerusakan populasi hewan yang lebih tinggi.

Berdasarkan Gambar 4.8, pada proses produksi listrik yang memiliki kerusakan terbesar adalah kategori kerusakan sumber daya alam (*resources*) dibandingkan dengan kerusakan 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 *carcinogenesis*, *climate change*, *respiratory organic and inorganic effects*, *ozone layer depletion* digolongkan dalam kategori penurunan kesehatan manusia (*human health*) dan dampak *ecotoxicity*, *acidification* atau *eutrophication* dan *land use* digolongkan ke dalam kategori kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*). Adanya kategori kerusakan kualitas ekosistem pada tahap ini dikarenakan proses produksi listrik pada turbin dan generator yang menghasilkan emisi gas buang berupa CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, SO_x dan PM yang mengakibatkan ekosistem di area tersebut terpapar oleh zat-zat beracun, sehingga menghilangnya organisme tingkat rendah. Emisi gas buang dari unit turbin dan generator tersebut mengakibatkan terganggunya kesehatan manusia karena terpapar oleh zat-zat beracun yang lepas ke udara.

4.2.3.3 Tahap Normalisasi

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 9.0.0 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran, yaitu proses produksi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.10 Diagram Normalisasi Proses Produksi Listrik

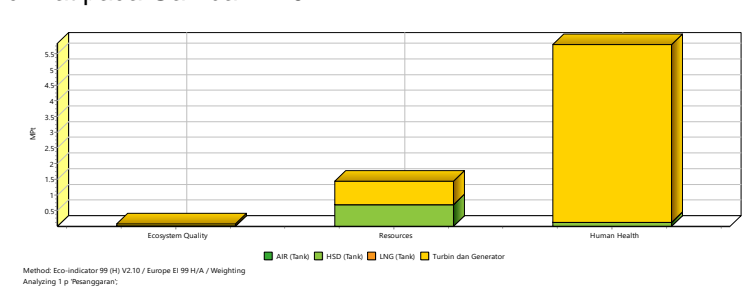
Tahap normalisasi merupakan proses analisa data, dimana membandingkan indicator dampak dengan antara kategori dampak. Tujuan dari penyetaraan satuan disini agar penilaian dampak (*impact assessment*) yang dihasilkan pada proses *running* SimaPro dapat dibandingkan satu sama lain. Dampak yang dihasilkan dari kegiatan proses produksi listrik kemudian dikonversi ke dalam satuan yang sama dengan membagi dengan nilai referensi yang dipilih.

Berdasarkan Gambar 4.9, diketahui bahwa pada proses produksi listrik, tahap normalisasi menunjukkan bahwa kategori kerusakan *human health* yang terbesar dibandingkan kategori lainnya. Besarnya nilai kategori *human health* pada tahap ini dikarenakan pada perhitungan normalisasi menggunakan nilai indikator dari tahap karakterisasi. Nilai dampak *climate change* merupakan dampak terbesar karena dalam metode EI 99 ini mempunyai faktor normalisasi yang kecil sehingga hasil dampaknya menjadi besar. Kategori *human health* disebabkan oleh berbagai emisi gas buang ke udara, yang mengakibatkan gangguan kesehatan manusia hingga dapat menyebabkan kematian. Nilai normalisasi terbesar kedua adalah *resources*. Besarnya nilai kategori *resources* pada tahap ini dikarenakan nilai dampak *fossil fuels* pada tahap karakterisasi yang memiliki nilai dampak yang besar. Nilai normalisasi terkecil adalah *ecosystem quality* dari tahap *damage assessment* sebelumnya, dikarenakan nilai indikator pada tahap karakterisasi dari masing-masing

dampak selain kecil, juga disebabkan oleh besarnya potensial dari dampak tersebut yang disesuaikan dengan area geografis.

4.2.3.4 Tahap Pembobotan

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 9.0.0 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran, yaitu proses produksi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.11 Diagram Pembobotan Proses Produksi Listrik

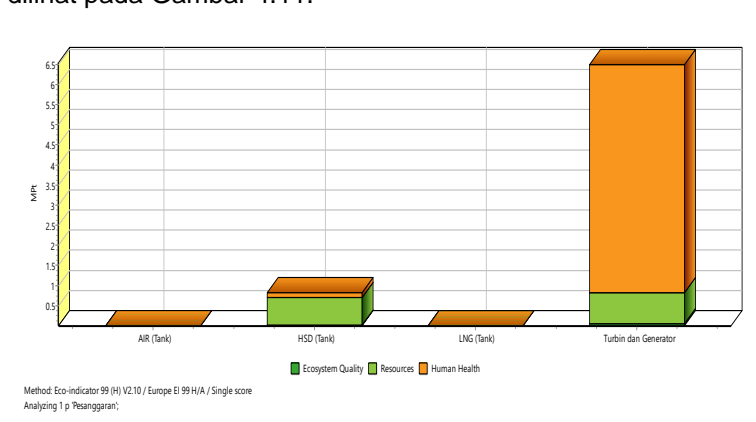
Tahap pembobotan pada dasarnya sama seperti tahap normalisasi, yaitu berdasarkan ISO 14040 termasuk sebagai tahap opsional. Normalisasi dan pembobotan merupakan tahap penting ketika beberapa solusi perlu dibandingkan secara jelas. Menurut Menoufi (2011), pembobotan adalah proses pengubahan hasil dari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

Faktor bobot masing-masing kategori dampak mewakili kepentingan relative masing-masing kategori dampak terhadap lingkungan. Faktor-faktor ini bersifat subjektif dan dapat bervariasi sesuai dengan wilayah geografis berdasarkan kriteria social ekonomi. Perbedaan antara langkah normalisasi dan pembobotan dapat dilihat, yaitu normalisasi memberikan dasar untuk membandingkan berbagai jenis kategori kerusakan dengan menyamakan satuannya, sementara pembobotan memberikan

nilai relative pada dampak yang berbeda kategorinya berdasarkan kepentingan atau relevansi yang ditimbulkan.

4.2.3.5 Tahap Single Score

Berikut ditampilkan hasil analisis *running* SimaPro 9.0.0 pada rangkaian proses utama yang terdapat di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran, yaitu proses produksi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.12 Diagram Single Score Proses Produksi Listrik

Berdasarkan Gambar 4.10 diketahui bahwa, pada proses produksi listrik yang menghasilkan dampak terbesar adalah kategori *human health*. Yang berarti bahwa kategori penurunan kesehatan manusia (*human health*) memiliki kepentingan yang cukup besar terhadap beban lingkungan yang ditimbulkan dibandingkan kategori kerusakan lainnya.

Tahap *single score* sama dengan tahap 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 system yang dianalisis serta untuk diketahuinya hotspot yang memiliki nilai dampak terbesar terhadap lingkungan.

Sesuai Gambar 4.10, proses produksi listrik pada turbin dan generator menghasilkan dampak terbesar dibandingkan dengan unit lainnya yaitu sebesar 6,49 MPt. Kategori dampak

yang dapat ditimbulkan dari kegiatan produksi listrik adalah kategori dampak *climate change* dibandingkan dampak lainnya. Kategori kerusakan yang dapat ditimbulkan dari kegiatan produksi listrik adalah kategori kesehatan manusia (*human health*) dibandingkan dengan kategori kerusakan lainnya.

Besarnya nilai kategori dampak dalam hal ini adalah *climate change* dan besarnya kategori kerusakan penurunan kesehatan manusia (*human health*) memiliki keterkaitan satu sama lain, berdasarkan metode penilaian dampak yang digunakan dalam *software* SimaPro 9.0.0 yaitu EI 99. Kategori kerusakan terhadap penurunan kesehatan manusia (*human health*), pada proses produksi listrik disebabkan oleh emisi yang dihasilkan dari turbin dan generator. Pembakaran bahan bakar pada unit turbin dan generator menghasilkan emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, SO_x dan PM. Selain *climate change*, kategori dampak *carcinogenesis, respiratory organic and inorganic effects, ozone layer depletion* juga mempengaruhi penurunan kesehatan manusia (*human health*).

Kerusakan penurunan sumber daya alam (*resources*) disebabkan karena penggunaan bahan bakar *High Speed Diesel* (HSD) yang merupakan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, pengambilan minyak bumi tersebut mengakibatkan berkurangnya ketersediaan minyak bumi yang mengakibatkan dampak terhadap penurunan sumber daya alam (*resources*).

Untuk kategori kerusakan kualitas ekosistem (*ecosystem quality*) dari proses produksi listrik, disebabkan oleh adanya penggunaan lahan operasional PLTDG untuk proses produksi listrik. Penggunaan lahan tersebut mengakibatkan berubahnya kualitas ekosistem, dalam hal ini adalah menghilang/rusaknya spesies/ekosistem di area proses produksi listrik di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran.

4.2.4 Interpretasi Analisis *Life Cycle Impact Assessment*

Berdasarkan hasil analisis tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) pada proses produksi listrik, dapat diketahui bahwa proses yang memiliki dampak sangat besar terhadap lingkungan adalah proses pada unit turbin dan generator dengan nilai dampak sebesar 6,49 MPt. Hasil analisis dengan menggunakan *software* SimaPro 9.0.0 untuk nilai kategori

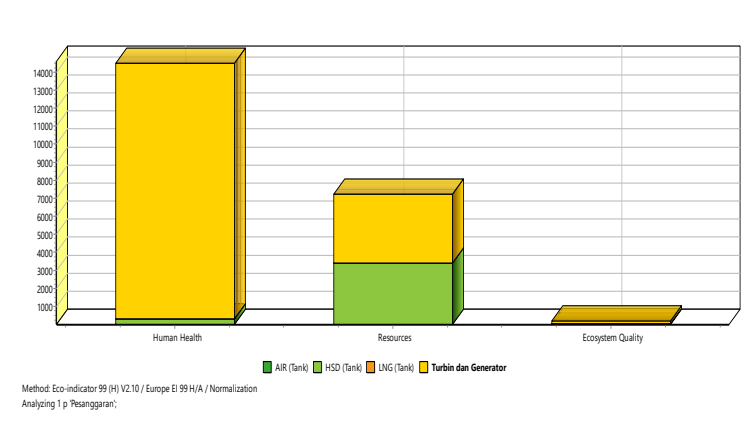
kerusakan penurunan kesehatan manusia (*human health*) pada unit turbin dan generator adalah sebesar 124 DALY. Hal ini berarti apabila kehidupan seseorang seharusnya bisa mencapai usia 150 tahun, harus rela berkurang usianya sebanyak 124 tahun atau harus rela mengalami cacat dalam usia 124 tahun dalam hidupnya. Untuk kategori *ecosystem quality* adalah sebesar $7,95 \times 10^5$ PDF.m². year yang berarti pada area permeter persegi dalam satu tahun terjadi kepunahan terhadap 795.000 spesies hewan atau tumbuhan. Sedangkan untuk kategori *resources* sebesar 2.86×10^7 MJ *surplus* adalah kelebihan energy yang digunakan pada saat ini yang seharusnya dapat digunakan untuk kepentingan masa depan.

4.2.5 Evaluasi Life Cycle Assessment

ISO 14040 (2006) adalah pedoman yang digunakan untuk melakukan analisis LCA. Tujuan dari dilakukannya evaluasi LCA untuk membangun dan meningkatkan kepercayaan dan keandalan dari hasil analisis LCA. Evaluasi ini dilakukan sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Dalam evaluasi LCA ada tiga teknik evaluasi yang perlu dipertimbangkan yaitu pemeriksaan kelengkapan (*completeness check*), pemeriksaan sensitivitas (*sensitivity check*) dan pemeriksaan konsistensi (*consistency check*).

4.2.5.1 Completeness check

Completeness Check adalah proses verifikasi apakah informasi dan data dari tahap LCA cukup untuk mencapai kesimpulan sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Informasi dan data yang diberikan harus relevan dan lengkap dalam analisis LCA. Jika terdapat data yang hilang atau tidak relevan dengan analisis LCA 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 jelas diberikan untuk tidak menggunakan data tersebut harus jelas.



Gambar 4.13 Diagram Perhitungan Normalisasi
Sumber: Hasil SimaPro 9.0.0

Tabel 4.6 Perhitungan Normalisasi

Damage category	Total	AIR (Tank)	HSD (Tank)	LNG (Tank)	Turbin dan Generator
Human Health	14486.91	0.060885629	290.27816	0.018507	14196.552
Resources	7212.3998	0.016270451	3418.6375	0.004946	3793.7411
Ecosystem Quality	174.08517	0.000595627	35.203447	0.000181	138.88095

Sumber: Hasil SimaPro 9.0.0

4.2.5.2 Consistency Check

Consistency Check adalah proses verifikasi bahwa asumsi, metode, dan data diterapkan secara konsisten di seluruh penelitian dan sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian yang dilakukan sebelum kesimpulan tercapai. Konsistensi asumsi, metode dan data ini bertujuan untuk memudahkan pemahaman pada analisis LCA sehingga tidak terjadi multi-tafsir dalam analisis LCA. Selain itu, konsistensi asumsi, metode dan data dilakukan untuk menunjukkan hasil dari analysis yang sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian.

4.2.5.3 Sensitivity Check

Sensitivity check adalah proses verifikasi bahwa informasi yang diperoleh dari analisis sensitivitas relevan untuk mencapai kesimpulan dan untuk memberikan rekomendasi. Tujuan dari pemeriksaan sensitivitas yaitu untuk menilai keandalan hasil akhir dan kesimpulan dengan menentukan apakah mereka dipengaruhi oleh asumsi, metode dan ketidakpastian dalam data yang dibuat dalam studi LCA.

Sensitivity check dilakukan dalam penelitian ini menggunakan hasil analisis LCIA proses produksi listrik. Dimana analisis LCIA proses produksi listrik menunjukkan bahwa kategori dampak yang paling besar adalah *fossil fuels* dan kategori kerusakan yang dapat ditimbulkan adalah kategori *human health* yang nilai dampaknya paling besar terhadap lingkungan. Perhitungan *sensitivity check* dilakukan dengan memilih dampak dan unit yang berkontribusi menghasilkan dampak paling besar. Lalu melakukan analisis sensitivitas dengan melakukan variasi input yaitu -25%, basis, dan +25%. Dan melakukan uji signifikansi. Data dikatakan signifikan apabila signifikansinya $\geq 10\%$. Rumus yang digunakan untuk analisis signifikansi adalah

$$\text{Signifikansi -25\%} = [(b) - (a)] / (b)$$

$$\text{Signifikansi +25\%} = [(c) - (b)] / (b)$$

Tabel 4.7 Analisis Sensitivitas

substansi	satuan	input kontributor CO2		
		-25%	basis	+25%
CO ₂	ton CO ₂	8.374.563,578	11.166.084,77	13.957.605.96

Selanjutnya melakukan analisis signifikansi pada dampak keseluruhan unit proses. Dapat dilihat pada table 4.10.

Table 4.8 Analisis Signifikansi

unit	substansi	satuan	total dampak seluruh unit proses			signifikansi terhadap basis	
			-25%	basis	25%	-25%	25%
turbin dan generator	CO2	kg CO2 eq	8374563.578	11166084.77	13957605.96	25	25

Dari hasil analisis signifikansi dapat dikatakan signifikan karena mendapatkan hasil $\geq 10\%$ yaitu sebesar 25%.

4.3 Alternatif Perbaikan

Alternatif perbaikan yang digunakan pada proses utama maupun penunjang seperti pada unit *LNG Tank*, *HSD Tank*, *Water Tank*, Turbin dan Generator dalam kegiatan produksi listrik di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran merupakan alternatif yang didapatkan dari hasil analisis dan hasil diskusi dengan pihak terkait yang bekerja pada proses produksi listrik serta dengan dosen pembimbing. Berdasarkan hasil analisis LCA, alternatif perbaikan yang dikaji lebih mengutamakan pada titik *hotspot* yang berada pada unit turbin dan generator. Pada unit ini dampak *human health* memiliki nilai terbesar yang disebabkan oleh emisi gas buang dari proses produksi listrik. Pemilihan alternatif perbaikan juga dilakukan dengan studi literature yang didapatkan pada jurnal maupun analisis terhadap laporan perusahaan. Beberapa alternatif yang digunakan sebagai tujuan untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi sesuai analisis LCA seperti berikut:

1. Substitusi bahan bakar diesel dengan biodiesel
Biodiesel merupakan bahan bakar yang terbuat dari minyak nabati yang berasal dari berbagai jenis biji-bijian. Pencampuran 25% biodiesel pada BBM solar sebagai bahan bakar turbin efektif menurunkan emisi SO_2 21,8%. Berbeda pada sebagian besar hasil pengujian penggunaan biodiesel pada mesin diesel, penggunaan biodiesel pada turbin juga berkontribusi pada penurunan emisi NO_x sebesar 25,3% (Leily,2015)
2. *Moving bed*
Moving bed merupakan alat yang dapat ditambahkan pada unit turbin dan generator yang berguna untuk mengurangi emisi CO_2 sebesar 90% dengan cara mengekstraksi gas buang dan menangkap gas CO_2 .

4.3.1 Skenario Alternatif Perbaikan

Skenario ini dibuat berdasarkan alternatif perbaikan yang telah didapat dan digabungkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dalam penurunan dampak terhadap lingkungan. Pemilihan skenario dilakukan berdasarkan titik *hospot* dari hasil analisis LCA yaitu pada unit turbin dan generator dengan dampak terbesar *Human Health*. Material yang dominan menyebabkan dampak tersebut muncul antara lain penggunaan listrik dan bahan bakar. Setelah mendapatkan skenario alternatif perbaikan dilakukan literasi atau *running* kembali ke aplikasi simapro. Berikut skenario alternatif perbaikan yang telah dilakukan iterasi menggunakan aplikasi simapro:

1. Skenario I (Biodiesel)

Pada skenario I digunakan alternative berupa substitusi bahan bakar diesel menjadi biodiesel. Dari scenario I dilakukan running kembali menggunakan SimaPro 9.0.0. setelah dilakukan *running* dibandingkan dampak sebelum dan sesudah *running* dengan scenario I. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.10 hasil perbandingan dampak sebelum dan sesudah adanya alternative perbaikan scenario I.

Tabel 4.9 Perbandingan Dampak Lingkungan antara Sebelum dan Sesudah Alternatif Perbaikan Skenario I

Dampak	Unit	Sebelum	Sesudah	Presentase (%)
Resources	MJ surplus	54433206	47272236	13
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	995910.6	696366.1	30
Human Health	DALY	126.9668	120.3178	5

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil diatas dapat diketahui bahwa dampak yang mengalami perubahan secara signifikan adalah *ecosystem quality* dengan presentase penurunan sebesar 30%. Sedangkan dampak yang mengalami perubahan terkecil adalah *human health* dengan presentase penurunan sebesar 5%.

2. Skenario II (*moving bed*)

Pada skenario II digunakan alternative berupa penambahan alat *moving bed* pada turbin dan generator. Dari skenario II dilakukan running kembali menggunakan SimaPro 9.0.0. setelah dilakukan *running* dibandingkan dampak sebelum dan sesudah *running* dengan skenario II. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.10 hasil perbandingan dampak sebelum dan sesudah adanya alternative perbaikan skenario II.

Tabel 4.10 Perbandingan Dampak Lingkungan antara Sebelum dan Sesudah Alternatif Perbaikan Skenario II

Dampak	Unit	Sebelum	Sesudah	Presentase (%)
Resources	MJ surplus	54433206	47272236	13
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	995910.6	802389.7	19
Human Health	DALY	126.9668	26.80689	79

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil diatas dapat diketahui bahwa dampak yang mengalami perubahan secara signifikan adalah *human health* dengan presentase penurunan sebesar 79%. Sedangkan dampak yang mengalami perubahan terkecil adalah *resources* dengan presentase penurunan sebesar 13%. jika dilihat dari grafik, perubahan penurunan dampak dapat dilihat pada Gambar 4.18.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Beban emisi terbesar yang dihasilkan dari proses kegiatan produksi listrik di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran yaitu CO₂ sebesar 467.556.162 kg/tahun
2. Dampak terbesar pada proses produksi listrik di PLTDG PT. Indonesia Power Pesanggaran adalah dampak pada penurunan kesehatan manusia (*human health*) dan penurunan sumber daya alam (*resources*). Unit yang memiliki dampak paling besar terhadap lingkungan adalah unit turbin dan generator dengan nilai dampak sebesar 6,49 MPt dan nilai pada masing-masing kategori kerusakan sebesar 124 DALY untuk *human health*, Untuk kategori *ecosystem quality* adalah sebesar $7,95 \times 10^5$ PDF.m². year dan untuk kategori *resources* sebesar 2.86×10^7 MJ surplus.
3. Terdapat skenario alternatif perbaikan paling efektif guna mereduksi emisi dari hasil penelitian yaitu Skenario II (*moving bed*). Skenario ini dapat menurunkan dampak secara signifikan adalah *human health* dengan presentase penurunan sebesar 79%, sedangkan dampak yang mengalami penurunan terkecil adalah *resources* sebesar 13%.

5.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah:

1. Perlu dilakukan kajian mengenai keseluruhan proses sehingga pada proses pengolahan data tidak banyak menggunakan asumsi-asumsi pada nilai yang dihasilkan pada tiap tiap proses.

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Juni. 2018. Tingkat Pengetahuan Masyarakat Tentang Pengaruh Polusi Udara Terhadap Penyakit Ispa Di Puskesmas Perawatan Betungan Kota Bengkulu. *Jurnal Ilmu Keperawatan Dan Kesehatan*. Vol 6 No 1
- Awofeso, Niyi. 2011. Generator Diesel Exhaust: a Major Hazard to Health and the Environment in Nigeria. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Vol. 183, No. 10: e1437.
- Direktorat Jendral Ketenagalistrikan. 2017. Statistik Ketenagalistrikan 2017. Edisi No. 31 Tahun Anggaran 2018. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, Jakarta.
- Direktorat Jendral Ketenagalistrikan. 2017. Statistik Ketenagalistrikan 2017. Edisi No. 31 Tahun Anggaran 2018. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, Jakarta.
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Pulisi Aur dan Udara*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Gusnita, Dessy. 2014. Pencemaran Smog (Asap Kabut) Sebagai Dampak Aktivitas Antropogenik. *Berita Dirgantara* Vol. 15 No. 2 Desember 2014:84-89
- Hasairin, Ashar, Rosliana Siregar. 2018. Deteksi Kandungan Gas Karbon Monoksida (Co) Hubungan Dengan Kepadatan Lalu-Lintas Di Medan Sunggal, Kota Medan *Jurnal Biosains* Vol. 4 No. 1. Maret 2018: 62-68.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia. 2016. Kamus Besar Bahasa Indonesia. Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa. <https://kbbi.kemdikbud.go.id/>

- Loh MM, Levy JI, Spengler JD, Houseman EA, Bennett DH. Ranking cancer risks of organic hazardous air pollutants in the United States. *Environ Health Perspect.* 2007. Crossref, Medline 115:1160–1168.
- Mukono, H.J. 2003. *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya terhadap Gangguan Saluran Pernafasan.* Surabaya: Airlangga University Press)
- Revani, Reza, I Made Ariana, Aguk Zuhdi M.F. Rancang Bangun Alat Pereduksi Particulate Matter (PM) Gas Buang Mesin Diesel dengan Metode Cyclone. *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 1, No. 1 (Sept. 2012): 292-296.
- Salami MA, Adeoye PO, Adegboye V. 2010. Bronchogenic carcinoma: clinicopathologic pattern in Nigerians. *J Clin Oncol* 28: e12065.
- Sekretariat Negara Republik Indonesi. 1999. Peraturan Pemerintah Republik Indonesianomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara.
- Sugiarti. 2009. Gas Pencemar Udara Dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. *Jurnal Chemica* Vol. 10 Nomor 1 Juni 2009, 50-58.
- Susana, Tjutju. Karbon Dioksida. *Oseana*, Volume XIII No. 1, 1988: 1-11
- Triana, Vivi. 2008. Pemansan Global. *Jurnal Kesehatan Masyarakat* Vol 2 Nomor 2, Maret 2008 - September 2008: 159-163.
- Wahyuddin, Putri Puspitasari, Andi Susilawaty, Azriful, Syahrul Basri. 2016. *Higiene.* Volum E 2, No. 1, Januari Higiene - April 2016: 8-14.

- Wiharja. 2002. Identifikasi Kualitas Gas SO₂ di Daerah Industri Pengecoran Logam Ceper. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 3, No. 3, September 2002: 251-255.
- Wijana, Made, A.A. Alit Triadi, dan Lalu Syahrul Anwar. 2016. Studi Kelayakan Penggunaan Mesin Diesel Dengan Metode Break Even Point (Bep) Dan Analisis Sensitivitas Pada Pltd (Studi Kasus : PT PLN Persero Sektor Pembangkitan Lombok PLTD Ampenan). *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 6 No. 1: 60-69.
- Yusad, Yusniwati. 2003. *Polusi Udara Dikota-Kota Besar Dunia*. Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara. Digitized By Usu Digital Library.

Halaman Sengaja Dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Arya Mega Nugraha lahir di Denpasar pada tanggal 13 Juni 1997. Penulis menempuh pendidikan di SD Cipta Dharma Denpasar (2003-2009), SMPN 1 Denpasar (2009-2012), SMAN 1 Denpasar (2012-2015). Pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan terdaftar dengan NRP 03211540000096. Selama masa perkuliahan penulis aktif sebagai staff umum Tim Pembina Kerohanian Hindu ITS (2017-2018) dan sebelumnya sebagai wakil ketua departemen umum Tim Pembina Kerohanian Hindu ITS (2016-2017). Pengalaman Kerja Praktik pada PT Angkasa Pura 1 Bali mengenai air limbah (2018). Apabila ingin menghubungi penulis dapat melalui email arya.mega7@gmail.com

Lampiran Asistensi



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Gede Arya Mega Nugraha
NRP : 0321154000096
Judul : Kajian Dampak Proses Pusat
Listrik Tenaga Diesel dan Gas
(PLTDG) Indonesia Power
Pesanggaran Terhadap
Lingkungan dengan
menggunakan metode Life
Cycle Assessment (LCA)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	26-03- 2020	Input output data masing-masing unit PLTDG Indonesia Power	
2	03-04- 2020	Pembahasan Mass balance	
3	14-04- 2020	Review mass balance dan pembahasan goal and scope	
4	17-04- 2020	Pembahasan Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	
5	22-04- 2020	Review hasil perhitungan LCIA	

6	06-05-2020	Penentuan Hotspot dampak dan hotspot proses	
7	11-05-2020	Pembahasan tahap evaluasi data LCA	
8	16-05-2020	Review hasil kajian LCA	
9	20-05-2020	Pembahasan mengenai program alternative	
10	06-06-2020	Persiapan seminar kemajuan, pembahasan terkait hal hal yang akan dipresentasikan	
11	10-06-2020	Review hasil seminar kemajuan serta perbaikan dan arahan dari masing masing dosen pengarah	
12	09-07-2020	Review hasil perbaikan laporan TA berdasarkan perbaikan dan arahan dari dosen pengarah	
13	17-07-2020	Persiapan ujian lisan, pembahasan terkait hal hal yang perlu disiapkan	
14	21-07-2020	Review hasil ujian lisan serta perbaikan dan arahan dari masing masing dosen penguji	

Surabaya, 3 Agustus 2020
Dosen Pembimbing


Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

Lampiran Berita Acara

Lisan Udara

Lab Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim

Input NRP anda (tanpa spasi, format: 32xxxxxxxxxxxx) *

321154000096

Gede Arya Mega Nugraha (321154000096)

Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT

Saran:

- Cek Penulisan
- Cek Saran Dosen Penguji
- Tambahkan bahasan mengenai Mid Point dan End Point
- Tambahkan durasi startup yang menggunakan Diesel
- Cek kembali Uji Sensitivity
- Tambahkan teori Global Warming
- Kesimpulan diperbaiki

LULUS

Dosen Penguji 1: IDAA Warmadewanthi, ST., MT., PhD

Saran:

Lihat lebih lanjut

LULUS

Dosen Penguji 2: Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

Saran:

Saran sesuai dengan pertanyaan saat ujian lisan

LULUS