



TUGAS AKHIR - RE 184804
KAJIAN DAMPAK PROSES PRODUKSI
PUKUK NPK TERHADAP LINGKUNGAN
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE*
CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Daniar Rahmasari
0321154000025

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

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



TUGAS AKHIR - RE 184804
KAJIAN DAMPAK PROSES PRODUKSI
PUPUK NPK TERHADAP LINGKUNGAN
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIFE*
CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Daniar Rahmasari
0321154000025

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

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



FINAL PROJECT - RE 184804
STUDY ON THE IMPACTS OF NPK
FERTILIZER PRODUCTION PROCESS TO
THE ENVIRONMENT USING LIFE CYCLE
ASSESSMENT (LCA) METHOD

Daniar Rahmasari
0321154000025

Supervisor
Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Planning and Geo Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

Kajian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK 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
Surabaya

Oleh:

DANIAR RAHMASARI

NRP. 03211540000025

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.
NIP. 19660116 199703 1 001



KAJIAN DAMPAK PROSES PRODUKSI PUPUK NPK TERHADAP LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

Nama : Daniar Rahmasari
NRP : 03211540000025
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

ABSTRAK

PT Petrokimia Gresik merupakan penghasil pupuk terlengkap di Indonesia. Salah satu produk yang memiliki kapasitas produksi tertinggi adalah pupuk NPK Phonska. Proses produksi pupuk NPK Phonska menghasilkan emisi gas buang dari proses *dryer*, *scrubber*, *absorber*, serta bahan bakar fosil sebagai pembangkit listrik. Emisi yang dihasilkan dari proses produksi tersebut dapat memberikan efek terhadap pencemaran udara baik lingkup pabrik maupun global.

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi pupuk NPK Phonska melalui pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)*, dengan sistem *Gate to Gate*. Tahap pertama penelitian adalah menghitung beban emisi, selanjutnya merekapitulasi data bahan baku, energi, produk, dan emisi. Data tersebut dimasukkan pada tahap *life cycle inventory* dalam *software* SimaPro 9.0.0. Berdasarkan hasil LCI, dilakukan identifikasi dampak pada tahap *life cycle impact assessment* dengan metode TRACI 2.1 dan CML 1992. Hasil identifikasi dampak merujuk pada penentuan titik *hotspot* proses dan *hotspot* dampak. Langkah selanjutnya adalah menentukan alternatif perbaikan berdasarkan studi literatur dan saran dari pihak PT Petrokimia Gresik.

Adapun hasil perhitungan beban emisi pada proses produksi pupuk NPK Phonska sebesar 36.059.112 kg CO₂/th, 7.260 kg CH₄/th, 4.600 kg N₂O/th, 5.653,81 kg NH₃/th, 965,8 kg F⁻/th, dan 82.783,6 kg partikulat/th. Berdasarkan hasil *running software* SimaPro dengan metode TRACI 2.1, yang menjadi titik *hotspot* proses adalah unit *pre-neutralizer* dengan *hotspot* dampaknya *ecotoxicity*. Sedangkan dengan metode CML 1992, yang menjadi titik *hotspot* proses adalah unit *dryer* dengan

hotspot dampaknya *energy resource*. Alternatif perbaikan yang dapat diterapkan ada 3 yaitu mengganti dengan peralatan baru, melakukan penjadwalan *preventive maintenance*, dan perbaikan isolasi pada pipa uap, pencegahan kebocoran serta perbaikan perilaku.

Kata kunci: LCA, Pupuk NPK, SimaPro, TRACI 2.1, CML 1992

**STUDY ON THE IMPACTS OF NPK FERTILIZER
PRODUCTION PROCESS TO THE ENVIRONMENT USING
LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD**

Nama : Daniar Rahmasari
NRP : 03211540000025
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT.

ABSTRACT

PT Petrokimia Gresik is the most complete fertilizer producer in Indonesia. One of the products that has the highest production capacity is NPK Phonska fertilizer. The production process of NPK Phonska fertilizer produces exhaust emissions from the process of dryer, scrubber, absorber, and fossil fuels as electricity generation. Emissions resulting from the production process can have an effect on air pollution both in the scope of the plant and globally.

This study aims to identify the environmental impact caused by the production process of NPK Phonska fertilizer through the Life Cycle Assessment (LCA), with the Gate to Gate system. The first stage of the study is calculate the load emissions, then recapitulate data on raw materials, energy, products, and emissions. The data is entered at the life cycle inventory stage in software SimaPro 9.0.0. Based on the results of LCI, impacts were identified at the life cycle impact assessment stage using TRACI 2.1 and CML 1992 methods. The results of impact identification refer to the determination of the process hotspot and impact hotspot points. The next step is to determine alternative improvements based on literature studies and suggestions from PT Petrokimia Gresik.

The results of the calculation of emissions load in the production process of NPK Phonska fertilizer amounted to 36.059.112 kg CO₂/year, 7.260 kg CH₄/year, 4.600 kg N₂O/year, 5.653,81 kg NH₃/year, 965,8 kg F/year, and 82.783,6 kg of particulates/year. Based on the results of running SimaPro software with the TRACI 2.1 method, the point of the hotspot process is the pre-neutralizer unit with the hotspot impact is ecotoxicity. Whereas with the 1992 CML method, the point of the

hotspot process is a dryer unit with the hotspot impact is energy resources. There are 3 alternative repairs that can be applied, replacing with new equipment, scheduling preventive maintenance, and repairing insulation on steam pipes, preventing leakage and improving behavior.

Keywords: LCA, NPK Fertilizer, SimaPro, TRACI 2.1, CML 1992

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa, karena berkat limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul Kajian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK Terhadap Lingkungan Dengan Menggunakan 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, dan motivasi yang telah diberikan selama ini.
2. Bapak Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T., Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D, dan Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc. selaku dosen pengarah. Terima kasih atas arahan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
3. Ayah dan Ibu yang telah mendoakan serta memberikan dukungan dan motivasi sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
4. Pembimbing lapangan Bapak Herdy yang telah membantu dalam proses pengambilan data penelitian.
5. Sahabat – sahabat penulis yang telah memberikan motivasi dan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan, khususnya angkatan 2015 yang telah memberikan semangat dalam melaksanakan penelitian.

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 di kemudian hari.

Surabaya, Desember 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pupuk	5
2.1.1. Pupuk NPK	5
2.1.2. Manfaat dan Keunggulan Pupuk NPK	6
2.1.3. Proses Pembuatan Pupuk NPK	6
2.1.4 Emisi Industri Pupuk NPK	11
2.1.5 Efisiensi Proses Industri	11
2.2 Pencemaran Udara	12
2.3 Efek Rumah Kaca	13
2.4 Pemanasan Global	14
2.5 Penipisan Lapisan Ozon	15
2.6 Toksisitas terhadap Manusia	16
2.7 Karakteristik Emisi	16
2.8 Perhitungan Beban Emisi	19
2.9 <i>Life Cycle Assessment</i>	20
2.9.1 Ruang Lingkup LCA	21
2.9.2 Tahapan LCA	22
2.9.3 Manfaat LCA	24
2.10 <i>Software</i> Simapro	25
2.11 TRACI 2.1	27
2.12 CML 1992	28
2.13 Penelitian Terdahulu	29

BAB 3 METODE PENELITIAN	33
3.1 Kerangka Penelitian	33
3.2 Ide Penelitian	34
3.3 Studi Literatur	35
3.4 Pengumpulan Data	35
3.5 Analisis Data dengan <i>Life Cycle Assessment</i>	37
3.5.1 Analisis Beban Emisi pada Proses Produksi	37
3.5.2 Analisis Dampak dengan <i>LCA</i>	38
3.5.3 Penentuan Alternatif Perbaikan	50
3.6 Kesimpulan dan Saran	51
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Profil PT Petrokimia Gresik	53
4.2 Analisa Perhitungan Beban Emisi	55
4.2.1 Perhitungan Beban Emisi Unit RMF	55
4.2.2 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Pre-Neutralizer</i>	56
4.2.3 Perhitungan Beban Emisi Unit Granulator	57
4.2.4 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Dryer</i>	57
4.2.5 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Screening</i>	58
4.2.6 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Cooler</i>	59
4.2.7 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Polishing Screen</i>	60
4.2.8 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Coater</i>	61
4.2.9 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Recycle</i>	61
4.2.10 Perhitungan Beban Emisi Unit <i>Scrubber</i>	62
4.2.11 Beban Emisi Pada Proses Produksi Pupuk NPK Phonska	64
4.2.12 Benchmarking	65
4.3 Life Cycle Assessment	67
4.3.1 Penentuan <i>Goal</i> dan <i>Scope</i>	67
4.3.2 Penentuan <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI)	67
4.3.2.1 Unit <i>Raw Material Feeding</i>	68
4.3.2.2 Unit <i>Pre-Neutralizer</i>	69
4.3.2.3 Unit Granulator	70
4.3.2.4 Unit <i>Dryer</i>	71
4.3.2.5 Unit <i>Screening</i>	72
4.3.2.6 Unit <i>Cooler</i>	74
4.3.2.7 Unit <i>Polishing Screen</i>	75
4.3.2.8 Unit <i>Coater</i>	76

4.3.2.9	Unit <i>Recycle</i>	77
4.3.2.10	Unit <i>Scrubber</i>	79
4.3.3	Penentuan Life Cycle Impact Assessment (LCIA)	79
4.3.4	Interpretasi Data	89
4.3.4.1	Analisis <i>Hotspot</i> Proses dan <i>Hotspot</i> Dampak.....	89
4.3.4.2	Evaluasi <i>Life Cycle Assessment</i>	95
4.4	Alternatif Perbaikan	98
4.4.1	Alternatif Perbaikan	98
4.4.2	Skenario Alternatif Perbaikan	99
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	1055
5.1	Kesimpulan.....	1055
5.2	Saran.....	1066
DAFTAR PUSTAKA	1077
LAMPIRAN		1155
BIOGRAFI PENULIS		1177

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku Mutu Emisi untuk Pabrik Pupuk Majemuk-NPK.....	11
Tabel 2.2	<i>Normalization Factor</i>	23
Tabel 2.2	<i>Normalization Factor</i>	24
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu.....	29
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu.....	30
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu.....	31
Tabel 4.1	Konsumsi Listrik Unit <i>Raw Material Feeding</i>	55
Tabel 4.2	Konsumsi Listrik Unit <i>Pre-Neutralizer</i>	56
Tabel 4.3	Konsumsi Listrik Unit <i>Dryer</i>	57
Tabel 4.4	Konsumsi Listrik Unit <i>Screening</i>	59
Tabel 4.5	Konsumsi Listrik Unit <i>Cooler</i>	59
Tabel 4.6	Konsumsi Listrik Unit <i>Polishing Screen</i>	60
Tabel 4.7	Konsumsi Listrik Unit <i>Coater</i>	61
Tabel 4.8	Konsumsi Listrik Unit <i>Recycle</i>	62
Tabel 4.9	Konsumsi Listrik Unit <i>Scrubber</i>	62
Tabel 4.9	Konsumsi Listrik Unit <i>Scrubber</i>	63
Tabel 4.10	Beban Emisi Keseluruhan Proses	64
Tabel 4.10	Beban Emisi Keseluruhan Proses	65
Tabel 4.11	Nilai Dampak Metode TRACI dan CML	82
Tabel 4.12	Dampak Tahap Karakterisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode TRACI 2.1	83
Tabel 4.13	Dampak Tahap Karakterisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode CML 1992	83
Tabel 4.14	Dampak Tahap Normalisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode TRACI 2.1	87
Tabel 4.15	Dampak Tahap Normalisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode CML 1992	87

Tabel 4.16	Hasil Penilaian Dampak Metode TRACI 2.1	96
Tabel 4.17	Hasil Penilaian Dampak Metode CML 1992	96
Tabel 4.18	Data Deviasi Metode TRACI 2.1	97
Tabel 4.18	Data Deviasi Metode TRACI 2.1	98
Tabel 4.19	Data Deviasi Metode CML 1992.....	98
Tabel 4.20	Penurunan Nilai Dampak Metode TRACI 2.1	99
Tabel 4.21	Penurunan Nilai Dampak Metode CML 1992	100
Tabel 4.22	Penurunan Nilai Dampak Metode TRACI 2.1	101
Tabel 4.23	Penurunan Nilai Dampak Metode CML 1992	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Blok Diagram Proses Produksi Pupuk NPK Phonska	7
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian	34
Gambar 3.3	Skema Data Inventori LCA.....	35
Gambar 3.2	Diagram Proses Produksi.....	36
Gambar 3.4	Skema Analisis Beban Emisi.....	37
Gambar 3.5	Memulai <i>project</i> baru di SimaPro	39
Gambar 3.6	Menuliskan nama <i>project</i> di SimaPro.....	39
Gambar 3.7	Memilih <i>Description</i> di SimaPro	40
Gambar 3.8	Penentuan <i>Goal</i>	40
Gambar 3.9	Penentuan <i>Scope</i>	41
Gambar 3.10	Langkah Awal Inventarisasi.....	42
Gambar 3.11	Langkah Awal Inventarisasi.....	42
Gambar 3.12	Langkah Awal Inventarisasi.....	43
Gambar 3.13	Langkah Awal Inventarisasi.....	43
Gambar 3.14	Mengisi Data Jumlah Produk yang Keluar	44
Gambar 3.15	Mengisi Data Jumlah Produk yang Masuk	45
Gambar 3.16	Mengisi Data Jumlah Emisi yang Keluar	45
Gambar 3.17	Menutup Halaman.....	46
Gambar 3.18	Masuk ke Halaman <i>Product Stages</i>	46
Gambar 3.19	Mengisi Data pada Halaman <i>Product Stages</i>	47
Gambar 3.20	Langkah Awal Menilai Dampak	48
Gambar 3.21	Memilih Metode yang Digunakan	48
Gambar 3.22	Halaman Besaran Nilai Setiap Dampak	49
Gambar 3.23	Halaman Nilai Normalisasi	49
Gambar 3.24	Skema Penentuan Alternatif.....	51
Gambar 4.1	Lokasi PT Petrokimia Gresik.....	54
Gambar 4.2	Blok Diagram Proses Produksi Pupuk NPK Phonska ..	54

Gambar 4.3	<i>Benchmarking</i> Industri Pupuk NPK.....	66
Gambar 4.4	Material Balance Unit <i>Raw Material Feeding</i>	68
Gambar 4.5	Material Balance Unit <i>Pre-Neutralizer</i>	69
Gambar 4.6	Material Balance Unit Granulator	70
Gambar 4.7	Material Balance Unit <i>Dryer</i>	72
Gambar 4.8	Material Balance Unit <i>Screening</i>	73
Gambar 4.9	Material Balance Unit <i>Cooler</i>	74
Gambar 4.10	Material Balance Unit <i>Polishing Screen</i>	75
Gambar 4.11	Material Balance Unit <i>Coater</i>	76
Gambar 4.12	Material Balance Unit <i>Recycle</i>	77
Gambar 4.13	Karakterisasi Penilaian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode TRACI 2.1	84
Gambar 4.14	Karakterisasi Penilaian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode CML 1992	84
Gambar 4.15	Penilaian Dampak Normalisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode TRACI 2.1	88
Gambar 4.16	Penilaian Dampak Normalisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode CML 1992	88
Gambar 4.17	Halaman Normalisasi SimaPro	91
Gambar 4.18	Halaman <i>Specification per Substance</i>	91
Gambar 4.19	Halaman <i>Specification per Process</i>	91
Gambar 4.20	Hasil Penilaian Dampak pada Sensitivity Check Metode TRACI 2.1	96
Gambar 4.21	Hasil Penilaian Dampak pada Sensitivity Check Metode CML 1992	97
Gambar 4.22	Penurunan Dampak Metode TRACI 2.1	100
Gambar 4.23	Penurunan Dampak Metode CML 1992.....	101
Gambar 4.24	Penurunan Dampak Metode TRACI 2.1	102
Gambar 4.25	Penurunan Dampak Metode CML 1992.....	103

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Petrokimia Gresik merupakan penghasil pupuk terlengkap di Indonesia yang memproduksi berbagai jenis pupuk, seperti : Urea, ZA, SP-36, ZK, NPK Phonska, NPK Kebomas, dan organik petrogekanik. Selain pupuk, PT Petrokimia Gresik juga menghasilkan produk non pupuk, antara lain Asam Sulfat, Asam Fosfat, Amoniak, *Dry Ice*, *Aluminium Fluoride*, *Cement Retarder*, dan lain-lain (Shidqi dan Supriono, 2018). Setiap jenis produk yang dihasilkan memiliki kapasitas produksi yang berbeda-beda. Pupuk NPK Phonska memiliki kapasitas produksi tertinggi dibandingkan dengan jenis pupuk yang lain yaitu sebesar 2.250.000 ton/tahun yang diproduksi dalam 4 pabrik (Petrokimia Gresik, 2019). Selama proses produksi pupuk NPK Phonska menghasilkan emisi gas buang. Emisi gas tersebut dihasilkan dari proses *dryer*, *scrubber*, *absorber*, serta bahan bakar fosil sebagai pembangkit listrik (Sarjono, 2017). Penggunaan bahan bakar untuk pembangkit listrik serta emisi yang dihasilkan dari proses produksi dapat memberikan efek lebih terhadap pencemaran udara baik lingkup pabrik maupun secara global.

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien sampai tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Kegiatan pembakaran yang terjadi selama proses produksi di PT Petrokimia Gresik tentu menimbulkan emisi gas buang. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017) emisi berasal dari pembakaran/oksidasi bahan bakar secara sengaja dalam suatu alat dengan tujuan menyediakan panas atau kerja mekanik kepada suatu proses. Penggunaan bahan bakar di industri yang bukan untuk keperluan energi namun sebagai bahan baku proses (misal penggunaan gas bumi pada proses produksi pupuk). Kandungan tertinggi yang dihasilkan dari proses pembakaran adalah gas Karbon Dioksida (CO₂), dimana gas ini sangat berpotensi dalam pembentukan gas rumah kaca (GRK) yang

menyebabkan terjadinya pemanasan global (Harihastuti dkk., 2010). Jenis-jenis emisi Gas Rumah Kaca (GRK) selain karbon dioksida (CO_2) adalah metana (CH_4), nitrous oksida (N_2O), hidrofluorokarbon (HFC_s), perfluorokarbon (PFC_s) dan sulfur heksafluorida (SF_6) (Harkani dan Nurdiana, 2018). Meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca dapat mengakibatkan terjadinya pemanasan global, yang ditandai dengan meningkatnya suhu muka bumi dan peningkatan paras muka laut (Ardhitama dkk., 2017).

Berdasarkan kondisi tersebut, maka perlu dilakukan upaya untuk meminimalisir dampak yang terjadi agar tidak semakin meluas. Menurut Astuti dkk. (2004), Salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak dari suatu produk terhadap lingkungan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA merupakan metode untuk menganalisis dan menghitung penggunaan energi, penggunaan sumber daya alam, pembuangan pada lingkungan, dan mengevaluasi serta menerapkan kemungkinan perbaikan lingkungan (Windianto dkk., 2016). Metode ini nantinya akan menghasilkan *output* berupa proses atau aktivitas yang memberikan dampak paling besar terhadap lingkungan, dimana hasil tersebut akan dijadikan sebagai acuan dalam menentukan alternatif-alternatif perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan (Kautzar dkk., 2015).

Pada pelaksanaannya digunakan *software* SimaPro yang mana SimaPro merupakan sebuah *software* yang dimanfaatkan untuk menghitung atau melakukan analisis LCA. SimaPro merupakan suatu alat profesional yang dapat membantu di dalam suatu proses untuk menganalisa aspek-aspek yang berkaitan dengan lingkungan dari suatu produk yang diproduksi atau jasa (Santoso dan Ronald, 2012). *Software* SimaPro yang digunakan dalam analisa LCA ini adalah SimaPro versi 9.0.0. *Software* SimaPro dengan versi terbaru ini memiliki *update* dari *database-database* standar dalam data inventori. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak yang ditimbulkan pada serangkaian proses produksi pupuk NPK Phonska di PT Petrokimia Gresik. Alternatif perbaikan yang dibuat berdasarkan analisis dengan metode *Life Cycle Assessment* diharapkan

mampu meminimalisir potensi dampak yang terjadi pada proses pengolahan pupuk NPK di PT Petrokimia Gresik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa beban emisi yang dikeluarkan selama proses produksi pupuk NPK di PT Petrokimia Gresik?
2. Bagaimana dampak lingkungan yang ditimbulkan dari kegiatan produksi pupuk NPK di PT Petrokimia Gresik?
3. Alternatif perbaikan apa yang dapat disarankan untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan dari kegiatan produksi pupuk NPK di PT Petrokimia Gresik?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan beban emisi yang ditimbulkan dari kegiatan produksi pupuk NPK di PT Petrokimia Gresik.
2. Menentukan dampak lingkungan yang terjadi akibat kegiatan produksi pupuk NPK di PT Petrokimia Gresik dengan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*.
3. Merekomendasikan alternatif perbaikan untuk meminimalisir dampak dari kegiatan produksi pupuk NPK di PT Petrokimia Gresik.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Pengambilan data dilakukan di PT Petrokimia Gresik.
2. Data yang diperlukan adalah data penggunaan bahan baku, bahan kimia, bahan bakar, energi listrik, emisi yang dikeluarkan, jumlah produk yang dihasilkan, dan *material balance*.
3. Sistem yang akan dikaji pada penelitian ini adalah *Gate to Gate*, yang hanya mengkaji tahap proses produksi
4. Parameter udara yang dikaji pada penelitian ini adalah CO₂, CH₄, N₂O, NH₃, F⁻, dan partikulat

5. *Software* yang digunakan adalah SimaPro 9.0.0 dengan metode TRACI 2.1 dan CML 1992
6. *Life Cycle Impact Assessment (LCA)* yang dinilai meliputi *ozone depletion, global warming, smog, greenhouse, acidification, eutrophication, human toxicity, respiration effect, ecotoxicity, carcinogenics,* dan *energy resource*. Pemilihan kategori didasarkan pada dampak lingkungan yang berhubungan dengan proses produksi pupuk NPK.
7. Penentuan alternatif perbaikan berdasarkan dari hasil analisis LCA dan saran dari pihak PT Petrokimia Gresik.

1.5 **Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi terkait emisi yang dihasilkan dari kegiatan produksi pupuk NPK.
2. Memberikan rekomendasi alternatif perbaikan untuk mengurangi emisi dan meminimalisir dampak lingkungan yang terjadi kepada pihak perusahaan
3. Sebagai bahan evaluasi bagi pihak perusahaan dalam menerapkan kegiatan produksi bersih

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pupuk

Menurut Keputusan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 148 Tahun 2016, pupuk adalah suatu bahan organik atau anorganik, mengandung satu atau lebih jenis unsur hara, yang ditambahkan ke dalam tanah atau disemprotkan pada tanaman dengan maksud untuk menambah unsur hara yang diperlukannya dan meningkatkan produksi. Secara umum, pupuk dibagi dalam dua jenis berdasarkan asalnya, yaitu pupuk anorganik seperti urea (pupuk N), TSP, atau SF-36 (pupuk P), KCl (pupuk K) dan pupuk organik seperti pupuk kandang, kompos, humus, dan pupuk hijau (Lingga dalam Khairunisa, 2015).

- Menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor 02 Tahun 2006, pupuk organik adalah pupuk yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri dari bahan organik yang berasal dari tanaman dan atau hewan yang telah melalui proses rekayasa, dapat berbentuk padat atau cair yang digunakan untuk mensuplai bahan organik, memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah.
- Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2001, pupuk anorganik adalah pupuk hasil proses rekayasa secara kimia, fisik dan atau biologis, dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk.

2.1.1. Pupuk NPK

NPK merupakan pupuk majemuk yang mengandung lebih dari satu unsur. Pupuk NPK mempunyai arti penting ganda, karena berisi zat-zat pokok seperti nitrogen, fosfor, dan kalium dalam jumlah tertentu (Amini dan Syamdidi, 2006). Nitrogen digunakan tanaman untuk merangsang pertumbuhan tanaman secara keseluruhan dan merangsang pertumbuhan vegetatif seperti daun. Fosfor dimanfaatkan tanaman untuk membawa energi hasil metabolisme dalam tanaman dan merangsang pembungaan dan pematangan. Kalium digunakan oleh tanaman

dalam proses fotosintesis, pengangkutan hasil asimilasi, enzim dan mineral termasuk air. Sulfur berfungsi sebagai pembentukan asam amino dan pertumbuhan tunas (Wardhani dkk., 2014). Pupuk NPK Phonska yang diproduksi oleh PT Petrokimia Gresik, terdiri atas Nitrogen (N) 15%, fosfat (P_2O_5) 15%, kalium (K) 15% dan sulfur (S) 10% (Alamsjah dkk., 2009).

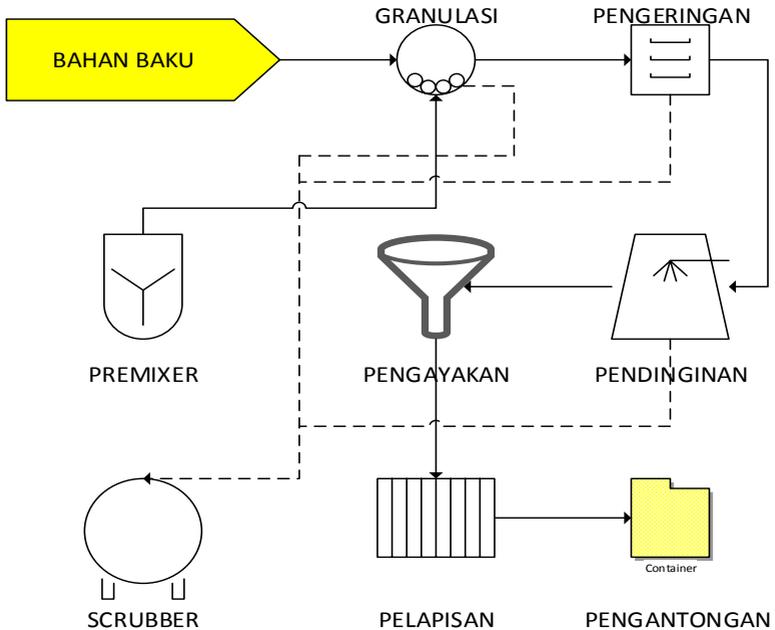
2.1.2. Manfaat dan Keunggulan Pupuk NPK

- Larut dalam air sehingga mudah diserap oleh tanaman
 - Sesuai dengan berbagai jenis tanaman
 - Meningkatkan produksi dan kualitas panen
 - Menambah daya tahan tanaman terhadap gangguan hama, penyakit, dan kekeringan
 - Memperlancar proses pembentukan gula dan pati
 - Membuat tanaman menjadi lebih hijau dan segar karena mengandung banyak butir hijau daun
 - Meningkatkan ketahanan hasil selama pengangkutan dan penyimpanan
 - Merangsang pertumbuhan akar dan sistem perakaran yang baik
 - Memperbesar ukuran buah, umbi dan biji-bijian
 - Memacu pembentukan bunga, mempercepat panen dan menambah kandungan protein
 - Membuat batang lebih tegak, kuat dan dapat mengurangi risiko rebah
- (Petrokimia Gresik, 2012)

2.1.3. Proses Pembuatan Pupuk NPK

Pupuk NPK adalah campuran dari komponen yang mengandung N, P, dan K yang berbeda. Amonia dan asam nitrat adalah bahan baku untuk banyak pupuk yang mengandung nitrogen. Fosfat dalam pupuk sebagian besar berasal dari batuan fosfat dan/atau asam fosfat. Komponen kalium berasal dari kalium sulfat dan kalium klorida yang merupakan produk penambangan (Kool dkk., 2012). Bahan baku utama untuk memproduksi NPK Phonska adalah asam fosfat, asam sulfat, amoniak, urea, KCl, amonium sulfat (ZA), dan filler. Proses pembuatan pupuk NPK yang digunakan di unit Phonska adalah

proses kompleks yang menggabungkan proses pencampuran (*mixing*) dan pereaksian (*reaction*). Secara umum, proses pembuatan pupuk Phonska terdiri dari pemrosesan bahan padat dan bahan cair yang selanjutnya akan disatukan di dalam sebuah alat yang disebut *granulator* (Petrokimia Gresik, 2000). Berikut ini blok diagram proses produksi pupuk NPK Phonska.



Keterangan:

Proses ----->

Recycle ———>

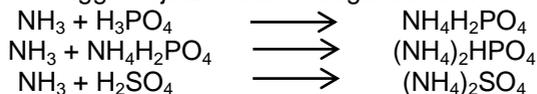
Gambar 2.1 Blok Diagram Proses Produksi Pupuk NPK Phonska

Sumber : Petrokimia Gresik, 2000

A. Penyiapan *Slurry* dan Proses Granulasi

Sebelum menuju *granulator* dipasang *Pug Mill* untuk menunjang efektifitas proses granulasi sehingga meningkatkan

produktivitas. *Pug Mill* adalah *double screw conveyor* yang dipasang miring berfungsi untuk mencampurkan semua bahan baku. Asam sulfat dapat ditambahkan pada bahan baku padat melalui *distributing pipe* sedangkan amoniak diumpangkan melalui *sparger* di dasar granulator. Produk dari *pug mill* dialirkan secara gravitasi ke dalam drum *granulator* dan mengalami proses granulasi. Granulasi ini merupakan proses utama dalam pembuatan Phonska granular. Bahan baku cair berupa $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ dan H_2SO_4 dimasukkan ke dalam sebuah *pre-neutralizer* sehingga terjadi reaksi sebagai berikut:



Proses netralisasi ini berlangsung di dalam *Pre-Neutralizer* yang dipasang sedemikian rupa sehingga *slurry* amonium fosfat (mengandung sedikit sulfat) yang dihasilkan kemudian langsung tertuang ke dalam granulator. Temperatur *slurry* berkisar antara 100-120°C sedangkan kadar air dalam *slurry* mencapai 8-17%.

Pre-neutralizer memiliki pengontrol laju alir fosfat dan amoniak cair. Asam fosfat yang diumpangkan ke dalam *pre-neutralizer* berasal dari unit *scrubbing*. Asam ini dicampurkan dengan asam fosfat konsentrasi tinggi yang diumpangkan ke dalam *pre-neutralizer*. Amoniak yang digunakan adalah amoniak cair agar volum pipa yang digunakan lebih kecil.

Melengkapi proses netralisasi asam agar mencapai nisbah N/P 1,8 (tergantung *grade* yang diinginkan), dan untuk menetralkan asam sulfat yang diumpangkan ke dalam granulator, dipasang *ammoniation system sparger*. Jenis *sparger* yang digunakan adalah *ploughshare* yang dipasang di dasar granulator, sehingga amoniak yang terbawa ke dalam *scrubber* dapat diminimalkan. Penggunaan amoniak cair dilakukan untuk memudahkan pengontrolan suhu pada granulator. Pengontrolan suhu ini sangat penting produk yang diinginkan memiliki kandungan urea yang tinggi. Produk keluar dari granulator dengan kandungan NPK yang sesuai.

B. Granulasi

Alat utamanya adalah granulator yang berfungsi untuk membuat granul phonska akibat terjadinya reaksi kimia dan fisis

antara bahan baku yang berbeda-beda karakteristiknya dan senyawa P_2O_5 selalu berasal dari asam fosfat. Semua bahan baku dan *recycle* diumpankan ke dalam granulator baik secara langsung maupun melalui *pug mill* yang akan bercampur dengan *slurry* dari *pipe reactor*. *Recycle* berasal dari produk yang berbentuk butiran halus, produk *oversize*, produk *undersize*, dan sebagian produk komersil untuk menjaga keseimbangan air dan panas yang digunakan. Asam sulfat dapat juga diumpankan langsung ke granulator pada lapisan padatan yang akan bereaksi dengan sebagian amoniak cair dari *sparger*.

Selanjutnya, melalui *chute* produk granulator dimasukkan ke *dryer* dan gas yang terjadi akan dihisap oleh *blower* dimasukkan granulator *pre-scrubber* untuk menangkap sebagian besar amoniak yang lepas.

C. Pengeringan (*Drying*) dan Pengayakan Produk (*Screening*)

Dryer berbentuk *rotary drum*. *Dryer* ini akan mengeringkan padatan keluaran dari granulator hingga kadar air 1-1,5% dengan media udara panas suhu 150-170°C aliran searah yang dihasilkan oleh furnace, menggunakan bahan bakar gas atau solar sebagai media pemanas. Semua produk *dryer* selanjutnya dikirim ke proses *screening* dengan *conveyor* yang dilengkapi dengan *magnetic separator* untuk menangkap besi yang terbawa dalam produk. Udara yang keluar dari *dryer* mengandung sejumlah amoniak yang lepas dari produk dan air yang teruapkan dari produk saat dikeringkan, akan dihisap oleh *dryer exhaust fan* untuk dibawa ke *dryer scrubber*, sedangkan debu produk dipisahkan di *cyclone* untuk dikembalikan ke *granulator*.

Produk dari *dryer* kemudian dikirim ke *double deck screen* untuk dipilah-pilah sesuai ukurannya. Pada proses *screening* produk *oversize* akan dipisah dan disalurkan menuju *crusher*. Produk *onsize* dari hasil *screening* selanjutnya diumpankan ke *polishing screen* untuk memisahkan produk halus (kurang dari 2 mm) dengan suhu produk 70-90°C. Produk *oversize* yang sudah dihancurkan di *crusher* dan bersama dengan produk halus didaur ulang lewat *conveyor* menuju *pug mill*. Produk *onsize* ukuran 2-4 mm minimal 90% dicurahkan ke

regulator bin yang akan mengatur jumlah produk yang didaur ulang dan produk yang dikirim ke tahap selanjutnya.

D. Pendinginan (*Cooling*)

Produk yang memenuhi ukuran secara gravitasi akan masuk *fluid bed cooler* untuk mencapai suhu $<45^{\circ}\text{C}$, dengan udara pendingin yang sudah dikeringkan dan dikondisikan di *chiller* sistem, untuk mencegah penyerapan air oleh produk terhadap uap air dalam udara pendingin.

E. Pelapisan (*Coating*)

Produk dingin dimasukkan ke *coater* untuk pelapisan produk. Pelapisan diperlukan untuk formula NPK yang khususnya menggunakan urea, sebab sifat higroskopis urea dapat menyebabkan penggumpalan, jika terjadi perubahan suhu dan kadar air udara. Bahan pelapis (*coating agent*) terdiri dari campuran minyak dan padatan (*powder*) dengan spesifikasi tertentu.

F. Penyerapan Gas (*Gas Scrubbing*)

Pada tahap ini peralatan yang digunakan adalah sistem *scrubber* 4 tahap untuk membersihkan gas buang dan menangkap unsur hara sebagai daur ulang. Pada pencucian tahap pertama, digunakan granulator *pre-scrubber* untuk menangkap gas dari granulator yang berupa *ventury scrubber* yang dilengkapi *sprayer* dan *cyclonic tower* yang pada sisi dasarnya berupa tangki penampung larutan. Pencucian tahap kedua berupa 2 *ventury scrubber* berdimensi sama yang fungsinya mencuci gas dari *dryer cyclone*, granulator dan *dedusting* sistem dan larutan yang dihasilkan ditampung di dalam *scrubber vessel*. tahap pencucian ketiga berupa *gas scrubber* yang fungsinya mencuci gas dari dua sistem *scrubber* sebelumnya dan yang berasal dari FBC *cyclonic*. Sedangkan tahap pencucian keempat berupa *tower scrubber* untuk menangkap gas buang yang lolos dari tiga sistem *scrubber* diatas sebelum dibuang ke atmosfer (Petrokimia Gresik, 2000).

Baik monoammonium fosfat (MAP) dan diammonium fosfat (DAP) merupakan sumber fosfor dan nitrogen yang sangat baik dan memiliki catatan sejarah terbukti mampu memberikan peningkatan hasil (Mubarak, 2013).

2.1.4 Emisi Industri Pupuk NPK

Menurut Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Jawa Barat (2014) emisi yang dihasilkan dari industri pupuk NPK berasal dari unit *scrubber* dan *power boiler* yang mana potensi emisinya adalah total partikel, fluor, dan amoniak. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 133 Tahun 2004, Baku Mutu Emisi Pabrik Pupuk Majemuk-NPK dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Baku Mutu Emisi untuk Pabrik Pupuk Majemuk-NPK

No	Sumber	Parameter	Baku Mutu Emisi
			Satuan : (mg/Nm ³)
1	Scrubber	Total partikel	200
		Fluor	10
		Amoniak	250
2	Semua Sumber	Opasitas	20%
3	Tenaga Ketel Uap (Power Boiler)	Total partikel	230
		Sulfur dioksida (SO ₂)	800
		Nitrogen dioksida (NO ₂)	1000
		Opasitas	20%

Sumber : Lampiran V Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 133 Tahun 2004

2.1.5 Efisiensi Proses Industri

Definisi efisiensi suatu industri adalah kemampuan industri tersebut untuk menghasilkan *output* maksimum dengan menggunakan *input* dalam jumlah tertentu, atau kemampuan industri untuk memproduksi sejumlah *output* tertentu dengan menggunakan *input* dalam jumlah minimal. Pengertian efisiensi dalam produk adalah perbandingan antara *output* dan *input*, berkaitan dengan tercapainya *output* maksimum dengan sejumlah *input*. Jika rasio *output* besar maka efisiensi dikatakan semakin tinggi. Dapat dikatakan bahwa efisiensi adalah penggunaan *input* terbaik dalam memproduksi *output* (Kusumah, 2010).

2.2 Pencemaran Udara

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999, pencemaran udara adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Polutan udara dapat diklasifikasikan menjadi primer atau sekunder. Polutan primer adalah zat yang langsung diproduksi oleh suatu proses, seperti abu dari letusan gunung berapi atau gas karbon monoksida dari knalpot kendaraan bermotor. Polutan primer dapat diubah menjadi lebih rendah yang disebut dengan polutan sekunder, seperti atmosfer diubah oleh radiasi matahari dan panas menjadi ozon (O_3) dan polutan fotokimia lainnya (Morand dan Maesano, 2004).

Penyebab pencemaran udara dibagi menjadi dua, yaitu biogenik (secara alamiah), contohnya debu yang berterbangan akibat tiupan angin, abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan Gunung berapi beserta gas-gas vulkanik, proses pembusukan sampah organik, dan lain-lain. Penyebab pencemaran udara yang lain yaitu antropogenik (karena ulah manusia), contohnya hasil pembakaran bahan bakar fosil, debu atau serbu dari hasil kegiatan industri, pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara. Pencemaran udara pada tingkat tertentu merupakan campuran dari salah satu atau lebih bahan pencemar, baik berupa padatan, cairan atau gas yang masuk terdispersi ke udara kemudian menyebar ke lingkungan sekitar. Kecepatan penyebaran tergantung pada keadaan geografi dan meteorologi setempat (Zakaria dan Azizah, 2013). Zat-zat yang dihasilkan pada pencemaran udara antara lain CO_2 (karbondioksida), SO_x (belerang oksida), NO_x (nitrogen oksida), dan CO (karbon monoksida) (Faroqi dkk., 2016).

Sejauh menyangkut manusia, polutan udara dapat menyebabkan peningkatan kematian atau penyakit serius atau dapat menimbulkan potensi bahaya bagi kesehatan manusia. Perbedaan komposisi polutan udara, dosis dan waktu paparan menunjukkan bahwa manusia lebih sering terpapar polutan campuran daripada zat tunggal, hal ini dapat mengakibatkan beragam dampak pada kesehatan manusia. Efek kesehatan

manusia dapat berkisar dari mual dan kesulitan bernafas atau iritasi kulit, hingga kanker. Dampaknya juga termasuk cacat lahir, keterlambatan perkembangan pada anak, berkurangnya sistem kekebalan tubuh, yang mengarah pada sejumlah penyakit. Efek kesehatan dapat dibedakan menjadi akut, kronis, tidak termasuk kanker dan kanker (Kampa dan Castanas, 2008).

2.3 Efek Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah gas berada di dalam atmosfer, baik alami maupun dari kegiatan manusia (antropogenik), yang menyerap dan memancarkan kembali radiasi infra merah. Sebagian radiasi dari matahari yang berbentuk gelombang pendek akan diterima permukaan bumi dan dipancarkan kembali ke atmosfer dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Radiasi gelombang panjang ini akan dipancarkan oleh matahari yang selanjutnya oleh GRK (yang terdapat pada lapisan atmosfer bawah dekat dengan permukaan bumi) akan diserap dan mengakibatkan efek panas yang disebut “Efek Rumah Kaca” (Martono, 2015). Gas rumah kaca terdiri dari tiga atom atau lebih. Struktur molekul ini memungkinkan gas-gas ini untuk menjebak panas di atmosfer dan kemudian memindahkannya ke permukaan yang selanjutnya menghangatkan bumi (Kweku dkk., 2017). Istilah Efek Rumah Kaca digunakan karena peristiwanya mirip dengan yang terjadi di dalam rumah kaca yang sering digunakan untuk kegiatan pertanian dan perkebunan, dimana panas yang masuk ke dalam tidak dapat menembus keluar kaca, sehingga menghangatkan seisi rumah kaca tersebut. Penyebab utama emisi Gas Rumah Kaca adalah kegiatan pemanfaatan bahan bakar fosil secara berlebihan dalam berbagai kegiatan, seperti minyak bumi, batubara, dan gas (Suryati dkk., 2007).

Jenis-jenis emisi Gas Rumah Kaca (GRK) selain karbon dioksida (CO_2) adalah metana (CH_4), nitrous oksida (N_2O), hidrofluorokarbon (HFC_s), perfluorokarbon (PFC_s) dan sulfur heksaflorida (SF_6) (Harkani dan Nurdiana, 2018). Meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca dapat mengakibatkan terjadinya pemanasan global, yang ditandai dengan meningkatnya suhu muka bumi dan peningkatan paras muka laut (Ardhitama dkk., 2017). Rencana mitigasi yang dapat digunakan untuk menghindari hasil negatif dari efek rumah kaca adalah

peningkatan penanaman pohon, pengurangan bahan bakar fosil, eksploitasi yang terjangkau, energi yang bersih dan terbarukan, dan penangkapan karbondioksida (Kweku dkk., 2017).

2.4 Pemanasan Global

Pemanasan global merupakan fenomena peningkatan suhu global dari tahun ke tahun karena efek rumah kaca (*greenhouse effect*). Pemanasan global mengalami peningkatan lebih cepat karena aktivitas manusia yang mengakibatkan berlebihnya jumlah emisi GRK yang terlepas ke atmosfer (Anggraeni, 2015). Proses pemanasan global diawali karena energi yang masuk ke bumi mengalami berbagai proses. Dimana 25% energi dipantulkan oleh awan atau partikel lain di atmosfer. 25% lainnya diadsorpsi oleh awan. Sedangkan 45% diadsorpsi oleh permukaan bumi, dan 5% lagi dipantulkan kembali oleh permukaan bumi. Energi yang diadsorpsi oleh awan dan permukaan bumi 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. Meningkatnya Gas Rumah Kaca terutama CO₂ berakibat semakin banyak gelombang panas matahari atau infra merah yang dipancarkan dari permukaan bumi diserap oleh atmosfer sehingga suhu permukaan bumi semakin meningkat (Triana, 2008). Salah satu faktor utama pemanasan global di Indonesia adalah perubahan tata guna lahan yang mengganggu daya serap GRK (Ardhitama dkk., 2017). Faktor lain yang mengakibatkan meningkatnya pemanasan global adalah bertambahnya jumlah gas karbondioksida yang ada di bumi (Rizki dkk., 2016).

Pemanasan global mengakibatkan meningkatnya suhu air laut, sehingga penguapan di udara juga meningkat, serta berubahnya pola curah hujan dan tekanan udara. Adanya perubahan ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Perubahan iklim dapat mengakibatkan melelehnya es di kutub, meningkatnya permukaan air laut, terjadi pergeseran musim, dan perubahan distribusi dari penyakit infeksi tertentu (Suryati dkk., 2007). Perubahan iklim atau cuaca yang diakibatkan oleh pemanasan global berakibat juga pada pertanian. Seperti yang

kita ketahui bahwa para petani memanfaatkan cuaca sebagai patokan penanaman mereka, jadi jika salah prediksi cuaca para petani bisa tidak panen atau hasil panennya tidak bagus sehingga akan mengalami kerugian. Selain pertanian, pemanasan global juga berdampak pada kesehatan manusia. Wabah penyakit yang sering ditemukan di daerah tropis, seperti penyakit yang disebabkan oleh nyamuk dan hewan pembawa penyakit lainnya, akan semakin meluas karena mereka dapat berpindah ke daerah yang sebelumnya terlalu dingin bagi mereka (Triana, 2008).

2.5 Penipisan Lapisan Ozon

Ozon adalah molekul yang terdiri dari tiga atom oksigen (O_3). Dibandingkan dengan O_2 , O_3 merupakan oksigen yang tidak stabil. Ozon merupakan salah satu gas penyusun atmosfer. Ozon terdiri dari dua jenis yaitu ozon yang dekat dengan permukaan bumi dan ozon yang berada di stratosfer. Ozon yang berada dekat permukaan bumi berada di biosfer berfungsi sebagai polutan udara dan memberikan pengaruh yang berbahaya pada sistem pernafasan manusia, hewan dan metabolisme tanaman. Ozon pada lapisan stratosfer berperan sebagai filter photon yang keluar dengan gelombang pendek sinar ultraviolet dari radiasi matahari yang berbahaya pada semua bentuk kehidupan (Widowati dan Sutoyo, 2009). Penipisan lapisan ozon disebabkan oleh pelepasan polutan kimia, dimana pelepasan kontaminan ini mengganggu keseimbangan produksi alami dan dekomposisi molekul ozon (David dkk., 2018). Meningkatnya jumlah polusi merupakan penyebab lain dari masalah yang terjadi pada lapisan ozon. Hal ini mengakibatkan lapisan ozon semakin lama semakin berkurang, dimana kondisi ozon di lapisan stratosfer secara global menurun 3% dalam waktu 20 tahun dari tahun 1980 hingga 2000 (Seran dkk., 2018).

Zat utama yang menjadi penyebab rusaknya lapisan ozon adalah CFC, halon, dan N_2O . CFC singkatan dari chlorofluorocarbon adalah sekumpulan zat kimia yang terdiri dari tiga jenis unsur yaitu Chlor (Cl), Flour (F) dan Carbon (C). CFC merupakan bahan hasil dari proses industri dan salah satu gas rumah kaca. Sedangkan halon adalah gas yang tersusun atas unsur-unsur seperti Klor, Fluor dan karbon ditambah unsur brom

(Br). Selanjutnya adalah gas dinitrogen oksida N_2O , gas ini terbentuk dari proses perombakan oleh mikroorganisme tanah (Lazuardi, 2003).

2.6 Toksisitas terhadap Manusia

Pengujian toksisitas penting untuk dilakukan karena dapat memperkirakan derajat kerusakan yang diakibatkan oleh suatu senyawa terhadap material *biologic* maupun *nonbiologic* (Sasmito dkk., 2015). Menurut Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 7 Tahun 2014, uji toksisitas adalah suatu uji untuk mendeteksi efek toksik suatu zat pada sistem biologi dan untuk memperoleh data dosis-respon yang khas dari sediaan uji. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk memberi informasi mengenai derajat bahaya sediaan uji tersebut bila terjadi pemaparan pada manusia, sehingga dapat ditentukan dosis penggunaannya demi keamanan manusia.

Kontak yang dilakukan terus menerus dengan zat pencemar udara dapat menyebabkan kanker paru-paru, jantung, dan penyakit lainnya yang dapat mengakibatkan kematian (Handoyo dan Wispriyono, 2016). Contoh masalah kesehatan yang terkait dengan paparan SO_2 konsentrasi tinggi adalah iritasi dan disfungsi pernafasan, dan memperburuk penyakit kardiovaskular yang ada. Selain SO_2 contoh zat lain yang memberikan efek terhadap kesehatan manusia jika terpapar adalah NO_2 . Akibat yang paling umum dari paparan NO_2 adalah batuk dan asma, tetapi akibat lain seperti iritasi mata, hidung atau tenggorokan, sakit kepala, dyspnea, nyeri dada, diaphoresis, demam, bronkospasme, dan edema paru juga dapat terjadi (Azam dkk., 2016).

2.7 Karakteristik Emisi

Berikut ini adalah penjelasan singkat terkait emisi yang mengakibatkan Gas Rumah Kaca (GRK).

- Karbon dioksida (CO_2)

Karbon dioksida merupakan bagian dari unsur alam yang tersedia dalam jumlah banyak. Gas karbon dioksida (CO_2) pada umumnya terbentuk dari gabungan antara dua elemen yang disebut karbon dan oksigen (Wasiu dkk., 2012). Karbon dioksida

(CO₂) adalah produk dari pembakaran, fermentasi, dan respirasi. Dalam keadaan udara ruangan normal, presentase karbon dioksida sangat rendah (sekitar 0,04%). Karbon dioksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mudah terbakar yang terakumulasi di dekat tanah (CO₂ 1,5 kali lebih berat dari udara) (Permentier dkk., 2017).

- Nitrous oksida (N₂O)

Nitrous oksida merupakan unsur yang terdiri dari 2 atom nitrogen dan 1 atom oksigen dengan rumus kimia N₂O. Berdasarkan sifat kimianya, Nitrogen Oksida di lapisan stratosfer dengan bantuan sinar matahari dapat merusak ozon. Gas N₂O juga memiliki dampak 298 kali lebih banyak menyerap panas per satuan berat daripada karbon dioksida. Sedangkan sifat fisiknya adalah gas ini tidak berwarna dan tidak mudah terbakar pada suhu kamar, tetapi pada temperatur tinggi dapat digunakan sebagai *oxidizer* dalam peroketan dan balap motor untuk meningkatkan daya *output* mesin. Gas N₂O dapat timbul secara alami yaitu berbagai sumber biologis di dalam tanah dan air, terutama aktivitas mikroba pada hutan tropis basah dan kebakaran hutan. Sedangkan sumber antropogenik yaitu dari sektor pertanian, peternakan, proses industri, pengelolaan sampah, pemakaian energi (Samiaji, 2012).

- Metana (CH₄)

Metana CH₄ adalah gas telusur yang berposisi kelima terbesar di atmosfer. Metana merupakan senyawa organik atmosfer yang memiliki waktu tinggal 8-10 tahun. Gas metana dapat berpindah dari permukaan troposfer lalu bergerak sampai stratosfer karena bobot molekul CH₄ yang ringan (Susanti dkk., 2017). Peternakan merupakan penyumbang gas metana cukup besar yang mengakibatkan gas rumah kaca. Gas metana berdampak 21 kali lebih berbahaya dibandingkan dengan CO₂ (Gustiar dkk., 2014). Pada konsentrasi CH₄ yang lebih rendah dari konsentrasi CO₂, efektifitas CH₄ dalam menangkap panas kira-kira 25 kali lebih besar daripada CO₂. Laju pertambahan CH₄ di atmosfer mencapai 0,8% per tahun (Slamet, 2001).

- Sulfur Dioksida (SO₂)

Sulfur dioksida adalah unsur penting di atmosfer pada daerah tercemar. Gas SO₂ merupakan pencemar dari sumber industri yang berfungsi sebagai prekursor asam sulfat (H₂SO₄),

komponen partikel aerosol yang mempengaruhi deposisi asam, iklim global dan lapisan ozon global. Sumber utama dari sulfur dioksida adalah pembangkit listrik tenaga batu bara, pembakaran bahan bakar fosil, dan gunung berapi. SO₂ merupakan gas tak berwarna yang menimbulkan rasa jika konsentrasinya 0,3 ppm dan menghasilkan bau yang kuat pada tingkat konsentrasi yang lebih besar dari 0,5 ppm (Cahyono, 2011). Sulfur dioksida merupakan salah satu jenis dari gas-gas oksida sulfur (SO_x). Gas ini sangat mudah larut dalam air, memiliki bau tapi tidak berwarna (Wahyuddin dkk., 2016).

- Nitrogen Oksida (NO_x)

NO₂ adalah gas yang berwarna coklat kemerah-merahan, berbau menyengat seperti asam nitrat dan beracun. Pengaruh gas NO₂ pada konsentrasi tinggi terhadap lingkungan dapat menyebabkan udara di luar terlihat kecoklatan (*brown air cities*), hal ini akan memicu terbentuknya senyawa *photochemical smog* ketika NO₂ bereaksi dengan panas matahari dan hidrokarbon di udara. Senyawa itu antara lain ozon, aldehyd, dan PAN (Peroksi Asli Nitrat) (Riviwanto dan Sani, 2017). Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan salah satu prekursor pembentuk polutan sekunder berupa ozon. Secara alami, NO₂ mengalami siklus fotolitik dengan bantuan matahari membentuk O₃ dan sebaliknya (Dwirahmawati dkk., 2018).

- *Particulate Matter*

Partikel (*particulate matter*) adalah campuran kompleks partikel padat dan cair yang tersuspensi di udara. Ukuran, komposisi kimia, sifat fisik, serta biologi partikel bervariasi sesuai dengan lokasi dan waktu. Keragaman tingkat polutan ini berasal dari perbedaan sumber polutan. Sumbernya mungkin alami, seperti kebakaran hutan, atau hasil dari aktivitas manusia, seperti kendaraan bermotor dan mengoperasikan pabrik atau pembangkit listrik. Selain itu, spesies reaktif dalam atmosfer yang bergabung untuk menghasilkan partikel sekunder, seperti sulfat yang merupakan fraksi signifikan dari total PM. Komponen utama *particulate matter* termasuk logam, senyawa organik (diukur sebagai karbon organik [OC]) termasuk bahan biologis, bahan karbon anorganik (termasuk karbon hitam, dan karbon unsur), dan sulfat, nitrat, amonium, dan ion lainnya (Adams dkk., 2015).

2.8 Perhitungan Beban Emisi

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 12 tahun 2012, emisi adalah gas NO_x , CO , SO_2 , dan/atau partikulat yang dihasilkan dari kegiatan industri minyak dan gas bumi yang masuk dan dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai unsur pencemar. Perhitungan beban emisi adalah menghitung beban emisi berdasarkan data aktivitas yang didapatkan dengan cara menghitung sistem dan parameter tambahan lain yang diperoleh dari pengukuran laboratorium atau faktor standar. Sedangkan pengukuran beban emisi adalah mengukur secara kontinu konsentrasi dan aliran gas dari sumber emisi (Sagala, 2012).

Rumus perhitungan beban emisi berdasarkan Permen LH No. 12 Tahun 2012 dapat dilihat pada Persamaan 2.2 berikut.

$$E_i = FC \times EF_i \quad (2.2)$$

Keterangan:

E = Beban emisi komponen I (ton/hari)

i = Parameter emisi yang dihitung

FC = Pemakaian bahan bakar (m^3 atau MMscfd)

EF = Faktor emisi komponen I (ton/ton)

Memfaatkan sumber energi listrik merupakan contoh ukuran emisi CO_2 yang bersifat tidak langsung (Ayona dkk., 2018).

Beban emisi CO_2 (kg) = Konsumsi listrik (MWh) x Faktor emisi (kg CO_2 /MWh)

(Persamaan 4.1)

Sumber: Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Sektor Industri, Kemenperin 2012

Perhitungan beban emisi dari kegiatan pembakaran bahan bakar menggunakan rumus perhitungan beban emisi Tier 2.

Emisi GRK (kg/th) = Konsumsi energi (TJ/th) x Faktor emisi (kg/TJ)

(Persamaan 4.2)

Sumber: Permen LH Nomor 12 Tahun 2012

Konsumsi energi (TJ) = Konsumsi energi (L) x Nilai kalor (TJ/L)

(Persamaan 4.3)

Sumber: Permen LH Nomor 12 Tahun 2012

Beban emisi didapatkan berdasarkan pengukuran aktual kadar emisi yang dapat berupa data dari *online analyzer* (*Continuous Emission Monitoring System-CEMS*) ataupun pengukuran manual (*sampling*) secara periodik untuk masing-masing parameter pada gas buang (*stack*) (Permen LH, 2012).

C correction = C terukur x (21-O₂ correction) / (21-O₂ terukur)

C correction = Konsentrasi dengan koreksi O₂ yang ditetapkan dalam baku mutu emisi (mg/Nm³)

C terukur = Konsentrasi terukur sebelum dikoreksi dengan koreksi O₂ (mg/Nm³)

O₂ correction = Koreksi O₂ yang ditetapkan dalam baku mutu emisi (%)

O₂ terukur = Prosentase O₂ diukur langsung dalam gas emisi (%)

(Persamaan 4.4)

Sumber: Permen LH Nomor 12 Tahun 2012

**E = C correction x Q x 0,0036 x [Operation hour]
Q = V x A**

E = Emisi (kg/tahun)

Q = Laju alir emisi volumetrik (m³/detik)

0,0036 = Faktor konversi dari mg/detik ke kg/jam

Opr. Hour = Lama operasi sumber emisi selama 1 tahun (jam)

V = Laju alir (m/detik)

A = Luas penampang *stack* (m²)

(Persamaan 4.5)

Sumber: Permen LH Nomor 12 Tahun 2012

2.9 Life Cycle Assessment

Life Cycle Analysis (LCA) atau sering disebut *Life Cycle Assessment* adalah sebuah metode berbasis *cradle to grave*

(analisis keseluruhan siklus dari proses produksi sampai pengolahan limbah) yang dimanfaatkan untuk mengetahui jumlah energi, biaya, dan dampak lingkungan yang disebabkan oleh tahapan daur hidup produk diawali dari pengambilan bahan baku sampai dengan produk itu selesai digunakan oleh konsumen (Harjanto dkk., 2012). Pengertian lain dari LCA adalah alat untuk menilai dampak lingkungan dan sumber daya yang digunakan di seluruh daur hidup produk, yaitu dari penerimaan bahan baku, melalui proses produksi dan fase penggunaan, hingga pengelolaan limbah (Finnveden dkk., 2009). Kelebihan dari LCA adalah sifatnya yang komprehensif karena mampu menganalisis dampak lingkungan yang potensial terjadi pada proses-proses yang terkait dalam daur hidup suatu produk (Wahyudi, 2017).

2.9.1 Ruang Lingkup LCA

Menurut Harjanto dkk. (2012) terdapat empat pilihan utama dalam menentukan batas-batas sistem yang digunakan dalam studi LCA:

- *Cradle to grave*
Termasuk bahan dan rantai produksi energi semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi, transportasi dan penggunaan sampai produk akhir dalam daur hidupnya.
- *Cradle to gate*
Meliputi semua proses dari ekstraksi bahan baku melalui tahap produksi, dimanfaatkan untuk menentukan dampak lingkungan dari suatu produksi sebuah produk.
- *Gate to grave*
Meliputi proses dari pemanfaatan pasca produksi sampai pada akhir fase kehidupan daur hidup produk, digunakan untuk menentukan dampak lingkungan dari produk tersebut setelah meninggalkan pabrik.
- *Gate to gate*
Meliputi proses hanya dari tahap produksi, dimanfaatkan untuk menentukan dampak lingkungan dari tahap produksi atau proses.

2.9.2 Tahapan LCA

Berdasarkan ISO 14040 (2006), terdapat empat tahapan dalam studi LCA:

1. Tahap definisi tujuan dan ruang lingkup
Ruang lingkup, termasuk batasan sistem dan tingkat ketelitian, tergantung pada subjek dan tujuan penggunaan dari penelitian ini. Pada tahap ini, tujuan dari LCA adalah alasan melakukan penelitian, kepada siapa hasil penelitian ditujukan, digunakan untuk apa hasil yang didapatkan. Sedangkan ruang lingkup dari LCA adalah sistem produk yang akan dipelajari, unit fungsional, batasan sistem, prosedur alokasi, kategori dampak yang dipilih dan metodologi penilaian dampak dan interpretasi selanjutnya.
2. Tahap analisis inventori
Tahap analisis inventori adalah tahap yang melibatkan pengumpulan data dan prosedur perhitungan untuk mengukur input dan output yang relevan dari sistem produk. Data yang diperlukan pada setiap unit proses adalah data kebutuhan energi, input bahan baku, dan input tambahan lainnya. Data lain adalah jumlah produk, produk sampingan dan limbah yang dihasilkan, serta data emisi yang dibuang ke udara, air, tanah, dan aspek lingkungan lainnya.
3. Tahap analisis dampak
Tahap analisis dampak merupakan tahap yang bertujuan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan yang dapat terjadi berdasarkan data dari hasil analisis inventori. Menurut Windrianto dkk. (2011), tahapan pada fase *Life Cycle Impact Assessment* ada empat yaitu klasifikasi dan karakterisasi, normalisasi, pembobotan, dan *single score*. Klasifikasi bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan substansi yang berasal dari analisis inventori, sedangkan karakterisasi adalah penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori dampak. Rumus mencari nilai karakterisasi dampak menurut EPA (2012), adalah:

$$I^i = \sum_{x_m} CF_{x_m}^i \times M_{x_m}$$

Dimana :

I^i = dampak potensial semua bahan kimia (x) untuk kategori dampak spesifik yang menjadi perhatian (i)
 CF_{xm}^i = faktor karakterisasi bahan kimia (x) yang dipancarkan ke media (m) untuk kategori dampak (i)
 M_{xm} = massa bahan kimia (x) yang dipancarkan ke media (m)

Contoh perhitungan karakterisasi dengan metode TRACI 2.1 apabila dilakukan secara manual.

Kategori dampak : *Acidification*
 Substance dampak : *Ammonia*
 Faktor karakterisasi : 1,88 (EPA, 2019)
 Emisi *ammonia* : 33286176 kg
 Nilai Karakterisasi : 1,88 x 33286176
 : 62578011 kg SO₂ eq

Normalisasi merupakan prosedur yang dibutuhkan untuk menunjukkan kontribusi relatif dari semua kategori dampak pada seluruh masalah lingkungan untuk menciptakan satuan yang seragam pada semua kategori dampak dengan mengalikan nilai karakterisasi dengan nilai normal. Rumus mencari nilai normalisasi dampak menurut Prado dkk. (2017), adalah:

$$NI_{a,i} = \frac{CI}{NR}$$

Dimana:

$NI_{a,i}$ = dampak normalisasi per tahun dari alternatif a di kategori dampak i

CI = dampak karakterisasi

NR = referensi normalisasi yang mewakili spesifik wilayah geografis untuk kategori dampak dalam unit fisik (per tahun).

Berikut nilai *Normalization Factor* untuk metode TRACI 2.1.

Tabel 2.2 Normalization Factor

<i>Impact Category</i>	<i>Normalization Factor</i>
<i>Ecotoxicity</i>	7.6×10^1
<i>Carcinogenics</i>	$5,5 \times 10^{-6}$
<i>Non Carcinogenics</i>	$3,7 \times 10^{-5}$
<i>Global Warming</i>	$2,4 \times 10^4$

Tabel 2.2 Normalization Factor

<i>Impact Category</i>	<i>Normalization Factor</i>
<i>Ozone Depletion</i>	$1,6 \times 10^{-1}$
<i>Acidification</i>	$9,1 \times 10^1$
<i>Eutrophication</i>	$2,2 \times 10^1$
<i>Smog</i>	$1,4 \times 10^3$
<i>Respiratory Effects</i>	$2,4 \times 10^1$
<i>Fossil Fuel Depletion</i>	$1,7 \times 10^4$

Ryberg dkk. (2013)

Nilai pada tahap normalisasi dijadikan acuan karena normalisasi dapat membantu dalam menginterpretasikan hasil LCIA selain itu, normalisasi juga mempermudah untuk memberi peringkat pada kategori dampak dan membandingkan satu dampak lingkungan dari suatu produk dengan dampak yang lain (Aymard dan Genoulaz, 2017).

Sedangkan pembobotan merupakan tahapan yang dihasilkan dengan mengalikan kategori dampak dengan faktor pembobotan dan ditambahkan untuk mendapatkan nilai total. *Single score* digunakan untuk mengklasifikasikan nilai kategori dampak berdasarkan aktivitas atau proses. Nilai dari *single score* akan mencerminkan mana aktivitas yang berdampak pada lingkungan.

4. Tahap Interpretasi

Interpretasi adalah fase dimana LCA mempertimbangkan temuan dari hasil analisis inventaris dan dampaknya. Fase interpretasi harus memberikan hasil yang konsisten dengan menggambarkan tujuan dan ruang lingkup yang mencapai kesimpulan, menjelaskan batasan, dan memberikan rekomendasi. Interpretasi harus mencerminkan fakta bahwa hasil dari *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) didasarkan pada pendekatan relatif.

2.9.3 Manfaat LCA

Berdasarkan ISO 14040 (2006), *Life Cycle Assessment* (LCA) dapat membantu:

- Mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan kinerja lingkungan produk di berbagai poin dalam daur hidup mereka
- Menginformasikan pembuat keputusan dalam industri, pemerintah atau organisasi non-pemerintah (misal untuk tujuan perencanaan strategis, penetapan prioritas, hasil atau proses desain atau desain ulang)
- Pemilihan indikator yang relevan terhadap kinerja lingkungan, termasuk teknik pengukuran
- Pemasaran (misal menerapkan skema ecolabel, membuat pernyataan lingkungan, atau menghasilkan suatu deklarasi produk lingkungan).

Selain hal-hal diatas, menurut Wahyudi (2017), manfaat dari LCA adalah mengidentifikasi sumber dan besarnya emisi Gas Rumah Kaca dalam setiap tahapan dalam daur hidup suatu produk.

2.10 **Software Simapro**

SimaPro merupakan salah satu *software* yang digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dari suatu sistem amatan tertentu. Adapun data yang dimasukkan dalam *software* SimaPro adalah distribusi bahan baku, proses produksi, serta distribusi produk akhir (Kautzar dkk., 2015). Berdasarkan Pre (2019) SimaPro terdiri dari sejumlah metode penilaian dampak, yang digunakan untuk menghitung hasil penilaian dampak. SimaPro memiliki beberapa struktur dasar, yaitu:

1. Karakterisasi
2. Penilaian kerusakan
3. Normalisasi
4. Pembobotan
5. Tambahan

Empat langkah terakhir adalah langkah opsional yang sesuai dengan standar ISO, yang menjadikan hal ini tidak tersedia di semua metode di SimaPro.

1. Karakterisasi

Pada tahap ini, zat yang berkontribusi pada kategori dampak dikalikan dengan faktor karakterisasi yang menggambarkan kontribusi relatif dari zat tersebut. Misalnya, faktor karakterisasi untuk CO₂ dalam kategori dampak perubahan

iklim bisa sama dengan 1, sedangkan faktor karakterisasi metana bisa 25. Ini berarti pelepasan 1 kg metana menyebabkan jumlah perubahan iklim yang sama dengan 25 kg CO₂. Hasil total dinyatakan sebagai indikator kategori dampak (sebelumnya hasil karakterisasi).

2. Penilaian Kerusakan

Penilaian kerusakan adalah langkah yang relatif baru dalam penilaian dampak. Itu ditambahkan untuk memanfaatkan 'metode *end-point*' seperti Eco-indicator 99 dan metode EPS2000. Tujuan dari penilaian kerusakan adalah untuk menggabungkan sejumlah indikator kategori dampak ke dalam kategori kerusakan (juga disebut wilayah perlindungan). Pada tahap penilaian kerusakan, indikator kategori dampak dengan unit umum dapat ditambahkan. Misalnya, di metode Eco-indicator 99, semua kategori dampak yang merujuk pada kesehatan manusia dinyatakan dalam DALY (tahun kehidupan yang disesuaikan dengan disabilitas). Dalam metode ini DALYs yang disebabkan oleh zat karsinogenik dapat ditambahkan ke DALYs yang disebabkan oleh perubahan iklim.

3. Normalisasi

Banyak metode yang mengizinkan hasil indikator kategori dampak untuk dibandingkan dengan nilai referensi (atau normal). Ini berarti bahwa kategori dampak dibagi dengan referensi. Referensi yang biasa digunakan adalah beban lingkungan tahunan rata-rata di suatu negara atau benua, dibagi dengan jumlah penduduk. Bagaimanapun, referensi dapat dipilih secara bebas. Setelah normalisasi, semua indikator kategori dampak mempunyai unit yang sama, yang membuatnya lebih mudah untuk membandingkannya. Normalisasi dapat diterapkan pada hasil karakterisasi dan penilaian kerusakan.

4. Pembobotan

Beberapa metode mengizinkan pembobotan di seluruh kategori dampak. Ini berarti hasil indikator kategori dampak (atau kerusakan) dikalikan dengan faktor pembobotan, dan ditambahkan untuk membuat skor total atau skor tunggal. Pembobotan dapat diterapkan pada skor yang dinormalisasi atau yang tidak dinormalisasi, karena beberapa metode seperti EPS tidak memiliki tahapan normalisasi.

2.11 TRACI 2.1

TRACI (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts*) merupakan metodologi yang berorientasi titik tengah (*midpoint*) yang dikembangkan oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) di USA, dengan tujuan membantu dalam penilaian dampak pada desain proses dan mencapai pencegahan polusi. Beberapa kategori dampak yang dapat dianalisis dengan pendekatan TRACI 2.1 meliputi *Ozone depletion, Global warming, Smog, Acidification, Eutrophication, Carcinogenics, Non carcinogenics, Respiratory effects, Ecotoxicity, Fossil fuel depletion* (Pre,2019). Berikut penjelasan masing-masing karakteristik dampak yang terdapat pada metode TRACI 2.1 menurut EPA (2012).

a) *Acidification*

Asidifikasi adalah peningkatan konsentrasi ion hidrogen (H⁺) dalam lingkungan. Hal ini merupakan hasil dari penambahan asam (misal asam nitrat dan asam sulfat) ke lingkungan, atau dengan penambahan zat lain (misal amonia) yang meningkatkan keasaman lingkungan karena berbagai reaksi kimia atau aktivitas biologis.

b) *Eutrophication*

Eutrofikasi adalah “pengayaan ekosistem perairan dengan nutrisi (nitrat, fosfat) yang mempercepat produktivitas biologis (pertumbuhan alga dan gulma) dan akumulasi biomassa alga yang tidak diinginkan”.

c) *Global warming*

Pemanasan global dapat terjadi dari berbagai penyebab, baik yang alami maupun yang disebabkan manusia. Dalam penggunaan umum, “pemanasan global” sering merujuk pada pemanasan yang dapat terjadi sebagai akibat dari peningkatan emisi gas rumah kaca dari aktivitas manusia.

d) *Ozone depletion*

Penipisan lapisan ozon selalu dikaitkan dengan meningkatnya zat klorofluorokarbon (CFC) yang digunakan sebagai zat pendingin, zat peniup busa, pelarut, dan halon yang digunakan sebagai bahan pemadam api.

e) *Human health particulate*

Particulate matter adalah kumpulan partikel kecil di udara sekitar yang memiliki kemampuan untuk menyebabkan efek negatif terhadap kesehatan manusia termasuk penyakit pernafasan dan kematian.

- f) *Human health Cancer, Noncancer, and Ecotoxicity*
Kesehatan manusia diwakili oleh tiga kategori dampak berdasarkan pada struktur peraturan EPA saat ini dan perilaku kimiawi dan fisik dari polutan.
- g) *Photochemical smog formation*
Ground level ozone dibentuk oleh berbagai kimia reaksi, yang terjadi antara nitrogen oksida (NO_x) dan senyawa organik volatil (VOC) di bawah sinar matahari. Sumber utama polutan ini adalah kendaraan bermotor, utilitas tenaga listrik, dan fasilitas industri.

2.12 CML 1992

CML 1992 (*Center of Environmental Science of Leiden University*) merupakan metode klasifikasi yang didasarkan pada metode yang diterbitkan oleh CML dari Universitas Leiden pada Oktober 1992. Karakterisasi dari metode ini adalah *Greenhouse effect, Ozone layer depletion, Human toxicity, Ecotoxicity, Summer Smog, Acidification, Eutrophication, Solid waste, dan Energy resource* (Pre, 2019). Berikut penjelasan masing-masing karakteristik dampak yang terdapat pada metode CML 1992 menurut Heijungs (1992).

- a) *Greenhouse effect*
Beberapa zat yang berkontribusi pada peningkatan parameter efek rumah kaca telah dikembangkan dalam bentuk potensi pemanasan global, dimana CO_2 sebagai parameter relatif yang digunakan.
- b) *Ozone layer depletion*
Parameter ini digunakan untuk menyatakan kontribusi potensial yang diberikan zat-zat yang dapat mengakibatkan penipisan lapisan ozon. CFC-11 merupakan parameter relatif pada penipisan lapisan ozon.
- c) *Human toxicity*
Human toxicity dinilai dengan menghubungkan emisi terpapar setiap hari dan dapat ditoleransi, asupan harian

yang diterima, konsentrasi yang dapat ditoleransi di udara, pedoman kualitas udara, tingkat risiko maksimum yang dapat ditoleransi.

- d) *Ecotoxicity*
Penilaian zat dengan efek toksisitas pada spesies dalam ekosistem didasarkan pada konsentrasi maksimum yang dapat ditoleransi.
- e) *Acidification*
Asidifikasi dibentuk oleh berbagai bentuk variasi oleh intervensi yang ada di lingkungan. Asidifikasi merupakan ukuran kecenderungan untuk melepaskan H⁺ dibandingkan dengan sulfur dioksida.
- f) *Eutrophication*
Eutrofikasi dibentuk oleh berbagai bentuk variasi oleh intervensi yang ada di lingkungan yang dapat ditentukan oleh potensi eutrofikasi yang mana ukuran kapasitas bentuk biomassa, dibandingkan dengan fosfat.

2.13 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang ditinjau merupakan penelitian yang menunjang tugas akhir penulis dan dapat dijadikan sebagai referensi. Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang digunakan oleh penulis dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini:

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu	Sumber
1	Judul penelitian : "Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa"	Harjanto dkk. (2012)

Penelitian dilakukan di PT Holcim Indonesia, yang mana pabrik ini memiliki kapasitas produksi 2,6 juta ton/tahun. Penelitian menggunakan *software* SimaPro 7 dengan metode *Impact 2002+*, dengan pendekatan *cradle to gate*. Dilakukan 4 skenario pada penelitian ini untuk menghasilkan 1000 kg semen; (1) bahan bakar 100% batubara dengan

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu	Sumber
	<p>faktor rasio <i>clinker</i> 0,95; (2) bahan bakar 90% batubara dan 10% biomassa sekam padi dengan faktor rasio <i>clinker</i> 0,75; (3) bahan bakar 50% batubara dan 50% biomassa <i>miscanthus giganteus</i>, dengan faktor rasio <i>clinker</i> 0,75; (4) bahan bakar yang digunakan 100% biomassa <i>miscanthus giganteus</i> dengan faktor rasio <i>clinker</i> 0,75. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, kontribusi dampak tertinggi berasal dari tahap <i>pyroprocessing</i>, dan alat transportasi yang digunakan. Didapatkan hasil bahwa penggunaan <i>miscanthus giganteus</i> (alang-alang raksasa) sebagai bahan bakar substitusi batubara lebih ramah terhadap lingkungan. Alternatif perbaikan yang dapat diterapkan adalah alat transportasi pengangkut pasir silika diganti dengan kereta api, dilakukan substitusi batubara dengan biomassa, dimana perbandingan penggunaannya adalah 50:50, melakukan penghijauan dan revegetasi di daerah pantai, sebagai investasi biomassa dan mengurangi pencemaran lingkungan.</p>	
2	<p>Judul penelitian : “Kajian Dampak Proses Eksplorasi dan Produksi Gas Alam terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)”</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak lingkungan yang terjadi akibat dari kegiatan eksplorasi dan produksi gas alam. Penelitian menggunakan <i>software</i> SimaPro 8.4 dengan metode <i>Eco Indicator 99</i>. Penelitian ini menunjukkan bahwa beban emisi yang dihasilkan setiap unit produksi berbeda-beda, tergantung jumlah konsumsi bahan bakar dan faktor emisi yang digunakan. Unit yang menghasilkan dampak paling besar selama proses eksplorasi dan produksi gas alam adalah unit <i>hot oil heater</i> dan nilai dampak sebesar 25,22 MPt dengan nilai masing-masing kategori kerusakan sebesar 552 DALY untuk</p>	Andistiara (2018)

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Terdahulu	Sumber
	<p>kategori <i>human health</i>, $1,27 \times 10^3$ PDF.m².year untuk kategori <i>ecosystem quality</i>, dan 51,1 MJ surplus untuk kategori <i>resources</i>. Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini memberikan alternatif perbaikan yaitu penggunaan kembali <i>LP Fuel Gas excess</i> ke dalam unit <i>production separator</i> dengan proses kompresi dengan nilai sebesar 36,8%.</p>	

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB 3 METODE PENELITIAN

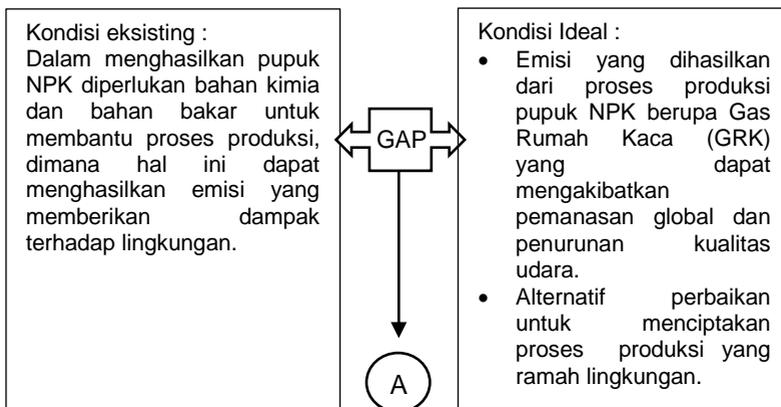
Umum

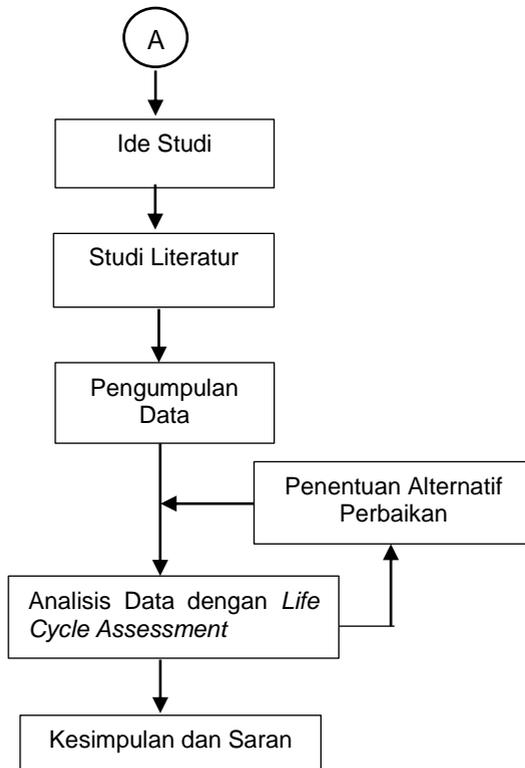
Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis beban emisi yang dihasilkan, mengidentifikasi dampak lingkungan yang terjadi, dan alternatif perbaikan yang dapat diterapkan pada proses produksi pupuk NPK. Penelitian ini menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan proses pengkajian menggunakan piranti lunak SimaPro. Hasil akhir yang didapatkan dari pengkajian ini adalah alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk meminimalisir dampak lingkungan yang terjadi.

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian digunakan untuk memudahkan dalam pelaksanaan penelitian, mendapatkan gambaran mengenai tahapan penelitian untuk menjawab tujuan yang diinginkan, serta mengurangi kesalahan-kesalahan yang dapat terjadi selama proses penelitian berlangsung.

Pada penelitian ini tahapan-tahapan yang dilakukan meliputi ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data lapangan, analisis beban emisi, analisis dampak lingkungan yang terjadi dengan *Life Cycle Assessment* (LCA) menggunakan *software* SimaPro 9.0.0, dan menentukan alternatif perbaikan yang dapat diterapkan. Kerangka penelitian dijelaskan pada Gambar 3.1 berikut.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Ide Penelitian

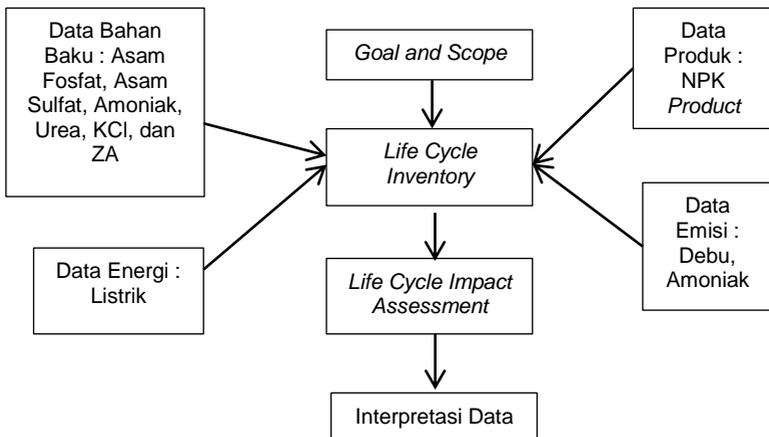
Ide penelitian ini diperoleh dari gap antara kondisi ideal dengan kondisi eksisting. Kondisi eksisting yang melatarbelakangi penelitian ini adalah penggunaan bahan kimia selama proses produksi pupuk NPK dan penggunaan bahan bakar untuk pembakaran, yang mana bahan-bahan tersebut menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas udara dan pemanasan global. Oleh sebab itu, diperlukan alternatif perbaikan untuk menciptakan proses produksi yang ramah lingkungan.

3.3 Studi Literatur

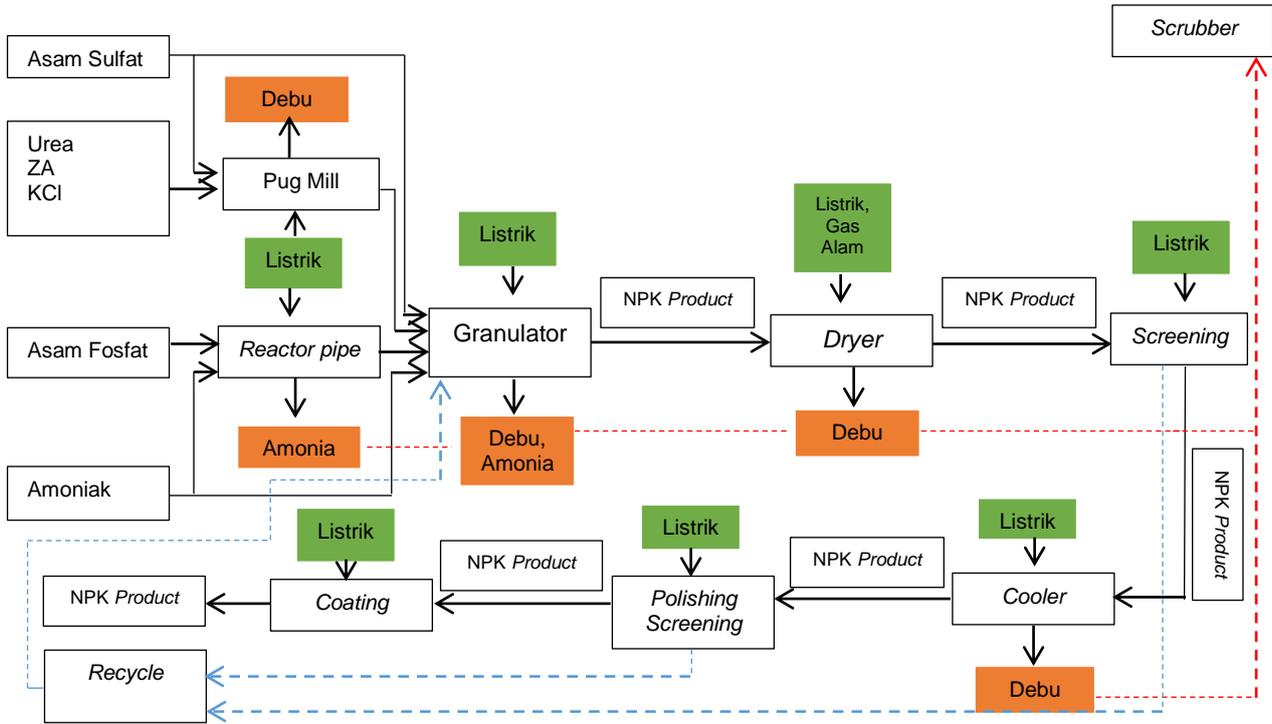
Studi literatur dilakukan untuk mendukung penelitian tugas akhir dan dijadikan pedoman dalam melakukan analisa dan pembahasan yang berkaitan dengan penelitian. Sumber-sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah peraturan pemerintah, jurnal, karya ilmiah, buku-buku, penelitian, dan tugas akhir terdahulu. Literatur yang dibutuhkan antara lain pupuk NPK, pencemaran udara, efek rumah kaca, pemanasan global, penipisan lapisan ozon, toksisitas terhadap manusia, karakteristik emisi, perhitungan beban emisi, *life cycle assessment* (LCA), *software* simaPro, TRACI 2.1 dan CML 1992, dan penelitian terdahulu.

3.4 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari riwayat proses produksi pupuk NPK Phonska di PT Petrokimia Gresik. Durasi pengambilan data untuk SimaPro selama 1 tahun. Salah satu data yang dibutuhkan adalah *material balance* yang digunakan untuk membantu data *input* dan *output* dalam *software* SimaPro. Adapun rincian data lain yang diperlukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Skema Data Inventori LCA



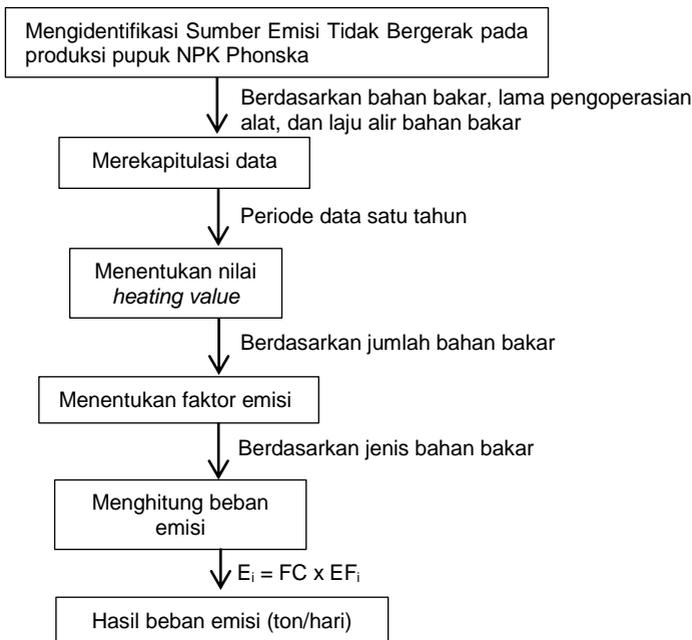
Gambar 3.2 Diagram Proses Produksi

3.5 Analisis Data dengan *Life Cycle Assessment*

Pada tahap analisis data yang dilakukan adalah analisis beban emisi CO₂, CH₄, N₂O, NO₂, SO₂ dan partikulat, kemudian identifikasi dampak yang ditimbulkan dengan menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA).

3.5.1 Analisis Beban Emisi pada Proses Produksi

Data yang akan dilakukan analisis beban emisi adalah data CO₂, CH₄, N₂O, NH₃, F⁻, dan partikulat. Selain itu, data lain yang dibutuhkan dalam analisis beban emisi adalah data penggunaan bahan bakar pada setiap unit produksi selama 1 tahun. Berikut ini skema beserta tahapan-tahapan yang dilakukan untuk analisis beban emisi.



Gambar 3.4 Skema Analisis Beban Emisi

Berikut ini penjelasan dari Gambar 3.4 mengenai analisis beban emisi:

1. Mengidentifikasi sumber-sumber emisi tidak bergerak yang masih aktif digunakan yang ada di PT Petrokimia Gresik untuk proses produksi pupuk NPK
2. Mengidentifikasi unit-unit pengolahan yang menggunakan bahan bakar, lama pengoperasian alat, dan laju alir bahan bakar di PT Petrokimia Gresik untuk proses produksi pupuk NPK
3. Merekapitulasi data penggunaan bahan bakar selama 1 tahun terakhir dari unit produksi pupuk NPK
4. Menentukan nilai *heating value* (nilai kalor) berdasarkan jumlah bahan bakar yang digunakan pada setiap unit
5. Menentukan faktor emisi berdasarkan API Compendium dan disesuaikan dengan bahan bakar yang digunakan
6. Menghitung beban emisi berdasarkan PerMen LH No. 12 Tahun 2012 yang dapat dilihat pada Persamaan 3.2.

$$E_i = FC \times EF_i \quad (3.1)$$

Keterangan:

E = Beban emisi komponen I (ton/hari)

i = Parameter emisi yang dihitung

FC = Pemakaian bahan bakar (m³ atau MMscfd)

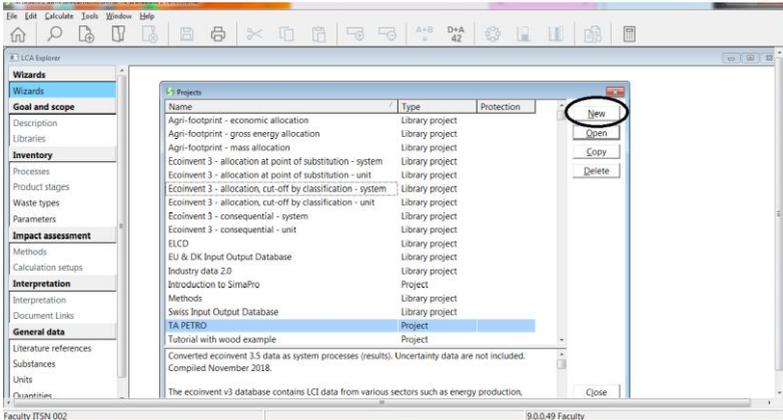
EF = Faktor emisi komponen I (ton/ton)

3.5.2 Analisis Dampak dengan LCA

Analisis dengan metode *Life Cycle Assessment* membutuhkan data penggunaan bahan baku, bahan kimia, bahan bakar, energi listrik, jumlah produk yang dihasilkan, dan jumlah emisi yang dihasilkan dari setiap unit produksi pupuk NPK. Dalam menentukan dampak lingkungan yang terjadi, metode LCA menggunakan *software* SimaPro. Adapun tahapan-tahapan dalam menganalisis dampak dengan metode LCA menggunakan *software* SimaPro adalah sebagai berikut:

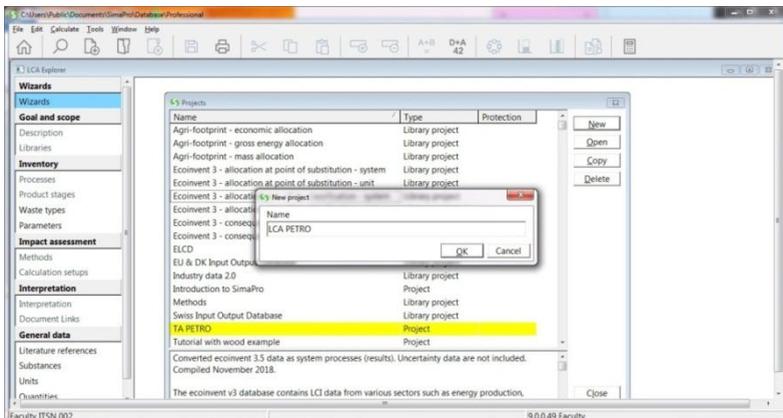
1. Sebelum masuk ke *software* SimaPro, dilakukan rekapitulasi data *input* seperti bahan baku, bahan kimia, dan bahan bakar. Data *output* seperti beban emisi serta produk yang dihasilkan pada setiap unit produksi, yang nanti data tersebut akan dimasukkan pada tahap inventori di *software* SimaPro.

2. Membuka *software* SimaPro dan klik *New* untuk memulai *project* baru



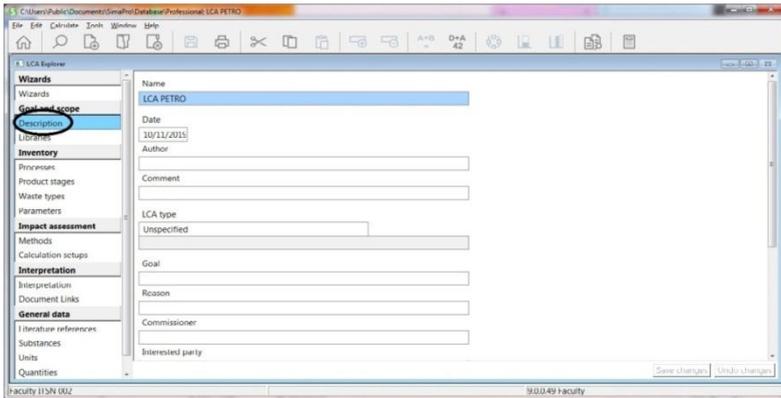
Gambar 3.5 Memulai *project* baru di SimaPro
 Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

3. Tuliskan nama *project*



Gambar 3.6 Menuliskan nama *project* di SimaPro
 Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

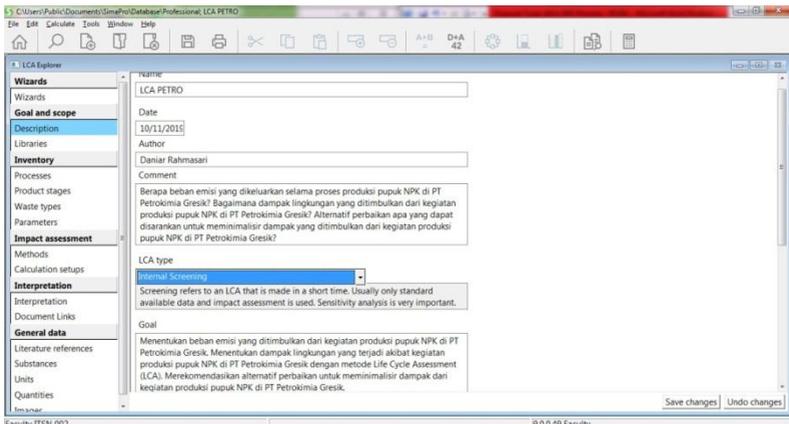
4. Pilih Description



Gambar 3.7 Memilih Description di SimaPro
Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

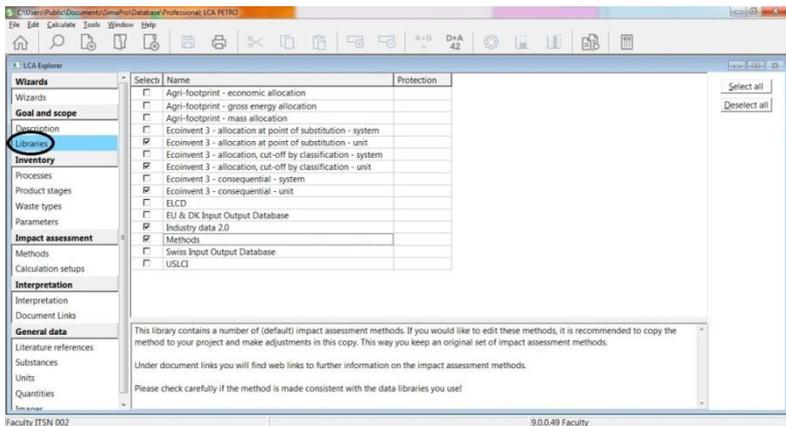
5. Menentukan Goal and Scope

- *Text field*, untuk menginput data pemilik, judul penelitian, tanggal, komentar, alasan dan tujuan melakukan penelitian LCA.



Gambar 3.8 Penentuan Goal
Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

- Pemilihan *libraries*, memilih metoda yang akan digunakan



Gambar 3.9 Penentuan Scope

Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

Pada tahap ini dipilih *scope* penelitian *Industry data 2.0*. *Scope* ini dipilih dikarenakan fokus terhadap:

- *Input*
Input data ini berupa material dan energi yang digunakan pada kegiatan industri pupuk.
- *Output*
Output pada kegiatan produksi pupuk berupa emisi gas rumah kaca dan gas pencemar udara.

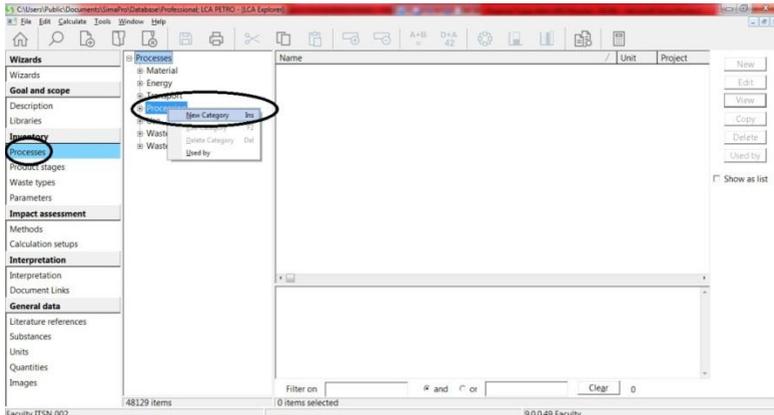
Selain *Industry data 2.0* juga dipilih *methods*, *ecoinvent 3 – allocation at point of substitution – unit*, *ecoinvent 3 – allocation, cut-off by classification – unit*, *ecoinvent 3 – consequential – unit*. *Scope* ini dipilih karena *database* yang dibutuhkan ada didalamnya.

6. Melakukan Inventarisasi

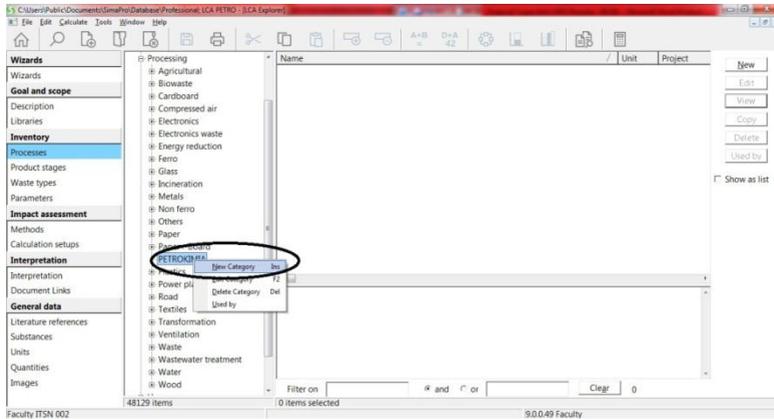
Pada tahap ini data-data yang akan dimasukkan dikonversikan terlebih dahulu pada satuan yang sama.

- Langkah pertama Pilih *Process*, kemudian klik kanan pada *Processing* dan pilih *New Category* selanjutnya tulis nama *project* sesuai yang diinginkan untuk mempermudah. Selanjutnya adalah klik kanan pada nama *project* tersebut, kemudian pilih *New Category* dan

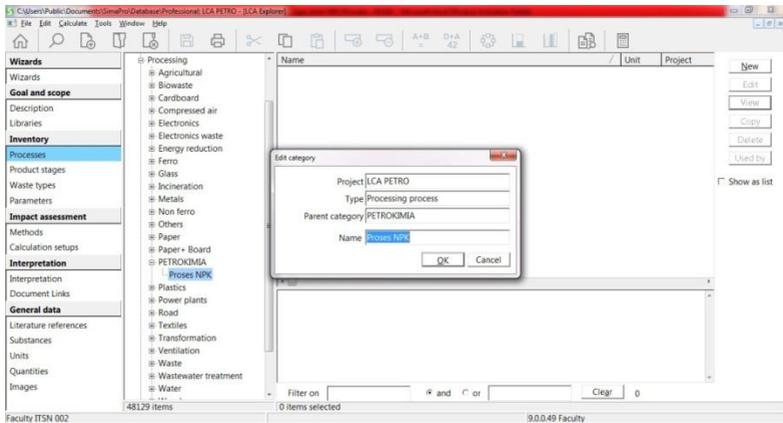
diisikan nama proses yang akan dimasukkan data inventornya.



Gambar 3.10 Langkah Awal Inventarisasi
Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial



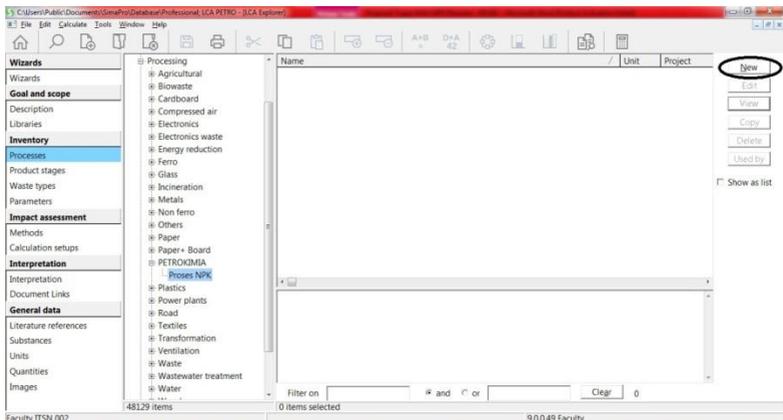
Gambar 3.11 Langkah Awal Inventarisasi
Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial



Gambar 3.12 Langkah Awal Inventarisasi

Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

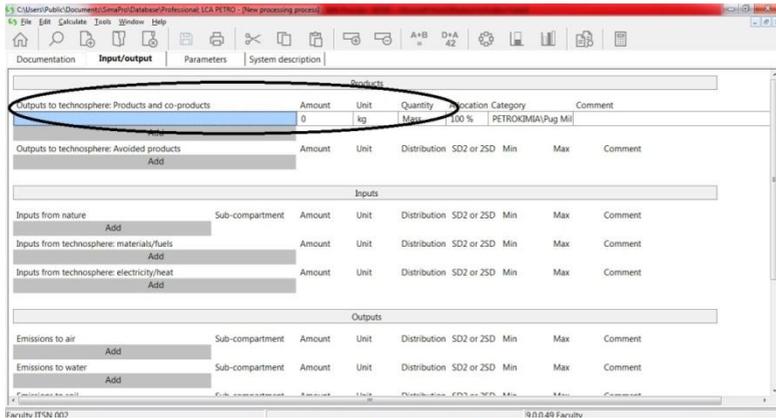
- Klik *New* pada pojok kanan atas untuk memulai memasukkan data inventori



Gambar 3.13 Langkah Awal Inventarisasi

Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

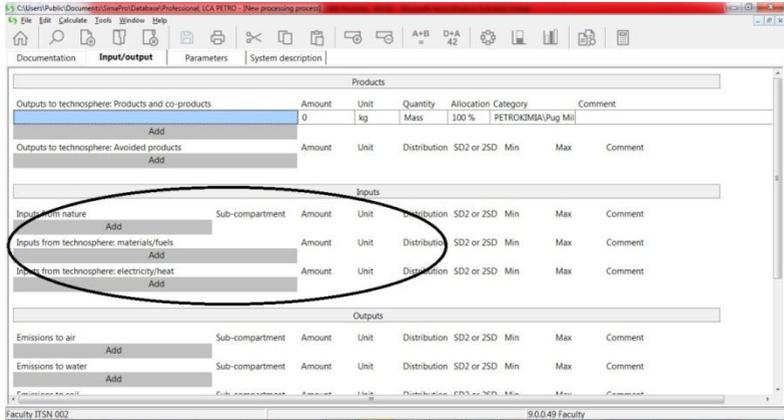
- Mengisi data jumlah produk yang keluar dari unit tersebut pada kolom *outputs to technosphere: Products and co-products*.



Gambar 3.14 Mengisi Data Jumlah Produk yang Keluar

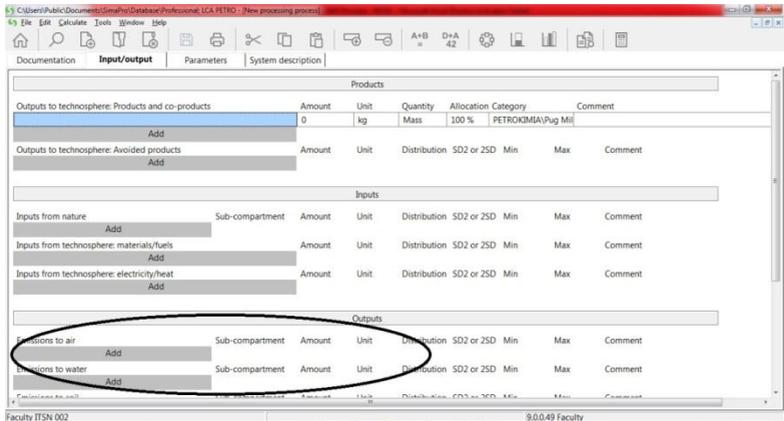
Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

- Mengisi data jumlah produk yang masuk pada unit tersebut pada kolom *inputs from nature* (jika data yang masuk merupakan data yang diambil dari alam) dan *inputs from technosphere: materials/fuels* (jika data tersebut yang keluar dari unit sebelumnya). *Inputs from technosphere: electricity/heat* adalah data penggunaan energi yang digunakan pada unit tersebut, contoh penggunaan energi listrik yang berasal dari PLN atau energi listrik yang berasal dari genset.



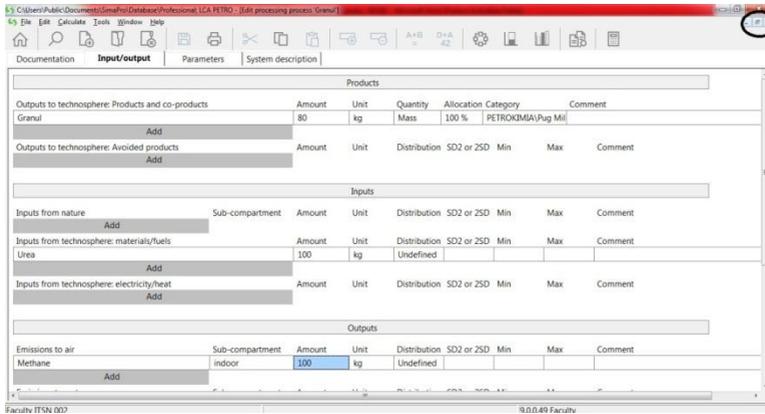
Gambar 3.15 Mengisi Data Jumlah Produk yang Masuk
 Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

- Mengisi data emisi jika unit tersebut menghasilkan emisi pada kolom *Emissions*



Gambar 3.16 Mengisi Data Jumlah Emisi yang Keluar
 Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

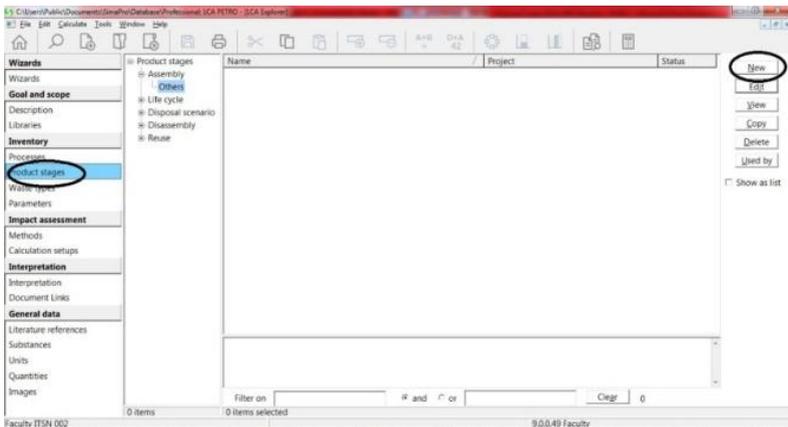
Langkah terakhir setelah mengisi data-data tersebut adalah tekan CTRL+S untuk menyimpan dan tekan silang pada pojok kanan atas untuk menutup halaman tersebut. Setelah halaman tertutup, untuk memasukkan data inventarisasi unit berikutnya klik *New* kembali dan ulangi langkah-langkah seperti diatas.



Gambar 3.17 Menutup Halaman

Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

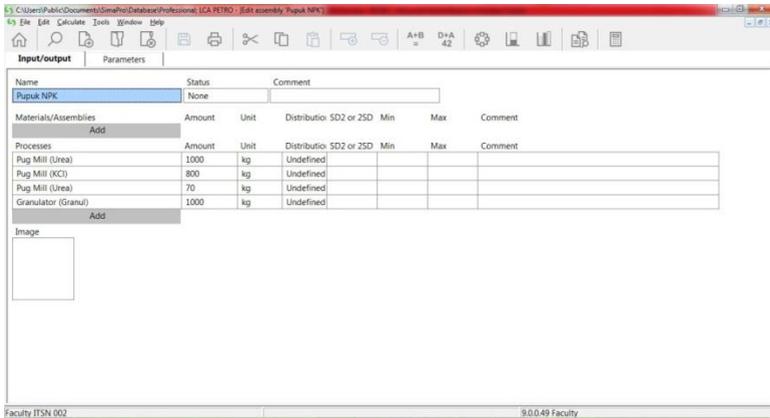
- Langkah selanjutnya adalah pilih *Product stages* kemudian klik *New*



Gambar 3.18 Masuk ke Halaman *Product Stages*

Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

- Mengisi *Name* (diisi sesuai nama keseluruhan proses, contohnya pupuk NPK) dan *Processes* (diisi unit-unit yang terdapat pada data inventori *process* sebelumnya, dan kolom *amount* dituliskan jumlah produk yang keluar dari unit tersebut).



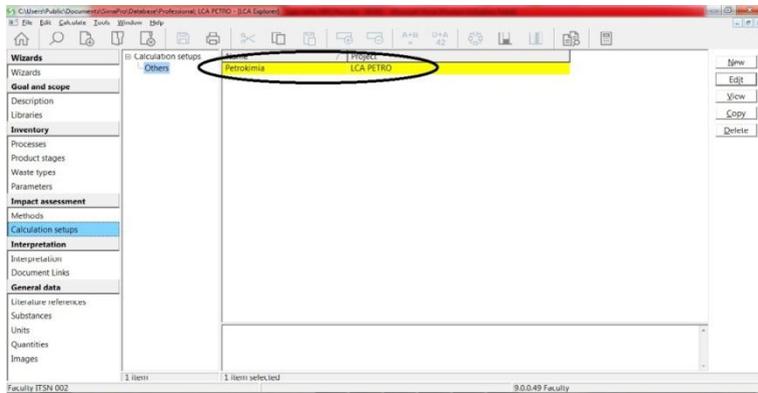
Gambar 3.19 Mengisi Data pada Halaman *Product Stages*

Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

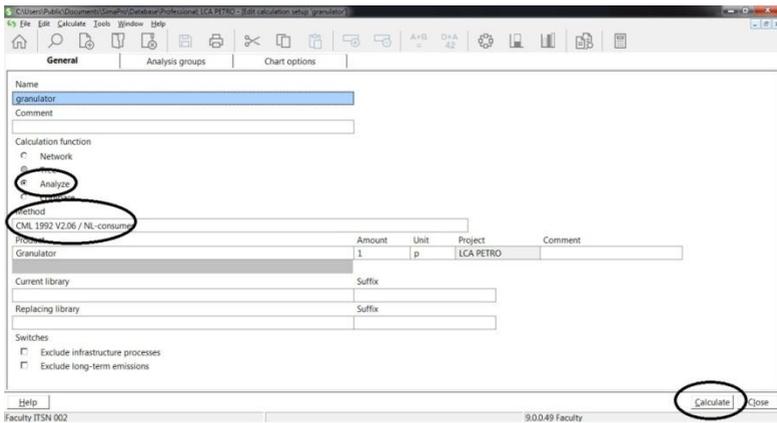
Pengisian data tersebut didasarkan pada masing-masing unit yang tercantum pada tahap *Process*.

7. Penilaian terhadap Cemaran

- *Characterization*/karakterisasi, pada tahap ini terjadi pengalihan faktor karakterisasi dengan data-data yang telah dimasukkan pada tahap inventarisasi. Langkah-langkah mengetahui *Characterization* adalah, klik *Calculation setups*, kemudian *double* klik data yang muncul pada halaman. Pilih *Analyze*, kemudian pilih *Method* yang digunakan dan klik *Calculate*.



Gambar 3.20 Langkah Awal Menilai Dampak
 Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial



Gambar 3.21 Memilih Metode yang Digunakan
 Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

Metode yang dipilih pada penelitian ini adalah TRACI 2.1 dan CML 1992, karena kedua metode ini mempunyai penilaian dampak yang sesuai dengan ruang lingkup peneliti. Setelah memilih metode, maka akan muncul besaran nilai setiap dampaknya. Jika ingin mengetahui besaran nilai dalam bentuk

bagan maka pilih *Network*. Berikut adalah tampilan halaman yang menyajikan besaran nilai setiap dampaknya.

SI	Impact category	Unit	Total	Granulator (Granul)
<input checked="" type="checkbox"/>	Greenhouse	kg GWP	100	100
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer	kg ODP	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity	EC	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity	HC	67.1	67.1
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication	kg NP	11.2	11.2
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification	kg AP	60.2	60.2
<input checked="" type="checkbox"/>	Summer smog	kg POCP	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Energy resources	MJ LHV	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Solid waste	kg waste	x	x

Gambar 3.22 Halaman Besaran Nilai Setiap Dampak
Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

Pada halaman ini terdapat berbagai pilihan penyajian data besaran nilai dampak yaitu tabel dan bagan.

SI	Impact category	Unit	Total	Granulator (Granul)
<input checked="" type="checkbox"/>	Greenhouse		0.0109	0.0109
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone layer		x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity		x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity		1.69	1.69
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication		0.314	0.314
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification		1.72	1.72
<input checked="" type="checkbox"/>	Summer smog		x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Energy resources		x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Solid waste		x	x

Gambar 3.23 Halaman Nilai Normalisasi
Sumber : SimaPro 9.0.0 Tutorial

- *Normalization*/normalisasi merupakan penilaian dengan membandingkan hasil dari *impact category indicator*

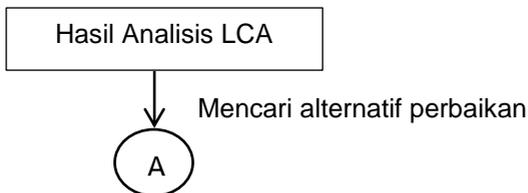
dengan nilai normal. Hal ini bertujuan menyetarakan satuan sesuai ketentuan satuan masing-masing *impact category* secara internasional

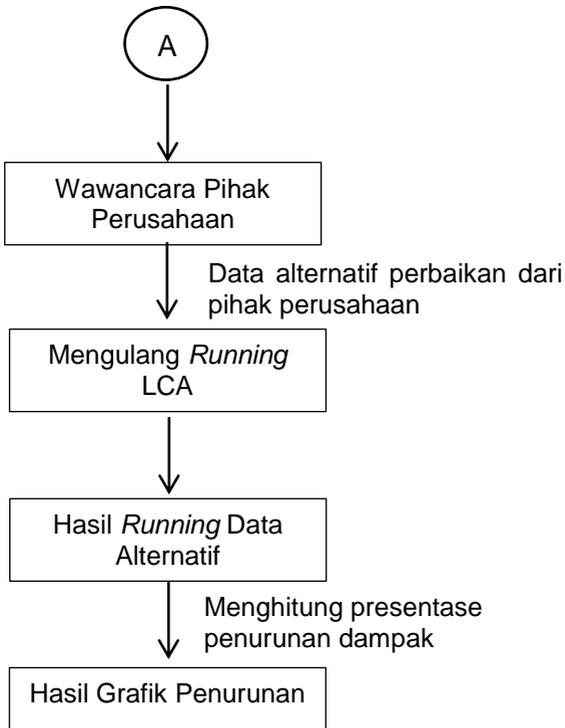
Pada tahap penilaian dampak ini hanya sampai pada *normalization* karena metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penilaian dampak *midpoint*. Hasil dari analisis ini adalah skenario dan grafik yang menunjukkan dampak paling besar dari setiap kegiatan yang dianalisis. Besarnya nilai grafik tersebut sesuai dengan data-data yang dimasukkan kedalam *software* SimaPro 9.0.0. Berdasarkan dampak tersebut, maka dapat diprakirakan alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk meminimalisir dampak yang terjadi.

3.5.3 Penentuan Alternatif Perbaikan

Alternatif perbaikan yang disarankan sesuai dengan hasil wawancara yang dilakukan dengan pihak perusahaan. Berikut ini skema beserta tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menentukan alternatif perbaikan:

1. Berdasarkan hasil analisis LCA dengan mengetahui dampak yang terjadi, maka dilakukan wawancara dengan pihak perusahaan untuk menentukan alternatif perbaikan yang sesuai untuk diterapkan pada perusahaan tersebut.
2. Melakukan *running* kembali menggunakan *software* SimaPro 9.0.0 dengan skenario alternatif perbaikan yang telah dibuat.
3. Membuat grafik presentase penurunan dampak terhadap lingkungan terkait sebelum adanya alternatif perbaikan dan sesudah dilakukannya skenario





Gambar 3.24 Skema Penentuan Alternatif

3.6 Kesimpulan dan Saran

Pembuatan kesimpulan didasarkan atas hasil analisis data yang telah didukung dengan teori yang ada. Kesimpulan akan menjawab tujuan penelitian, sedangkan saran dibuat berdasarkan hasil kesimpulan yang ditujukan untuk memberi petunjuk dan pengembangan terhadap penelitian selanjutnya. Saran yang diberikan merupakan bentuk rekomendasi untuk menyempurnakan penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil PT Petrokimia Gresik

PT Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk terlengkap di Indonesia, yang pada awal berdirinya disebut Proyek Petrokimia Surabaya, dan merupakan produsen pupuk tertua setelah PT Pupuk Sriwijaya (Pusri) Palembang. Kontrak pembangunannya ditandatangani pada tanggal 10 Agustus 1964, dan mulai berlaku pada tanggal 8 Desember 1964. Proyek ini diresmikan oleh Presiden Republik Indonesia pada tanggal 10 Juli 1972, yang kemudian tanggal tersebut ditetapkan sebagai hari jadi PT Petrokimia Gresik dengan bentuk badan usahanya adalah perusahaan umum (PERUM) dengan produknya yang masih berupa pupuk Urea dan pupuk ZA.

Pada mulanya perusahaan ini berada di bawah Departemen Perindustrian dan Perdagangan yaitu di bawah Direktorat Industri Kimia Dasar. Kemudian pada tahun 1992 berada di bawah Direktorat Industri Logam yaitu sejak berdirinya anak perusahaan PT Puspindo yang menghasilkan peralatan-peralatan untuk pabrik. Tetapi sejak tahun 1998 perusahaan ini bernaung di bawah Departemen Keuangan.

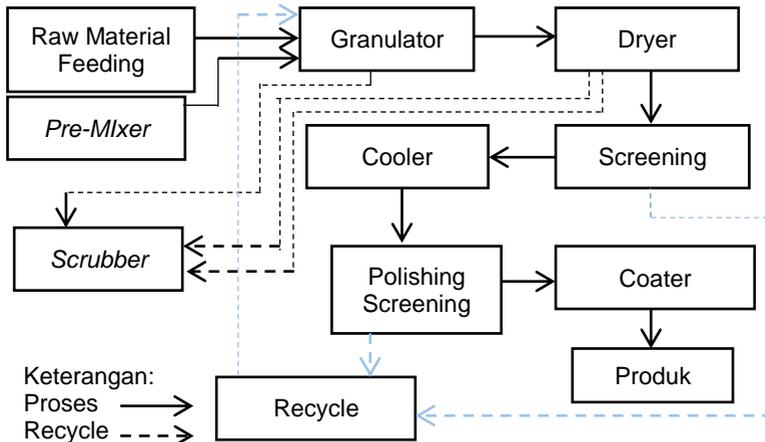
Nama Petrokimia berasal dari kata "Petroleum Chemical" disingkat menjadi "Petrochemical", yaitu berarti bahan-bahan kimia yang diproduksi dengan bahan baku minyak bumi dan gas. Perusahaan ini memproduksi beberapa pupuk kimia seperti : Urea, ZA, SP-36, Phonska, DAP, NPK Kebomas, ZK, dan pupuk organik. Selain itu, PT Petrokimia Gresik ini bergerak di bidang produksi pupuk dan bahan-bahan kimia seperti CO₂ cair, *dry ice*, amoniak, asam sulfat, asam fosfat, *cement retarder*, *purified gypsum*, aluminium fluoride dan N₂ cair serta bidang jasa baik konstruksi, *engineering* maupun jasa-jasa lainnya. PT Petrokimia Gresik menempati lahan seluas 450 hektar berlokasi di Kabupaten Gresik Provinsi Jawa Timur. Areal tanah yang ditempati berada di tiga kecamatan yang meliputi 10 desa.



Gambar 4.1 Lokasi PT Petrokimia Gresik

Sumber : Google Earth

Produk yang dikaji pada penelitian ini adalah pupuk NPK Phonska. Berikut ini blok diagram proses produksi pupuk NPK Phonska.



Gambar 4.2 Blok Diagram Proses Produksi Pupuk NPK Phonska

Sumber : Petrokimia Gresik, 2000

4.2 Analisa Perhitungan Beban Emisi

Perhitungan beban emisi dilakukan pada proses utama (*main process*) dari pembuatan pupuk NPK Phonska di PT Petrokimia Gresik. *System boundary* merupakan batasan sistem produksi yang akan dianalisis. Unit tersebut antara lain: *Raw Material Feeding, Pre-Neutralizer, Granulator, Dryer, Screening, Cooler, Polishing Screen, Coater, Recycle, dan Scrubber*. Perhitungan beban emisi dilakukan pada konsumsi energi listrik setiap unitnya dan penggunaan bahan bakar pada unit *dryer*. Berdasarkan buku Laporan Tahunan Produksi II B Petrokimia Gresik, waktu operasi pada pabrik pupuk NPK Phonska adalah selama 316 hari.

4.2.1 Perhitungan Beban Emisi Unit RMF

Beban emisi dari unit *Raw Material Feeding* berasal dari kegiatan penggunaan listrik, untuk gas amoniak dan debu dialirkan menuju unit *Scrubber*. Unit *Raw Material Feeding* terdiri dari beberapa alat. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Raw Material Feeding* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Konsumsi Listrik Unit *Raw Material Feeding*

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Feeding Conveyor	5	kWh
Feeding Conveyor	5	kWh
Recycle conveyor	90	kWh
Recycle elevator	75	kWh
ZA bin vibrating	1,5	kWh
Filler bin vibrating	1,5	kWh
Potash bin vibrating	1,5	kWh
Urea bin vibrating	1,5	kWh
ZA weigher feeder	1,1	kWh
Filler weigher feeder	1,1	kWh
Potash weigher feeder	1,1	kWh
Urea weigher feeder	1,1	kWh
Total	185,4	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.1, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Raw Material Feeding* sebesar 185,4 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Raw Material Feeding*.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Pengoperasian} &= 316 \text{ hari} \\ \text{Konsumsi Listrik} &= 185,4 \text{ kWh} \\ &= 185,4 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam/hari} \times 316 \text{ hari} \\ &= 1,4 \times 10^6 \text{ kWh} \\ \text{Beban Emisi CO}_2 &= 1,4 \times 10^6 \text{ kWh} \times 0,725 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \\ &= 1,01 \times 10^6 \text{ kgCO}_2 \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Beban Emisi Unit *Pre-Neutralizer*

Beban emisi dari unit *Pre-Neutralizer* berasal dari kegiatan penggunaan listrik, untuk gas amoniak dan debu dialirkan menuju unit *Scrubber*. Unit *Pre-Neutralizer* terdiri dari alat *Pre-Neutralizer Reactor Agitator* dan *Slurry Pump*. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Pre-Neutralizer* dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Konsumsi Listrik Unit *Pre-Neutralizer*

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
PN Reactor agitator	45	kWh
Slurry Pumps	180	kWh
Total	225	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.2, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Pre-Neutralizer* sebesar 225 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Pre-Neutralizer*.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Pengoperasian} &= 316 \text{ hari} \\ \text{Konsumsi Listrik} &= 225 \text{ kWh} \\ &= 225 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam/hari} \times 316 \text{ hari} \\ &= 1,7 \times 10^6 \text{ kWh} \\ \text{Beban Emisi CO}_2 &= 1,7 \times 10^6 \text{ kWh} \times 0,725 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \end{aligned}$$

$$= 1,2 \times 10^6 \text{ kgCO}_2$$

4.2.3 Perhitungan Beban Emisi Unit Granulator

Beban emisi dari unit Granulator berasal dari kegiatan penggunaan listrik, untuk gas amoniak dan debu dialirkan menuju unit *Scrubber*. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit Granulator sebesar 300 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit Granulator.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Pengoperasian} &= 316 \text{ hari} \\ \text{Konsumsi Listrik} &= 300 \text{ kWh} \\ &= 300 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam/hari} \times 316 \text{ hari} \\ &= 2,27 \times 10^6 \text{ kWh} \\ \text{Beban Emisi CO}_2 &= 2,27 \times 10^6 \text{ kWh} \times 0,725 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \\ &= 1,64 \times 10^6 \text{ kgCO}_2 \end{aligned}$$

4.2.4 Perhitungan Beban Emisi Unit Dryer

Beban emisi dari unit *Dryer* berasal dari kegiatan penggunaan listrik untuk alat *dryer* dan penggunaan bahan bakar gas alam untuk pembakaran udara panas pengering di unit *dryer*, untuk gas amoniak dan debu dialirkan menuju unit *Scrubber*. Unit *Dryer* terdiri dari beberapa alat. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Dryer* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Konsumsi Listrik Unit Dryer

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Rotary Dryer	500	kWh
Dryer fan	670	kWh
Dryer Cyclone Seal Valve	0,37	kWh
Combustion Air Fan	125	kWh
Dilution Air Fan	125	kWh
Dust Cyclone Seal Valve	0,37	kWh
Bin vibrating Dryer Cyclone	0,75	kWh
Total	1421,49	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.3, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Dryer* sebesar 1421,49 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Dryer*.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Pengoperasian} &= 316 \text{ hari} \\ \text{Konsumsi Listrik} &= 1421,49 \text{ kWh} \\ &= 1421,49 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam/hari} \times 316 \text{ hari} \\ &= 1,078 \times 10^7 \text{ kWh} \\ \text{Beban Emisi CO}_2 &= 1,078 \times 10^7 \text{ kWh} \times 0,725 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \\ &= 7,8 \times 10^6 \text{ kgCO}_2 \end{aligned}$$

Berikut perhitungan beban emisi CH₄ yang diperoleh dari penggunaan bahan bakar gas alam.

$$\begin{aligned} \text{Penggunaan gas alam} &= 1,4 \times 10^3 \text{ kg/th} \\ \text{Nilai kalor} &= \frac{3,83 \times 10^7 \text{ J/m}^3}{0,6728 \text{ kg/m}^3} \\ &= 5,69 \times 10^7 \text{ J/kg (API Cependium, 2009)} \\ \text{Konsumsi energi} &= 1,4 \times 10^3 \text{ kg/th} \times 5,69 \times 10^7 \text{ J/kg} \\ &= 8.067,9394 \times 10^{12} \text{ J/th} \\ \text{Faktor emisi CH}_4 &= 9 \times 10^{-4} \text{ ton/10}^{12} \text{ J (Peraturan Menteri} \\ &\text{Lingkungan Hidup No 12 Tahun 2012)} \\ \text{Beban emisi} &= 8.067,9394 \times 10^{12} \text{ J/th} \times 9 \times 10^{-4} \\ &\text{ton/10}^{12} \text{ J} \\ &= 7,26 \text{ ton/th} \\ &= 7.260 \text{ kg/th} \end{aligned}$$

Berikut perhitungan beban emisi N₂O yang diperoleh dari penggunaan bahan bakar gas alam.

$$\begin{aligned} \text{Nilai kalor} &= 5,69 \times 10^7 \text{ J/kg} \\ \text{Konsumsi energi} &= 8.067,9394 \times 10^{12} \text{ J/th} \\ \text{Faktor emisi N}_2\text{O} &= 5,7 \times 10^{-4} \text{ ton/10}^{12} \text{ J} \\ \text{Beban emisi} &= 8067,9394 \times 10^{12} \text{ J/th} \times 5,7 \times 10^{-4} \\ &\text{ton/10}^{12} \text{ J} \\ &= 4,60 \text{ ton/th} \\ &= 4.600 \text{ kg/th} \end{aligned}$$

4.2.5 Perhitungan Beban Emisi Unit *Screening*

Beban emisi dari unit *Screening* berasal dari kegiatan penggunaan listrik, untuk gas amoniak dan debu dialirkan menuju

unit *Scrubber*. Unit *Screening* terdiri dari beberapa peralatan listrik. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Screening* dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Konsumsi Listrik Unit *Screening*

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Screen feed conveyor	75	kWh
Oversizes Mills	296	kWh
Lump crusher	30	kWh
Screens	8,8	kWh
Total	409,8	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.4, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Screening* sebesar 409,8 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Screening*.

Waktu Pengoperasian = 316 hari

Konsumsi Listrik = 409,8 kWh
 = 409,8 kWh x 24 jam/hari x 316 hari
 = 3,1 x 10⁶ kWh

Beban Emisi CO₂ = 3,1 x 10⁶ kWh x 0,725 kgCO₂/kWh
 = 2,25 x 10⁶ kgCO₂

4.2.6 Perhitungan Beban Emisi Unit *Cooler*

Beban emisi dari unit *Cooler* berasal dari kegiatan penggunaan listrik, untuk gas amoniak dan debu dialirkan menuju unit *Scrubber*. Unit *Cooler* terdiri dari beberapa peralatan listrik. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Cooler* dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Konsumsi Listrik Unit *Cooler*

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Rotary Cooler	132	kWh
Cooler fan	340	kWh
Cooler Cyclone Seal Valve	0,37	kWh
Total	472,37	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.5, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Cooler* sebesar 472,37 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Cooler*.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Pengoperasian} &= 316 \text{ hari} \\ \text{Konsumsi Listrik} &= 472,37 \text{ kWh} \\ &= 472,37 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam/hari} \times 316 \text{ hari} \\ &= 3,58 \times 10^6 \text{ kWh} \\ \text{Beban Emisi CO}_2 &= 3,58 \times 10^6 \text{ kWh} \times 0,725 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \\ &= 2,59 \times 10^6 \text{ kgCO}_2 \end{aligned}$$

4.2.7 Perhitungan Beban Emisi Unit *Polishing Screen*

Beban emisi dari unit *Polishing Screen* berasal dari kegiatan penggunaan listrik, untuk gas amoniak dan debu dialirkan menuju unit *Scrubber*. Unit *Polishing Screen* terdiri dari beberapa peralatan listrik. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Polishing Screen* dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Konsumsi Listrik Unit *Polishing Screen*

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Polishing screen	8,8	kWh
Product elevator	45	kWh
Total	53,8	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.6, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Polishing Screen* sebesar 53,8 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Polishing Screen*.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Pengoperasian} &= 316 \text{ hari} \\ \text{Konsumsi Listrik} &= 53,8 \text{ kWh} \\ &= 53,8 \text{ kWh} \times 24 \text{ jam/hari} \times 316 \text{ hari} \\ &= 4,08 \times 10^5 \text{ kWh} \\ \text{Beban Emisi CO}_2 &= 4,08 \times 10^5 \text{ kWh} \times 0,725 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} \\ &= 2,95 \times 10^5 \text{ kgCO}_2 \end{aligned}$$

4.2.8 Perhitungan Beban Emisi Unit Coater

Beban emisi dari unit *Coater* berasal dari kegiatan penggunaan listrik, untuk gas amoniak dan debu dialirkan menuju unit *Scrubber*. Unit *Coater* terdiri dari beberapa peralatan listrik. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Coater* dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Konsumsi Listrik Unit Coater

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Pigment powder feeder	0,75	kWh
Coater drum	37	kWh
Coating oil injection pump	1	kWh
Coating oil feeding pump	0,5	kWh
Hoist for pigment powder	1,5	kWh
Water Heater Pumps	37	kWh
Hoist for coating oil tank	1,5	kWh
Bin vibrating Dust Cyclone	0,75	kWh
Bin vibrating Cooler Cyclone	0,75	kWh
Total	80,75	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.7, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Coater* sebesar 80,75 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Coater*.

Waktu Pengoperasian = 316 hari

Konsumsi Listrik = 80,75 kWh

= 80,75 kWh x 24 jam/hari x 316 hari

= 6,12 x 10⁵ kWh

Beban Emisi CO₂ = 6,12 x 10⁵ kWh x 0,725 kgCO₂/kWh

= 4,43 x 10⁵ kgCO₂

4.2.9 Perhitungan Beban Emisi Unit Recycle

Beban emisi dari unit *Recycle* berasal dari kegiatan penggunaan listrik. Unit *Recycle* terdiri dari beberapa peralatan listrik.

Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Recycle* dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Konsumsi Listrik Unit *Recycle*

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Recycle regulator weigher	4	kWh
Oversizes Mills	296	kWh
Screen feed elevator	90	kWh
Screen product conveyor	75	kWh
Total	465	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.8, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Recycle* sebesar 465 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Recycle*.

Waktu Pengoperasian = 316 hari

Konsumsi Listrik = 465 kWh
 = 465 kWh x 24 jam/hari x 316 hari
 = 3,52 x 10⁶ kWh

Beban Emisi CO₂ = 3,52 x 10⁶ kWh x 0,725 kgCO₂/kWh
 = 2,55 x 10⁶ kgCO₂

4.2.10 Perhitungan Beban Emisi Unit *Scrubber*

Beban emisi dari unit *Scrubber* berasal dari kegiatan penggunaan listrik, dan hasil uji lab. Unit *Scrubber* terdiri dari beberapa peralatan listrik. Berdasarkan data dari PT Petrokimia Gresik besar konsumsi listrik pada unit *Scrubber* dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut

Tabel 4.9 Konsumsi Listrik Unit *Scrubber*

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Scrubber pumps	90	kWh
Venturi scrubber pumps	400	kWh
Tower scrubber pumps	320	kWh
Tail gas scrubber pumps	640	kWh
Dust fan	355	kWh

Tabel 4.9 Konsumsi Listrik Unit *Scrubber*

Nama Alat	Konsumsi Listrik	Satuan
Sump Pump	11	kWh
Granulator scrubber fan	355	kWh
Granulator pre scrubber pumps	400	kWh
Dust fan	355	kWh
Dedusting air heater fan	18,5	kWh
Total	2944,5	kWh

Sumber: Data PT Petrokimia Gresik, 2018

Berdasarkan data Tabel 4.9, maka jumlah konsumsi listrik untuk unit *Scrubber* sebesar 2944,5 kWh. Faktor emisi yang digunakan berdasarkan Sistem Ketenagalistrikan daerah Jawa, Madura, Bali (Jamali) yaitu 0,725 kgCO₂/kWh (Kemenperin, 2012). Berikut perhitungan beban emisi untuk unit *Scrubber*.

Waktu Pengoperasian = 316 hari

Konsumsi Listrik = 2944,5 kWh
 = 2944,5 kWh x 24 jam/hari x 316 hari
 = 2,23 x 10⁷ kWh

Beban Emisi CO₂ = 2,23 x 10⁷ kWh x 0,725 kgCO₂/kWh
 = 1,61 x 10⁷ kgCO₂

Perhitungan beban emisi Amoniak selama 1 tahun:

Konsentrasi = 0,41 mg/m³

O₂ correction = 3%

O₂ terukurr = 19,4%

Laju alir = 7,85 m/s

Diameter stack = 2,7 m

Jam operasi = 7.584 jam

C correction = 0,41 mg/m³ x (21 - 3)/(21 - 19,4)
 = 4,61 mg/m³

Q = 7,85 m/s x 3,14 x 0,25 x (2,7m)²
 = 44,92 m³/detik

E = 4,61 mg/m³ x 44,92 m³/detik x 7.584 jam x 0,0036
 = 5.653,81 kg

Perhitungan beban emisi Fluoride selama 1 tahun:

Konsentrasi = 0,07 mg/m³

O₂ correction = 3%

O₂ terukurr = 19,4%

Laju alir = 7,85 m/s

$$\begin{aligned} \text{Diameter stack} &= 2,7 \text{ m} \\ \text{Jam operasi} &= 7.584 \text{ jam} \\ C \text{ correction} &= 0,07 \text{ mg/m}^3 \times (21 - 3)/(21 - 19,4) \\ &= 0,7875 \text{ mg/m}^3 \\ Q &= 7,85 \text{ m/s} \times 3,14 \times 0,25 \times (2,7\text{m})^2 \\ &= 44,92 \text{ m}^3/\text{detik} \\ E &= 0,7875 \text{ mg/m}^3 \times 44,92 \text{ m}^3/\text{detik} \times 7.584 \text{ jam} \times 0,0036 \\ &= 965,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan beban emisi Partikulat selama 1 tahun:

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi} &= 6 \text{ mg/m}^3 \\ O_2 \text{ correction} &= 3\% \\ O_2 \text{ terukur} &= 19,4\% \\ \text{Laju alir} &= 7,85 \text{ m/s} \\ \text{Diameter stack} &= 2,7 \text{ m} \\ \text{Jam operasi} &= 7.584 \text{ jam} \\ C \text{ correction} &= 6 \text{ mg/m}^3 \times (21 - 3)/(21 - 19,4) \\ &= 67,5 \text{ mg/m}^3 \\ Q &= 7,85 \text{ m/s} \times 3,14 \times 0,25 \times (2,7\text{m})^2 \\ &= 44,92 \text{ m}^3/\text{detik} \\ E &= 67,5 \text{ mg/m}^3 \times 44,92 \text{ m}^3/\text{detik} \times 7.584 \text{ jam} \times 0,0036 \\ &= 82.783,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.2.11 Beban Emisi Pada Proses Produksi Pupuk NPK Phonska

Beban emisi yang dihasilkan selama proses produksi pupuk NPK Phonska selama satu tahun dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut

Tabel 4.10 Beban Emisi Keseluruhan Proses

No	Unit	Emisi	Satuan	Sumber	Beban Emisi per Tahun
1	Raw Material Feeding	CO ²	kg	Penggunaan Listrik	1,01 x 10 ⁶
2	Pre-Netralizer	CO ²	kg	Penggunaan Listrik	1,2 x 10 ⁶
3	Granulator	CO ²	kg	Penggunaan Listrik	1,64 x 10 ⁶

Tabel 4.10 Beban Emisi Keseluruhan Proses

No	Unit	Emisi	Satuan	Sumber	Beban Emisi per Tahun
4	Dryer	CO ₂	kg	Penggunaan Listrik	7,8 x 10 ⁶
		CH ₄	kg	Penggunaan Bahan Bakar	7260
		N ₂ O	kg	Penggunaan Bahan Bakar	4600
5	Screening	CO ₂	kg	Penggunaan Listrik	2,25 x 10 ⁶
6	Cooler	CO ₂	kg	Penggunaan Listrik	2,59 x 10 ⁶
7	Polishing Screen	CO ₂	kg	Penggunaan Listrik	2,95 x 10 ⁵
8	Coater	CO ₂	kg	Penggunaan Listrik	4,43 x 10 ⁵
9	Recycle	CO ₂	kg	Penggunaan Listrik	2,55 x 10 ⁶
10	Scrubber	CO ₂	kg	Penggunaan Listrik	1,61 x 10 ⁷
		NH ₃	kg	Stack	5653.81
		F ⁻	kg	Stack	965.8
		PM	kg	Stack	82.783.6

Sumber: Hasil Perhitungan

4.2.12 Benchmarking

Secara umum, *benchmarking* merupakan proses mengukur dan membandingkan secara sinambung atas proses-proses yang terjadi pada perusahaan lain, untuk mendapatkan informasi yang akan membantu upaya perusahaan tersebut memperbaiki kinerjanya (Lubis, 2016). Secara umum, *benchmarking* emisi adalah alat untuk membandingkan intensitas produksi emisi antar fasilitas atau perusahaan dan sebagai tolok ukur produk dapat ditetapkan untuk mencerminkan kinerja emisi “terbaik di kelas” atau “teknologi terbaik yang tersedia” (Zipperer

dkk., 2017). Pada penelitian ini terfokuskan pada *benchmarking* emisi dari produksi NPK. Berdasarkan industri pupuk Yara yang beroperasi di Glomfjord, Norwegia nilai intensitas emisi pupuk NPKnya sebesar 0,8 kg CO₂/kg produk. Industri pupuk Yara yang beroperasi di Porsgrunn, Norwegia nilai intensitas emisinya sebesar 0,8 kg CO₂/kg produk. Industri pupuk Yara yang beroperasi di Siilinjärvi, Finlandia memiliki nilai intensitas emisi sebesar 0,8 kg CO₂/kg produk, dan industri pupuk Yara yang beroperasi di Uusikaupunki, Finlandia juga memiliki intensitas emisi pupuk NPK sebesar 0,8 kg CO₂/kg produk. Selain itu, nilai intensitas emisi pupuk NPK di Eropa sebesar 0,76 kg CO₂/kg produk. Sedangkan, PT Petrokimia Gresik memiliki intensitas emisi pupuk NPK sebesar 0,06 kg CO₂/kg produk. Berikut penyajian data benchmarking intensitas emisi pupuk NPK dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Benchmarking Industri Pupuk NPK

Berdasarkan grafik diatas, intensitas emisi pupuk NPK PT Petrokimia Gresik memiliki nilai lebih rendah jika dibandingkan dengan intensitas emisi industri-industri pupuk NPK di Eropa. Jadi, emisi GRK yang dihasilkan di bawah rata-rata industri pupuk NPK di Uni Eropa.

4.3 Life Cycle Assessment

Tahapan dalam melakukan *Life Cycle Assessment* pada proses pembuatan pupuk NPK Phonska PT Petrokimia Gresik adalah sebagai berikut.

4.3.1 Penentuan *Goal* dan *Scope*

Goal dari penelitian ini adalah mengkaji dampak lingkungan pada kegiatan proses produksi pupuk NPK Phonska PT Petrokimia Gresik. *Scope* dari penelitian ini adalah:

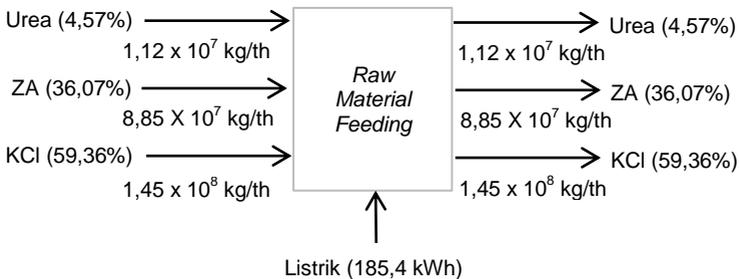
1. Sistem yang akan dikaji pada penelitian ini adalah *Gate to Gate*, yang hanya mengkaji tahap proses produksi
2. Perhitungan beban emisi pada parameter CO₂, CH₄, N₂O, NH₃, F⁻, dan partikulat
3. *Life Cycle Impact Assessment* (LCA) yang dinilai meliputi *ozone depletion, global warming, smog, greenhouse, acidification, eutrophication, human toxicity, respiration effect, ecotoxicity, carcinogenics*, dan *energy resource*. Pemilihan kategori didasarkan pada dampak lingkungan yang berhubungan dengan proses produksi pupuk NPK
4. *Software* yang digunakan adalah SimaPro 9.0.0 dengan metode TRACI 2.1 dan CML 1992

4.3.2 Penentuan *Life Cycle Inventory* (LCI)

Berdasarkan ISO 14040 (2006), tahap analisis inventori adalah tahap yang melibatkan pengumpulan data dan prosedur perhitungan untuk mengukur input dan output yang relevan dari sistem produk. Berikut *Life Cycle Inventory* (LCI) dari setiap unit proses produksi pupuk NPK Phonska PT Petrokimia Gresik. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data satu tahun, karena menurut ISO 14044 (2006), salah satu persyaratan kualitas data adalah representatif. Selain itu, menurut EPA (2016), merekomendasikan standar pengumpulan data untuk LCA adalah 1 tahun. Pada tahap ini, bahan-bahan masuk (*input*) pada sistem yaitu urea, KCl, ZA, amoniak cair, asam fosfat, asam sulfat, dan gas alam sebagai bahan bakar sumber energi. Bahan yang keluar (*output*) sistem yaitu NPK *product* dan emisi gas buang.

4.3.2.1 Unit Raw Material Feeding

Raw Material Feeding merupakan unit yang berfungsi untuk menyalurkan material-material padat seperti urea, KCl, dan ZA. Unit *Raw Material Feeding* menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya. Data *input* dan data *output* dari unit *Raw Material Feeding* dapat dilihat pada Tabel yang ada pada lampiran. Selanjutnya setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit *Raw Material Feeding*. Satuan berat dalam kg. Tujuan dari *material balance* untuk menentukan *input* proses dan perhitungan *output* proses melalui pengetahuan tentang cara kerja internal dari suatu operasi unit tertentu (Pfromm dkk., 2011).



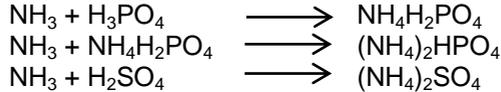
Gambar 4.4 Material Balance Unit Raw Material Feeding

Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan :

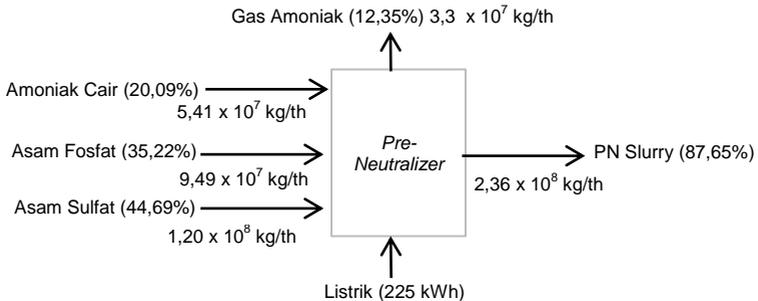
- Urea
 1. Nitrogen (46%) = $5,15 \times 10^6$ kg/th
 2. H₂O (0,5%) = $5,6 \times 10^4$ kg/th
 3. Lain-lain (53,5%) = $6,0 \times 10^6$ kg/th
- ZA
 1. Nitrogen (21%) = $1,86 \times 10^7$ kg/th
 2. Sulfur (24%) = $2,12 \times 10^7$ kg/th
 3. Lain-lain (55%) = $4,87 \times 10^7$ kg/th
- KCl
 1. Kalium oksida (60%) = $8,74 \times 10^7$ kg/th
 2. Lain-lain (40%) = $5,83 \times 10^7$ kg/th

4.3.2.2 Unit Pre-Neutralizer

Unit *Pre-Neutralizer* berfungsi untuk mencampurkan bahan baku cair berupa NH_3 , H_3PO_4 dan H_2SO_4 dimasukkan ke dalam sebuah *pre-neutralizer* sehingga terjadi reaksi sebagai berikut:



Proses netralisasi ini berlangsung di dalam *Pre-Neutralizer* yang dipasang sedemikian rupa sehingga *slurry* amonium fosfat (mengandung sedikit sulfat) yang dihasilkan kemudian langsung tertuang ke dalam granulator. Unit *Pre-Neutralizer* menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya. Data *input* dan data *output* dari unit *Pre-Neutralizer* dapat dilihat pada Tabel yang ada pada lampiran. Kemudian setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit *Pre-Neutralizer*. Satuan berat dalam kg.



Gambar 4.5 Material Balance Unit *Pre-Neutralizer*

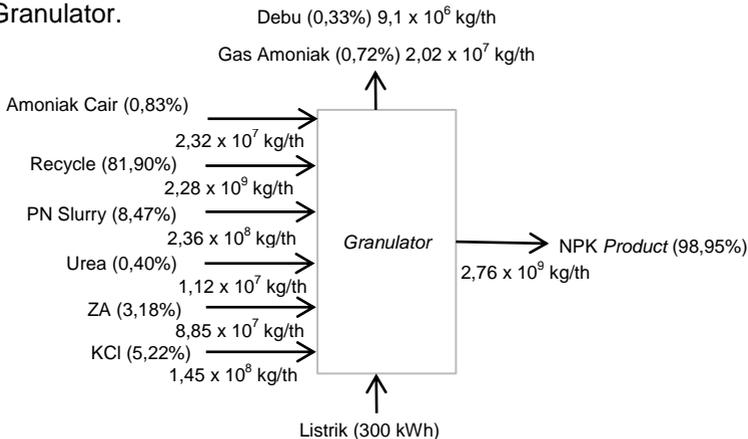
Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan :

- Amoniak Cair
 1. Nitrogen (82%) = $4,44 \times 10^7$ kg/th
 2. H_2O (0,5%) = $2,7 \times 10^5$ kg/th
 3. Lain-lain (17,5%) = $9,47 \times 10^6$ kg/th
- Asam Fosfat
 1. Fosforus pentoksida (50%) = $4,74 \times 10^7$ kg/th
 2. Asam sulfat (2,88%) = $2,73 \times 10^6$ kg/th
 3. H_2O (23,20%) = $2,20 \times 10^7$ kg/th
 4. Lain-lain (23,92%) = $2,27 \times 10^7$ kg/th
- Asam Sulfat

1. Asam sulfat (98%) = $1,18 \times 10^8$ kg/th
2. H₂O (2%) = $2,40 \times 10^8$ kg/th
- PN Slurry
 1. Nitrogen (15,50%) = $3,66 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (14,58%) = $3,44 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (0,84%) = $1,98 \times 10^6$ kg/th
 4. H₂O (11,88%) = $2,80 \times 10^7$ kg/th
 5. Lain-lain (57,2%) = $1,35 \times 10^8$ kg/th

4.3.2.3 Unit Granulator

Granulator berfungsi untuk membuat granul phonska akibat terjadinya reaksi kimia dan fisis antara bahan baku yang berbeda-beda karakteristiknya dan senyawa P₂O₅ yang berasal dari asam fosfat. Semua bahan baku padat dan *recycle* diumpangkan ke dalam granulator, yang kemudian akan bercampur dengan *slurry* dari unit *Pre-Neutralizer*. Asam sulfat dapat juga diumpangkan langsung ke granulator pada lapisan padatan yang akan bereaksi dengan sebagian amoniak cair dari *sparger*. Dalam proses pengoperasiannya, granulator menggunakan energi listrik. Data *input* dan data *output* dari unit *Granulator* dapat dilihat pada Tabel yang ada pada lampiran. Kemudian setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit Granulator.



Gambar 4.6 Material Balance Unit Granulator

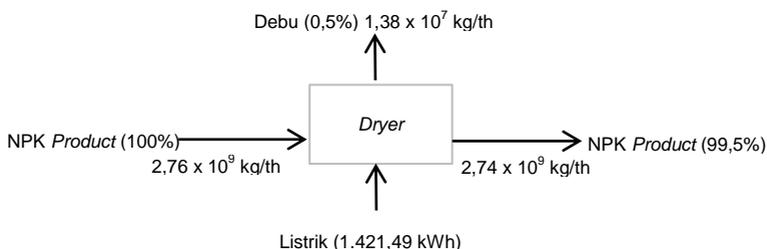
Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan :

- Urea
 1. Nitrogen (46%) = $5,15 \times 10^6$ kg/th
 2. H₂O (0,5%) = $5,6 \times 10^4$ kg/th
 3. Lain-lain (53,5%) = $6,0 \times 10^6$ kg/th
- ZA
 1. Nitrogen (21%) = $1,86 \times 10^7$ kg/th
 2. Sulfur (24%) = $2,12 \times 10^7$ kg/th
 3. Lain-lain (55%) = $4,87 \times 10^7$ kg/th
- KCl
 1. Kalium oksida (60%) = $8,74 \times 10^7$ kg/th
 2. Lain-lain (40%) = $5,83 \times 10^7$ kg/th
- PN *Slurry*
 1. Nitrogen (15,50%) = $3,66 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (14,58%) = $3,44 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (0,84%) = $1,98 \times 10^6$ kg/th
 4. H₂O (11,88%) = $2,80 \times 10^7$ kg/th
 5. Lain-lain (57,2%) = $1,35 \times 10^8$ kg/th
- Amoniak Cair
 1. Nitrogen (82%) = $1,90 \times 10^7$ kg/th
 2. H₂O (0,5%) = $1,16 \times 10^5$ kg/th
 3. Lain-lain (17,5%) = $4,06 \times 10^6$ kg/th
- Amoniak Cair
 1. Nitrogen (15,08%) = $3,44 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $3,44 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $3,44 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $2,28 \times 10^7$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $1,22 \times 10^9$ kg/th
- NPK *Product (out)*
 1. Nitrogen (14,97%) = $4,13 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (14,94%) = $4,12 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (14,94%) = $4,12 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (2,5%) = $6,90 \times 10^7$ kg/th
 5. Lain-lain (52,65%) = $1,45 \times 10^9$ kg/th

4.3.2.4 Unit *Dryer*

Dryer berbentuk *rotary drum*. *Dryer* ini akan mengeringkan padatan keluaran dari granulator hingga kadar air 1-1,5%, dengan media udara panas suhu 150-170°C yang dihasilkan oleh

furnace, menggunakan bahan bakar solar sebagai media pemanas. Dalam proses pengoperasiannya, peralatan unit *Dryer* menggunakan energi listrik. Data *input* dan data *output* dari unit *Dryer* dapat dilihat pada Tabel yang ada pada lampiran. Kemudian setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit *Dryer*.



Gambar 4.7 Material Balance Unit Dryer

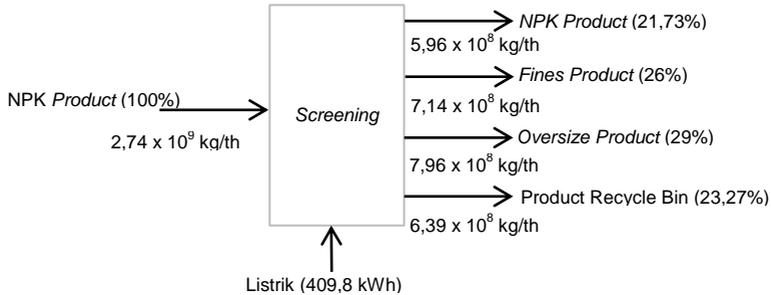
Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan :

- NPK *Product (in)*
 1. Nitrogen (14,97%) = $4,13 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (14,94%) = $4,12 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (14,94%) = $4,12 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (2,5%) = $6,90 \times 10^7$ kg/th
 5. Lain-lain (52,65%) = $1,45 \times 10^9$ kg/th
- NPK *Product (out)*
 1. Nitrogen (15,08%) = $4,14 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $4,14 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $4,14 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $2,74 \times 10^7$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $1,47 \times 10^9$ kg/th

4.3.2.5 Unit Screening

Screening merupakan unit yang berfungsi untuk memisahkan produk *onsize*, *oversize*, dan *undersize*. Produk *oversize* dan *undersize* akan dipisah dan disalurkan menuju granulator. Produk *onsize* dari hasil *screening* selanjutnya diumpungkan ke *cooler*, dimana ukuran produk *onsize* adalah 2-4 mm. Unit *Screening* menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya. Data *input* dan data *output* dari unit *Screening* dapat dilihat pada Tabel yang

ada pada lampiran. Selanjutnya setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit *Screenin*.



Gambar 4.8 Material Balance Unit Screening

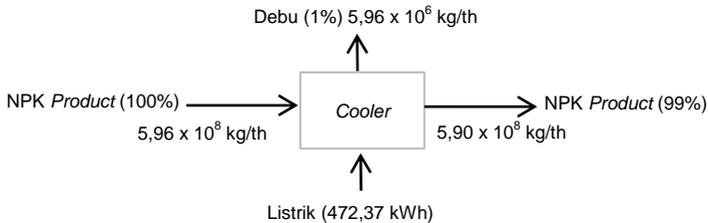
Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan :

- **NPK Product (in)**
 1. Nitrogen (15,08%) = $4,14 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $4,14 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $4,14 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $2,74 \times 10^7$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $1,47 \times 10^9$ kg/th
- **Fines Product**
 1. Nitrogen (15,08%) = $1,07 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $1,07 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $1,07 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $7,14 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,83 \times 10^8$ kg/th
- **Product Recycle Bin**
 1. Nitrogen (15,08%) = $9,64 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $9,64 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $9,64 \times 10^7$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $6,39 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,43 \times 10^8$ kg/th
- **NPK Product (out)**
 1. Nitrogen (15,08%) = $8,99 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $8,99 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $8,99 \times 10^7$ kg/th

4. H₂O (1%) = $5,96 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,20 \times 10^8$ kg/th
- *Oversize Product*
 1. Nitrogen (15,08%) = $1,20 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $1,20 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $1,20 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $7,96 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $4,28 \times 10^8$ kg/th

4.3.2.6 Unit Cooler

Cooler merupakan unit yang menampung produk yang memenuhi ukuran secara gravitasi, yang mana produk tersebut akan masuk *fluid bed cooler* untuk mencapai suhu <45°C, untuk mencegah penyerapan air oleh produk terhadap uap air dalam udara pendingin. Unit *Cooler* menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya. Data *input* dan data *output* dari unit *Cooler* dapat dilihat pada Tabel yang ada pada lampiran. Selanjutnya setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit *Cooler*.



Gambar 4.9 Material Balance Unit Cooler

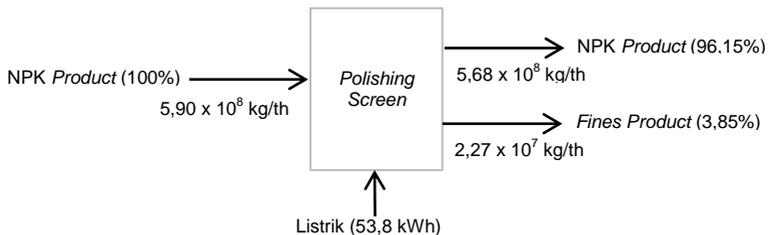
Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan :

- *NPK Product (out)*
 1. Nitrogen (15,08%) = $8,90 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $8,90 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $8,90 \times 10^7$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $5,90 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,17 \times 10^8$ kg/th
- *NPK Product (in)*
 1. Nitrogen (15,08%) = $8,99 \times 10^7$ kg/th

2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $8,99 \times 10^7$ kg/th
3. Kalium oksida (15,08%) = $8,99 \times 10^7$ kg/th
4. H₂O (1%) = $5,96 \times 10^6$ kg/th
5. Lain-lain (53,76%) = $3,20 \times 10^8$ kg/th

4.3.2.7 Unit *Polishing Screen*

Unit *Polishing Screen* merupakan unit yang berfungsi untuk menyaring produk-produk *undersize* yang ukurannya < 2mm, dan masih terbawa. Produk *undersize* tersebut akan disalurkan menuju granulator untuk diolah kembali bersama bahan-bahan lainnya. Unit *Polishing Screen* menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya. Data *input* dan data *output* dari unit *Polishing Screen* dapat dilihat pada Tabel yang ada pada lampiran. Selanjutnya setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit *Polishing Screen*.



Gambar 4.10 Material Balance Unit *Polishing Screen*

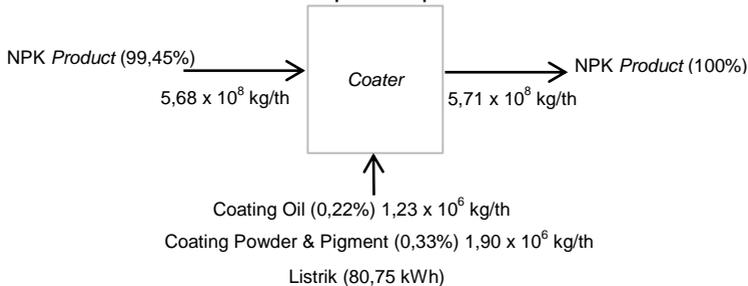
Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan :

- *NPK Product (in)*
 1. Nitrogen (15,08%) = $8,90 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $8,90 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $8,90 \times 10^7$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $5,90 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,17 \times 10^8$ kg/th
- *NPK Product (out)*
 1. Nitrogen (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $5,68 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,05 \times 10^8$ kg/th
- *Fines Product*

1. Nitrogen (15,08%) = $3,42 \times 10^6$ kg/th
2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $3,42 \times 10^6$ kg/th
3. Kalium oksida (15,08%) = $3,42 \times 10^6$ kg/th
4. H₂O (1%) = $2,27 \times 10^5$ kg/th
5. Lain-lain (53,76%) = $1,22 \times 10^7$ kg/th

4.3.2.8 Unit Coater

Produk dingin dimasukkan ke *coater* untuk pelapisan produk. Pelapisan diperlukan untuk formula NPK yang khususnya menggunakan urea, sebab sifat higroskopis urea dapat menyebabkan penggumpalan, jika terjadi perubahan suhu dan kadar air udara. Bahan pelapis (*coating agent*) terdiri dari *coating oil* dan *coating powder & pigment*. Unit *Coater* menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya. Data *input* dan data *output* dari unit *Coater* dapat dilihat pada Tabel yang ada pada lampiran. Selanjutnya setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit *Coater*.



Gambar 4.11 Material Balance Unit Coater

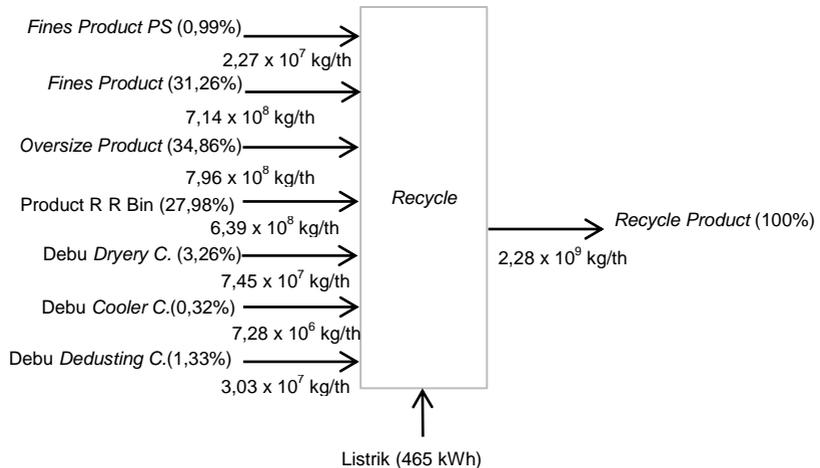
Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan:

- NPK *Product (in)*
 1. Nitrogen (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $5,68 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,05 \times 10^8$ kg/th
- NPK *Product (out)*
 1. Nitrogen (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th

3. Kalium oksida (15,08%) = $8,56 \times 10^7$ kg/th
4. H₂O (1%) = $5,68 \times 10^6$ kg/th
5. Lain-lain (53,76%) = $3,05 \times 10^8$ kg/th

4.3.2.9 Unit *Recycle*

Recycle merupakan unit yang menampung produk-produk NPK yang tidak berhasil melewati unit *Screen* dan *Polishing Screen*, dimana produk tersebut akan disalurkan menuju granulator untuk diolah kembali. Dalam proses pengoperasiannya, unit *Recycle* menggunakan energi listrik. Data *input* dan data *output* dari unit *Recycle* dapat dilihat pada Tabel yang ada pada lampiran. Selanjutnya setelah didapatkan data *input* dan *output* maka dibuat *material balance* dari proses pada unit *Recycle*.



Gambar 4.12 Material Balance Unit *Recycle*

Keterangan komposisi yang terkandung dalam setiap bahan:

- *Fines Product Screening*
 1. Nitrogen (15,08%) = $1,07 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $1,07 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $1,07 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $7,14 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,83 \times 10^8$ kg/th
- *Product Recycle Bin*

1. Nitrogen (15,08%) = $9,64 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $9,64 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $9,64 \times 10^7$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $6,39 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,43 \times 10^8$ kg/th
- *Oversize Product Screening*
 1. Nitrogen (15,08%) = $1,20 \times 10^8$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $1,20 \times 10^8$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $1,20 \times 10^8$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $7,96 \times 10^6$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $4,28 \times 10^8$ kg/th
 - *Fines Product Polishing Screen*
 1. Nitrogen (15,08%) = $3,42 \times 10^6$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $3,42 \times 10^6$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $3,42 \times 10^6$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $2,27 \times 10^5$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $1,22 \times 10^7$ kg/th
 - *Debu Dryer Cyclone*
 1. Nitrogen (15,08%) = $1,12 \times 10^7$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $1,12 \times 10^7$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $1,12 \times 10^7$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $7,45 \times 10^5$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $4,00 \times 10^7$ kg/th
 - *Debu Cooler Cyclone*
 1. Nitrogen (15,08%) = $1,09 \times 10^6$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $1,09 \times 10^6$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $1,09 \times 10^6$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $7,28 \times 10^4$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $3,91 \times 10^6$ kg/th
 - *Debu Dedusting Cyclone*
 1. Nitrogen (15,08%) = $4,57 \times 10^6$ kg/th
 2. Fosforus pentoksida (15,08%) = $4,57 \times 10^6$ kg/th
 3. Kalium oksida (15,08%) = $4,57 \times 10^6$ kg/th
 4. H₂O (1%) = $3,03 \times 10^5$ kg/th
 5. Lain-lain (53,76%) = $1,63 \times 10^7$ kg/th

4.3.2.10 Unit Scrubber

Pada tahap ini peralatan yang digunakan adalah sistem *scrubber* 4 tahap untuk membersihkan gas buang dan menangkap unsur hara sebagai daur ulang. Pada pencucian tahap pertama, digunakan granulator *pre-scrubber* untuk menangkap gas dari granulator yang berupa *ventury scrubber* yang dilengkapi *sprayer* dan *cyclonic tower* yang pada sisi dasarnya berupa tangki penampung larutan. Pencucian tahap kedua berupa 2 *ventury scrubber* berdimensi sama yang fungsinya mencuci gas dari *dryer cyclone*, granulator dan *dedusting* sistem dan larutan yang dihasilkan ditampung di dalam *scrubber vessel*. tahap pencucian ketiga berupa *gas scrubber* yang fungsinya mencuci gas dari dua sistem *scrubber* sebelumnya dan yang berasal dari *FBC cyclonic*. Sedangkan tahap pencucian keempat berupa *tower scrubber* untuk menangkap gas buang yang lolos dari tiga sistem *scrubber* diatas sebelum dibuang ke atmosfer. Kelengkapan data inventori dapat dilihat pada lampiran

4.3.3 Penentuan Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Berdasarkan ISO 14040 (2006), tahap analisis dampak atau *Life Cycle Impact Assessment* merupakan tahap yang bertujuan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan yang dapat terjadi berdasarkan data dari hasil analisis inventori. Metode yang digunakan dalam proses penilaian dampak yaitu metode TRACI 2.1 dan CML 1992. Metode TRACI 2.1 ini dipilih karena menurut EPA (2012), metodologi yang mendasari TRACI 2.1 memanfaatkan jumlah emisi kimia atau sumber daya yang digunakan dan perkiraan potensi yang diakibatkan oleh tekanan, selain itu polutan partikulat dalam TRACI 2.1 terdiri dari berbagai ukuran dan bentuk (misal PM 2,5 dan PM 10) dan polutan yang mengarah pada dampak pernafasan yang terkait dengan partikulat (misal Sulfur Oksida dan Nitrogen Oksida). Sedangkan, metode CML 1992 dipilih karena menurut Dreyer dkk. (2003), CML didasarkan pada model multimedia terintegrasi yang dikembangkan untuk penilaian risiko bahan kimia pada kesehatan manusia dan ekosistem. Metode ini sesuai untuk menganalisis proses produksi pupuk NPK Phonska yang menghasilkan emisi kimia serta debu, yang mana dapat berdampak pada kesehatan manusia.

Jenis pendekatan yang digunakan yaitu pendekatan *midpoint*, karena menurut Sharaai dkk. (2010), *midpoint* merujuk pada hasil *impact assessment* yang spesifik per kategori dampak. Selain itu menurut Michael dkk. (2015), keuntungan utama dari indikator *midpoint* adalah pertimbangan kekuatan ilmiah yang relatif kuat. Kategori dampak yang dapat dianalisis dengan pendekatan TRACI 2.1 meliputi *Ozone depletion, Global warming, Smog, Acidification, Eutrophication, Carcinogenics, Non carcinogenics, Respiratory effects, Ecotoxicity, Fossil fuel depletion* (Pre,2019). Pada metode TRACI terdapat 10 kategori dampak, namun pada penelitian ini difokuskan pada 8 kategori dampak. Dampak yang diteliti adalah *ozone depletion, global warming, smog, acidification, eutrophication, respiratory effect, ecotoxicity, carcinogenics*.. Sedangkan kategori dampak dari metode CML 1992 adalah *Greenhouse effect, Ozone layer depletion, Human toxicity, Ecotoxicity, Summer Smog, Acidification, Eutrophication, Solid waste, dan Energy resource* (Pre, 2019). Pada penelitian ini difokuskan pada 3 kategori dampak CML 1992. Dampak yang diteliti adalah *greenhouse, human toxicity, dan energy resource*.

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan oleh *software* diperoleh *network* dan *impact assessment*. Garis merah berpanah menunjukkan hubungan antar kegiatan. Dimana garis merah tebal menunjukkan besarnya kontribusi dampak terhadap lingkungan.

Menurut ISO 14040 (2006), tahap analisis dampak merupakan tahap yang bertujuan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan yang dapat terjadi berdasarkan data dari hasil analisis inventori. Berikut ini merupakan penilaian dampak untuk tahap karakterisasi dari kegiatan proses produksi pupuk NPK Phonska dengan menggunakan metode TRACI 2.1 dan CML 1992 pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13 serta Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

1) *Characterization*

a. TRACI 2.1

Karakterisasi adalah penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori dampak (Windrianto dkk., 2011). Nilai dampak yang muncul berdasarkan *input* data material, bahan bakar, energi dan emisi. Berdasarkan Tabel 4.12 diketahui bahwa pada unit *raw material feeding* memberikan kontribusi dampak

terbesar terhadap *global warming* yaitu sebesar $1,9 \times 10^5$ kg CO₂ eq. Unit *pre-neutralizer* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *ecotoxicity* sebesar $36,2 \times 10^9$ CTUe. Unit granulator memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *acidification* sebesar $3,7 \times 10^7$ kg SO₂ eq. Unit *dryer* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* yaitu sebesar $3,05 \times 10^6$ kg CO₂ eq. Unit *screening* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* yaitu sebesar $4,3 \times 10^5$ kg CO₂ eq. Unit *cooler* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* yaitu sebesar $4,9 \times 10^5$ kg CO₂ eq. Unit *polishing screen* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* yaitu sebesar $5,6 \times 10^4$ kg CO₂ eq. Unit *coater* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar $8,5 \times 10^4$ kg CO₂ eq. Unit *recycle* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar $4,9 \times 10^5$ kg CO₂ eq. Unit terakhir yaitu unit *scrubber* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar $3,1 \times 10^6$ kg CO₂ eq.

b. CML 1992

Berdasarkan Tabel 4.13 hasil dari *running* pada tahap LCIA menunjukkan bahwa pada unit *raw material feeding* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar $4,5 \times 10^6$ MJ LHV. Unit *pre-neutralizer* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar $5,6 \times 10^6$ MJ LHV. Unit granulator memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar $7,4 \times 10^6$ MJ LHV. Unit *dryer* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar $5,007 \times 10^9$ MJ LHV. Unit *screening* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar $9,97 \times 10^6$ MJ LHV. Unit *cooler* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar $1,15 \times 10^7$ MJ LHV. Unit *polishing screen* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar $1,3 \times 10^6$ MJ LHV. Unit *coater* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* yaitu sebesar

1,96 x 10⁶ MJ LHV. Unit *recycle* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* yaitu sebesar 1,1 x 10⁷ MJ LHV. Unit terakhir, yaitu *scrubber* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* yaitu sebesar 7,1 x 10⁷ MJ LHV.

Pada tahap karakterisasi, metode TRACI 2.1 dan CML 1992 memiliki nilai dampak yang sama. Nilai tersebut sama apabila pada masing-masing metode terdapat kategori dampak dengan unit dampak yang sama. Berikut ini contoh kategori dampak yang sama pada unit *Raw Material Feeding*.

Tabel 4.11 Nilai Dampak Metode TRACI dan CML

Metode TRACI 2.1			Metode CML 1992		
Kategori Dampak	Unit	Nilai	Kategori Dampak	Unit	Nilai
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0	Ozone layer	kg ODP	0
Acidification	kg SO ₂ eq	0	Acidification	kg AP	0

Sumber : SimaPro 9.0.0

Pada Tabel 4.11 diatas, kategori dampak *acidification*, dan *ozone depletion* memiliki satuan unit yang berbeda, namun memiliki nilai yang sama, karena menurut Heijungs (1992), *acidification potential* (AP) relatif terhadap SO₂ dan ODP adalah parameter relatif yang menggunakan CFC-11 sebagai referensi.

Tabel 4.12 Dampak Tahap Karakterisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode TRACI 2.1

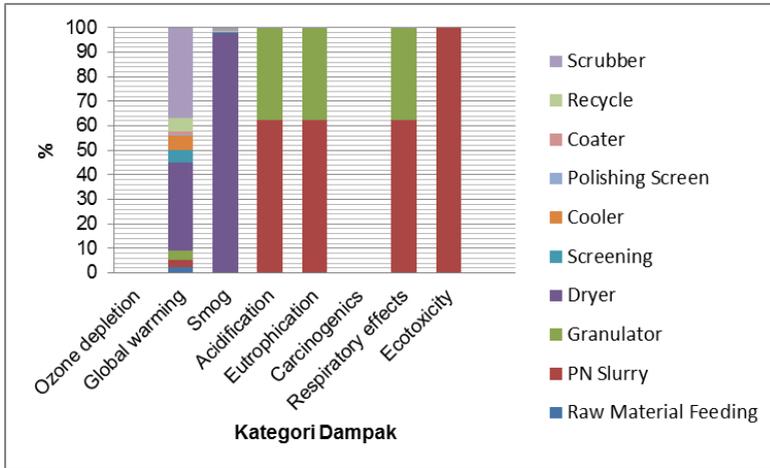
Impact category	Unit	Total	Raw Material Feeding	Pre-Neutralizer	Granulator	Dryer	Screening	Cooler	Polishing Screen	Coater	Recycle	Scrubber
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Global warming	kg CO2 eq	$8,5 \times 10^6$	$1,9 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	$3,05 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	$5,69 \times 10^4$	$8,5 \times 10^4$	49×10^5	$3,1 \times 10^6$
Smog	kg O3 eq	$8,8 \times 10^5$	778,89	974,15	1287,18	$8,6 \times 10^5$	1721,49	1984,33	226,01	339,21	1980,17	$1,2 \times 10^4$
Acidification	kg SO2 eq	$1,005 \times 10^8$	0	$6,2 \times 10^7$	$3,7 \times 10^7$	0	0	0	0	0	0	$1,06 \times 10^4$
Eutrophication	kg N eq	$6,3 \times 10^6$	0	$3,9 \times 10^6$	$2,39 \times 10^6$	0	0	0	0	0	0	670,54
Carcinogenics	CTUh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Respiratory effects	kg PM2.5 eq	$3,5 \times 10^6$	0,0065	$2,2 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	0,1	0	0	0	0	0,017	377,02
Ecotoxicity	CTUe	$36,2 \times 10^9$	0	$36,2 \times 10^9$	0	0	0	0	0	0	0	0

Sumber: SimaPro 9.0.0

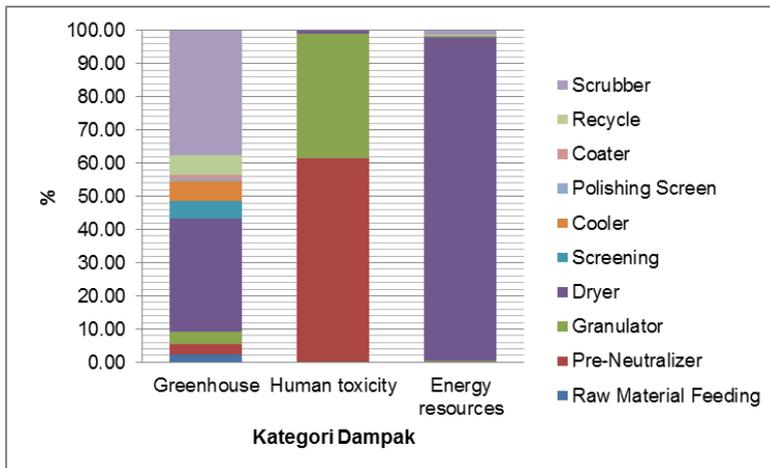
Tabel 4.13 Dampak Tahap Karakterisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode CML 1992

Impact category	Unit	Total	Raw Material Feeding	PN Slurry	Granulator	Dryer	Screening	Cooler	Polishing Screen	Coater	Recycle	Scrubber
Greenhouse	kg GWP	$8,2 \times 10^6$	$1,9 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	$2,8 \times 10^6$	$4,3 \times 10^5$	$4,99 \times 10^5$	$5,69 \times 10^4$	$8,5 \times 10^4$	$4,98 \times 10^5$	$3,1 \times 10^6$
Human toxicity	HC	$1,08 \times 10^6$	9,29	$6,6 \times 10^5$	$4,04 \times 10^5$	$1,02 \times 10^4$	20,6	23,6	2,7	4,1	23,6	260,5
Energy resources	MJ LHV	$5,1 \times 10^9$	$4,5 \times 10^6$	$5,6 \times 10^6$	$7,4 \times 10^6$	$5,007 \times 10^9$	$9,97 \times 10^6$	$1,15 \times 10^7$	$1,3 \times 10^6$	$1,96 \times 10^6$	$1,1 \times 10^7$	$7,1 \times 10^7$

Sumber: SimaPro 9.0.0



Gambar 4.13 Karakterisasi Penilaian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode TRACI 2.1



Gambar 4.14 Karakterisasi Penilaian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode CML 1992

- 2) Normalization
 - a. TRACI 2.1

Menurut Windrianto dkk. (2011), Normalisasi merupakan prosedur yang dibutuhkan untuk menunjukkan kontribusi relatif dari semua kategori dampak pada seluruh masalah lingkungan untuk menciptakan satuan yang seragam pada semua kategori dampak dengan mengalikan nilai karakterisasi dengan nilai normal. Berdasarkan Tabel 4.14 setelah dilakukan tahap normalisasi diketahui bahwa unit *raw material feeding* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar 8,4. Unit lain yaitu *pre-neutralizer* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *ecotoxicity* sebesar $3,47 \times 10^6$. Unit granulator memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *acidification* sebesar $2,45 \times 10^5$. Unit *dryer* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *smog* sebesar 422,3. Unit selanjutnya *screening* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar 18,5. Unit lain yaitu *cooler* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar 21,3. Unit setelah *cooler* yaitu *polishing screen* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar 2,4. Unit *coater* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar 3,6. Unit *recycle* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar 21,2. Unit *scrubber* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *global warming* sebesar 132,6.

b. CML 1992

Berdasarkan Tabel 4.15 setelah dilakukan tahap normalisasi diketahui bahwa unit *raw material feeding* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar 38,4. Unit lain yaitu *pre-neutralizer* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *human toxicity* sebesar $1,67 \times 10^4$. Unit granulator memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *human toxicity* sebesar $1,01 \times 10^4$. Unit *dryer* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar $4,2 \times 10^4$. Unit selanjutnya *screening* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar 84,8. Unit lain

yaitu *cooler* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar 97,7. Unit setelah *cooler* yaitu *polishing screen* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar 11,1. Unit *coater* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar 16,7. Unit *recycle* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar 97,6. Unit *scrubber* memberikan kontribusi dampak terbesar pada kategori dampak *energy resource* sebesar 609,4.

Tabel 4.14 Dampak Tahap Normalisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode TRACI 2.1

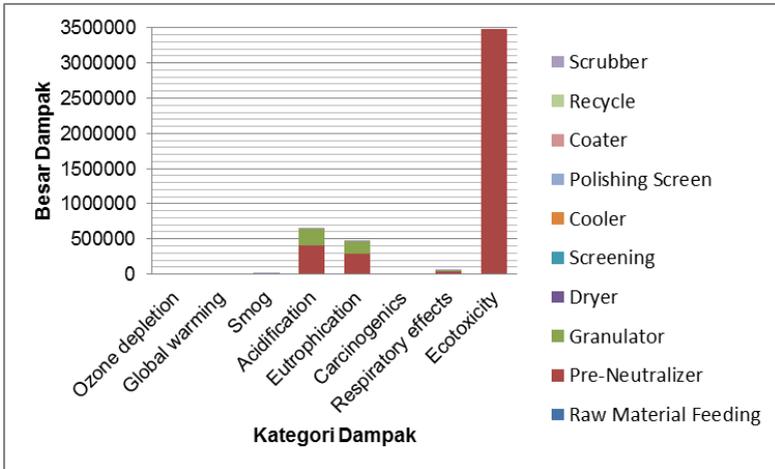
Impact category	Total	Raw Material Feeding	Pre-Neutralizer	Granulator	Dryer	Screening	Cooler	Polishing Screen	Coater	Recycle	Scrubber
Ozone depletion	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Global warming	362,2	8,4	10,4	13,8	130,1	18,5	21,3	2,4	3,6	21,2	132,6
Smog	432,97	0,4	0,5	0,6	422,3	0,8	0,9	0,1	0,2	1	6,1
Acidification	$6,5 \times 10^5$	0	$4,04 \times 10^5$	$2,45 \times 10^5$	0	0	0	0	0	0	68,7
Eutrophication	$4,66 \times 10^5$	0	$2,89 \times 10^5$	$1,76 \times 10^5$	0	0	0	0	0	0	49,2
Carcinogenics	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Respiratory effects	$4,85 \times 10^4$	0	$3,01 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$	0	0,001	0	0	0	0,0002	5,1
Ecotoxicity	$3,47 \times 10^6$	0,00009	$3,47 \times 10^6$	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		8,7	$4,2 \times 10^6$	$4,4 \times 10^5$	552,4	19,3	22,2	2,5	3,8	22,2	261,7

Sumber: SimaPro 9.0.0

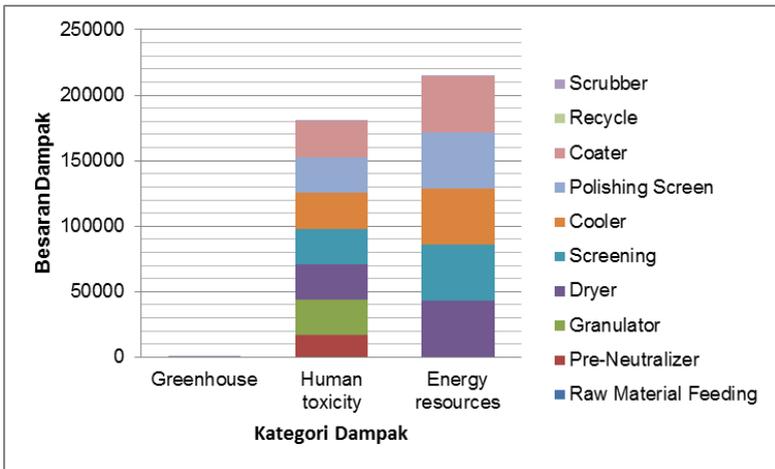
Tabel 4.15 Dampak Tahap Normalisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode CML 1992

Impact category	Total	Raw Material Feeding	Pre-Neutralizer	Granulator	Dryer	Screening	Cooler	Polishing Screen	Coater	Recycle	Scrubber
Greenhouse	902,8	21,4	26,7	35,3	308,04	47,3	54,5	6,2	9,3	54,4	339,6
Human toxicity	$2,7 \times 10^4$	0,2	$1,67 \times 10^4$	$1,01 \times 10^4$	257,5	0,5	0,6	0,1	0,1	0,6	6,6
Energy resources	$4,36 \times 10^4$	38,4	48,0	63,4	$4,2 \times 10^4$	84,8	97,8	11,1	16,7	97,6	609,4
Total		60	$1,68 \times 10^4$	$1,02 \times 10^4$	$4,3 \times 10^4$	132,6	152,9	17,4	26,1	152,6	955,6

Sumber: SimaPro 9.0.0



Gambar 4.15 Penilaian Dampak Normalisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode TRACI 2.1



Gambar 4.16 Penilaian Dampak Normalisasi Proses Produksi Pupuk NPK Phonska dengan Metode CML 1992

4.3.4 Interpretasi Data

Menurut ISO 14040 (2006), Interpretasi adalah fase dimana LCA mempertimbangkan temuan dari hasil analisis inventaris dan dampaknya. Dampak yang muncul dari setiap proses memiliki besaran yang berbeda, tergantung pada *input* material, bahan bakar, energi, serta emisi yang dikeluarkan. Berbagai jenis dampak yang muncul perlu dianalisis lebih dalam, hal ini dilakukan untuk mengetahui titik *hotspot* atau titik dengan dampak terbesar dari serangkaian proses produksi pupuk NPK Phonska di PT Petrokimia Gresik. Berikut merupakan analisis setiap dampak yang ditimbulkan pada proses produksi pupuk NPK Phonska.

4.3.4.1 Analisis *Hotspot* Proses dan *Hotspot* Dampak

Hotspot merupakan tahap siklus hidup, proses atau aliran dasar yang menyumbang proporsi signifikan dari dampak unit fungsional. (Barthel dkk., 2017). Sedangkan *hotspot* proses adalah titik dengan dampak terbesar dari suatu sistem proses (Rosyid, 2019). Dari tahap LCIA dapat diketahui kontribusi dampak yang dihasilkan dari proses produksi pupuk NPK Phonska di PT Petrokimia Gresik. Berdasarkan Tabel 4.14 titik *hotspot* proses berada pada proses netralisasi di unit *pre-neutralizer* yaitu sebesar $4,2 \times 10^6$. Apabila diurutkan berdasarkan kontribusi nilai dampaknya pada proses produksi pupuk NPK Phonska metode TRACI 2.1 yaitu unit *pre-neutralizer* ($4,2 \times 10^6$), unit granulator ($4,4 \times 10^5$), unit *dryer* (552,42), unit *scrubber* (261,73), unit *cooler* (22,24), unit *recycle* (22,2), unit *screening* (19,3), unit *raw material feeding* (8,7), unit *coater* (3,8), dan unit *polishing screen* (2,5).

Berdasarkan Tabel 4.15 titik *hotspot* proses berada pada proses pengeringan di unit *dryer* yaitu sebesar $4,3 \times 10^4$. Apabila diurutkan berdasarkan kontribusi nilai dampaknya pada proses produksi pupuk NPK Phonska metode CML 1992 yaitu unit *dryer* ($4,3 \times 10^4$), unit *pre-neutralizer* ($1,68 \times 10^4$), unit granulator ($1,02 \times 10^4$), unit *scrubber* (955,6), unit *cooler* (152,9), unit *recycle* (152,6), unit *screening* (132,6), unit *raw material feeding* (60), unit *coater* (26,1), dan unit *polishing screen* (17,4).

Hotspot dampak merupakan titik dengan dampak terbesar dalam suatu proses (Rosyid, 2019). Pada penelitian ini, dampak yang

dianalisa meliputi *ozone depletion, global warming, smog, greenhouse, acidification, eutrophication, human toxicity, respiration effect, ecotoxicity, carcinogenics*, dan *energy resource*. Nilai masing-masing dampak berbeda, sesuai dengan data *input* dan *output* pada tahap LCI. Berdasarkan tahap normalisasi dengan metode TRACI 2.1, kategori dampak terbesar pada unit *pre-neutralizer* adalah *ecotoxicity*. Sedangkan tahap normalisasi dengan metode CML 1992 kategori dampak terbesar pada unit *dryer* adalah *energy resource*. Nilai pada tahap normalisasi dijadikan acuan karena normalisasi dapat membantu dalam menginterpretasikan hasil LCIA selain itu, normalisasi juga mempermudah untuk memberi peringkat pada kategori dampak dan membandingkan satu dampak lingkungan dari suatu produk dengan dampak yang lain (Aymard dan Genoulaz, 2017). Berikut analisis dampak pada unit *pre-neutralizer* dengan metode TRACI 2.1.

1) *Ecotoxicity*

Dalam LCA *ecotoxicity* merupakan penilaian zat dengan efek toksisitas pada spesies dalam ekosistem didasarkan pada konsentrasi maksimum yang dapat ditoleransi (Heijungs, 1992). Pada unit *pre-neutralizer* terjadi proses netralisasi, pencampuran bahan cair yaitu amoniak cair, asam fosfat, dan asam sulfat. Energi yang digunakan pada unit ini adalah energi listrik. Pada unit *pre-neutralizer* sumber utama yang mengakibatkan dampak *ecotoxicity* adalah produk yang dihasilkan, *pre-neutralizer slurry*, sebesar $3,47 \times 10^6$. Berdasarkan hasil running dari SimaPro, *Pre-netralizer slurry* menjadi penyebab utama dalam munculnya dampak *ecotoxicity* karena pada proses pembuatan *pre-netralizer slurry* mengandung *sulfuric acid* yang dihasilkan dari bahan asam fosfor dan asam sulfat yang digunakan. Berikut adalah contoh beberapa gambar dari *running* SimaPro yang menunjukkan akibat munculnya dampak. Klik kanan pada nilai dampak yang ingin di *breakdown* kemudian pilih *Specification per Substance* yang dapat dilihat pada Gambar 4.17. Kemudian akan muncul *substance* yang menyebabkan dampak tersebut terjadi, dan dapat dilihat pada Gambar 4.18. Selanjutnya, untuk mengetahui hal mendasar yang menyebabkan *substance* tersebut muncul, klik kanan pada *substance*, kemudian pilih *Specification per*

90

Process dan akan muncul hal dasar yang menyebabkan dampak terjadi, seperti terlihat pada Gambar 4.19.

Professional: LCA PETRO - [Analyze PRENEUTRALIZER]

File Edit Calculate Tools Window Help

Network **Impact assessment** Inventory Process contributi

Characterization Normalization

Skip categories Never

Se	Impact category	Unit	Total	PN Slurry
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone depletion		x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming		10.4	10.4
<input checked="" type="checkbox"/>	Smog		0.477	0.477
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification		4.05E5	4.05E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Eutrophication		2.9E5	2.9E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Carcinogenics		x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Non carcinogenics		x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Respiratory effects		3.02E4	3.02E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity		3.48E6	3.48E6
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil fuel depletion		x	x

Context menu options:
 Select all Categories
 Deselect all Categories
 Specification per Substance
 Specification per Process
 Calculate Selected Product

Gambar 4.17 Halaman Normalisasi SimaPro

Professional: LCA PETRO - [Specification per substance of "PRENEUTRALIZER"]

File Edit Calculate Tools Window Help

Compartment Indicator Normalization Cut-off 0%

All compartments

Per sub-compartment Category Ecotoxicity

Skip unused

Default units
 Exclude long-term emissions
 Per impact category

No	Substance	Compart	Unit	Total	PN Slurry
	Total of all compartments			3.48E6	3.48E6
1	Sulfuric acid	Water		3.48E6	3.48E6

Context menu options:
 Specification per Process
 Calculate Selected Product
 Save as System Process

Gambar 4.18 Halaman Specification per Substance

Professional: LCA PETRO - [Specification per process of "Water/Sulfuric acid" in network/tree of "PRENEUTRALIZER"]

File Edit Calculate Tools Window Help

Indicator Normalization Cut-off 0%

Default units
 Exclude long-term emissions
 Per impact category

Category Ecotoxicity

No	Process	Project	Unit	Total	PN Slurry
	Total of all processes			3.48E6	3.48E6
1	(bahan) Sulfuric acid	LCA PETRO		3.48E6	3.48E6

Gambar 4.19 Halaman Specification per Process

2) *Global warming*

Pemanasan global dapat terjadi dari berbagai penyebab, baik yang alami maupun yang disebabkan manusia. Dalam penggunaan umum, “pemanasan global” sering merujuk pada pemanasan yang dapat terjadi sebagai akibat dari peningkatan emisi gas rumah kaca dari aktivitas manusia (EPA, 2012). Berdasarkan hasil running dari SimaPro pada unit *pre-neutralizer* sumber utama yang mengakibatkan dampak *global warming* adalah emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari penggunaan listrik. Kategori dampak *global warming* memiliki nilai dampak sebesar 10,4.

3) *Smog*

Ground level ozone dibentuk oleh berbagai kimia reaksi, yang terjadi antara nitrogen oksida (NO_x) dan senyawa organik volatil (VOC) di bawah sinar matahari. Sumber utama polutan ini adalah kendaraan bermotor, utilitas tenaga listrik, dan fasilitas industri (EPA, 2012). Berdasarkan hasil running dari SimaPro pada unit *pre-neutralizer* sumber utama yang mengakibatkan dampak *smog* adalah zat-zat seperti *butane*, *ethane*, dan propane yang terkandung pada gas alam, yang merupakan bahan utama dari listrik, serta karbon monoksida yang merupakan emisi dari penggunaan listrik. Kategori dampak *smog* memiliki nilai dampak sebesar 0,5.

4) *Acidification*

Asidifikasi adalah peningkatan konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam lingkungan. Hal ini merupakan hasil dari penambahan asam (misal asam nitrat dan asam sulfat) ke lingkungan, atau dengan penambahan zat lain (misal amonia) yang meningkatkan keasaman lingkungan karena berbagai reaksi kimia atau aktivitas biologis (EPA, 2012). Berdasarkan hasil running dari SimaPro pada unit *pre-neutralizer* sumber utama yang mengakibatkan dampak *acidification* adalah gas amoniak yang dihasilkan dalam memproduksi *pre-neutralizer slurry*. Kategori dampak *acidification* memiliki nilai dampak sebesar $4,04 \times 10^5$.

5) *Eutrophication*

Eutrofikasi adalah “pengayaan ekosistem perairan dengan nutrisi (nitrat, fosfat) yang mempercepat produktivitas biologis (pertumbuhan alga dan gulma) dan akumulasi biomassa alga yang tidak diinginkan” (EPA, 2012). Berdasarkan hasil running

dari SimaPro, pada unit *pre-neutralizer* sumber utama yang mengakibatkan dampak *eutrophication* adalah gas amoniak yang dihasilkan dalam memproduksi *pre-neutralizer slurry*. Kategori dampak *eutrophication* memiliki nilai dampak sebesar $2,89 \times 10^5$.

6) *Respiration effect*

Gangguan kesehatan manusia yaitu penyakit pernafasan, salah satu penyebabnya adalah *particulate matter*. *Particulate matter* adalah kumpulan partikel kecil di udara sekitar yang memiliki kemampuan untuk menyebabkan efek negatif terhadap kesehatan manusia (EPA, 2012). Berdasarkan hasil running dari SimaPro, pada unit *pre-neutralizer* sumber utama yang mengakibatkan dampak *respiration effect* adalah gas amoniak yang dihasilkan dalam memproduksi *pre-neutralizer slurry* dan gas karbon monoksida yang timbul akibat dari penggunaan listrik. Kategori dampak *respiration effect* memiliki nilai dampak sebesar $3,01 \times 10^4$.

7) *Carcinogenics*

Akibat dari kimiawi dan fisik polutan, dapat mengganggu kesehatan manusia, yang salah satu akibatnya adalah menimbulkan (EPA, 2012). Zat utama yang menyebabkan karsinogenik adalah hidrokarbon polyaromatik, salah satu yang menimbulkan ini adalah dalam (diesel) motor (pre, 2019). *Carcinogenics* memiliki nilai 0 pada tahap karakterisasi karena produk, energi, atau emisi yang dihasilkan tidak relevan dengan *database* yang terdapat pada kategori dampak *carcinogenics* (European Commission, 2012).

8) *Ozone depletion*

Penipisan lapisan ozon selalu dikaitkan dengan meningkatnya zat klorofluorokarbon (CFC) yang digunakan sebagai zat pendingin, zat peniup busa, pelarut, dan halon yang digunakan sebagai bahan pemadam api (EPA, 2012). *Ozone depletion* memiliki nilai 0 pada tahap karakterisasi karena produk, energi, atau emisi yang dihasilkan tidak relevan dengan *database* yang terdapat pada kategori dampak *ozone depletion* (European Commission, 2012). Menurut ISO 14044 (2006), setiap kategori dampak memiliki mekanisme lingkungannya sendiri. *Ozone depletion* disebabkan oleh emisi CFC dan Halon, yang mana emisi tersebut menyebabkan reaksi kimia yang melepaskan Cl^- dan Br^- . *Ozone depletion* mengukur potensi ion yang dilepaskan untuk

menghancurkan ozon (UNEP, 2003). Sedangkan pada proses produksi pupuk NPK Phonska tidak mengandung maupun menghasilkan CFC dan Halon. Oleh sebab itu, kategori dampak *ozone depletion* memiliki nilai 0.

Setelah melakukan analisis untuk metode TRACI 2.1. Berikut analisis dampak pada unit *dryer* dengan metode CML 1992.

1) *Greenhouse*

Beberapa zat yang berkontribusi pada peningkatan parameter efek rumah kaca telah dikembangkan dalam bentuk potensi pemanasan global, dimana CO₂ sebagai parameter relatif yang digunakan (Heijungs, 1992). Berdasarkan hasil running dari SimaPro, pada unit *dryer* yang mengakibatkan dampak *greenhouse* adalah emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari penggunaan listrik, emisi dinitrogen monoksida dan metana yang yang dihasilkan dari salah satu alat *dryer* yang menggunakan bahan bakar gas alam untuk memproduksi udara panas. Kategori dampak *greenhouse* memiliki nilai dampak sebesar 308,04.

2) *Human toxicity*

Human toxicity dinilai dengan menghubungkan emisi terpapar setiap hari dan dapat ditoleransi, asupan harian yang diterima, konsentrasi yang dapat ditoleransi di udara, pedoman kualitas udara, tingkat risiko maksimum yang dapat ditoleransi (Heijungs, 1992). Berdasarkan hasil running dari SimaPro, pada unit *dryer* yang mengakibatkan dampak *human toxicity* adalah emisi karbon monoksida yang dihasilkan dari penggunaan listrik, emisi propana dan metana yang yang dihasilkan dari salah satu alat *dryer* yang menggunakan bahan bakar gas alam untuk memproduksi udara panas, serta gas amonia yang dihasilkan dari bahan yang diproduksi pada unit sebelumnya. Kategori dampak *human toxicity* memiliki nilai dampak sebesar 257,5.

3) *Energy resource*

Faktor karakterisasi diberikan untuk *energy resources* yang dibagi dalam 5 kategori dampak yaitu energy tidak terbarukan, fosil; tidak terbarukan, nuklir; terbarukan, biomassa; terbarukan, angin, matahari, panas bumi; terbarukan, air (Pre, 2019). *Energy resource* merupakan kategori dampak yang mempunyai nilai tertinggi pada unit *dryer* yaitu sebesar $4,2 \times 10^4$. Penyebabnya

adalah penggunaan gas metana untuk gas alam serta listrik yang bahan bakunya adalah gas alam.

4.3.4.2 Evaluasi *Life Cycle Assessment*

1) *Completeness check*

Completeness check adalah langkah untuk memastikan kelengkapan penelitian, sehingga masalah lingkungan yang diidentifikasi sebelumnya dapat mewakili informasi dari fase LCA yang berbeda secara memadai (analisis inventarisasi dan penilaian dampak) sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup yang ditentukan (Menoufi, 2011)

2) *Consistency check*

Consistency check merupakan langkah untuk mengevaluasi konsistensi metode, prosedur, dan pengolahan data yang digunakan sepanjang penelitian dan memeriksa koherensi dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Item yang dapat dikenai pemeriksaan konsistensi adalah sumber data, akurasi data, representasi geografis, dan sistem batasan dan asumsi (Menoufi, 2011).

3) *Sensitivity check*

Sensitivity check adalah langkah memeriksa apakah hasil akhir dan kesimpulan dipengaruhi oleh ketidakpastian dalam data atau metode evaluasi yang dipilih. Dengan demikian, tujuan pemeriksaan sensitivitas adalah untuk menetapkan tingkat kepercayaan yang diperlukan dalam hasil penelitian terhadap keseluruhan tujuan. Pemeriksaan ini sebagian besar digunakan untuk menguji asumsi yang dibuat selama penelitian. Pemeriksaan sensitivitas dapat dilakukan dengan membuat semacam skenario “bagaimana jika”, dimana nilai parameter input yang berbeda diubah secara sistematis (Menoufi, 2011). Berdasarkan hasil analisis LCA dengan metode TRACI 2.1, didapatkan bahwa unit *pre-neutralizer* sebagai titik *hotspot* proses. Sedangkan hasil analisis LCA dengan metode CML 1992, didapatkan bahwa unit *dryer* sebagai titik *hotspot* proses. Variasi data dilakukan dengan cara menaikkan bahan baku, energi, dan emisi sebesar 10% dan menurunkannya sebesar 10%. Selanjutnya, dilakukan *running* kembali menggunakan SimaPro. Hasil *running* dapat dilihat pada Tabel 4.16 Dan Tabel 4.17

Tabel 4.16 Hasil Penilaian Dampak Metode TRACI 2.1

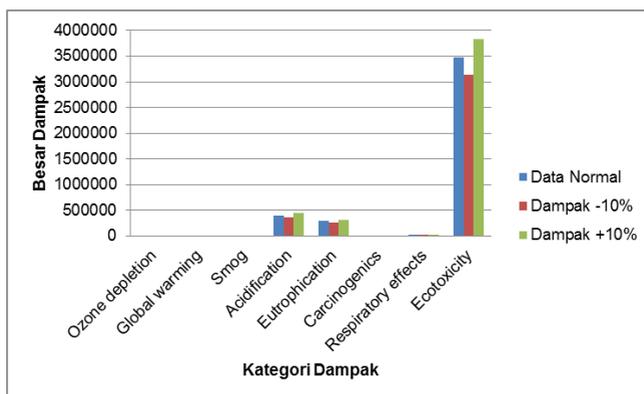
Kategori Dampak	-10%	Data Normal	+10%
Ozone depletion	0	0	0
Global warming	9.397554	10.441727	11.4859
Smog	0.429091	0.47676826	0.52444509
Acidification	364126.4	404584.93	445043.43
Eutrophication	260947.7	289941.83	318936.02
Carcinogenics	0	0	0
Respiratory effects	27168.77	30187.526	33206.279
Ecotoxicity	3131003	3478892.3	3826781.6

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.17 Hasil Penilaian Dampak Metode CML 1992

Kategori Dampak	-10%	Normal	+10%
<i>Greenhouse</i>	352.3671	391.519	430.67085
<i>Human toxicity</i>	24499.04	27221.16	29943.275
<i>Energy resources</i>	38443.62	42715.14	46986.652

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 4.20 Hasil Penilaian Dampak pada Sensitivity Check Metode TRACI 2.1

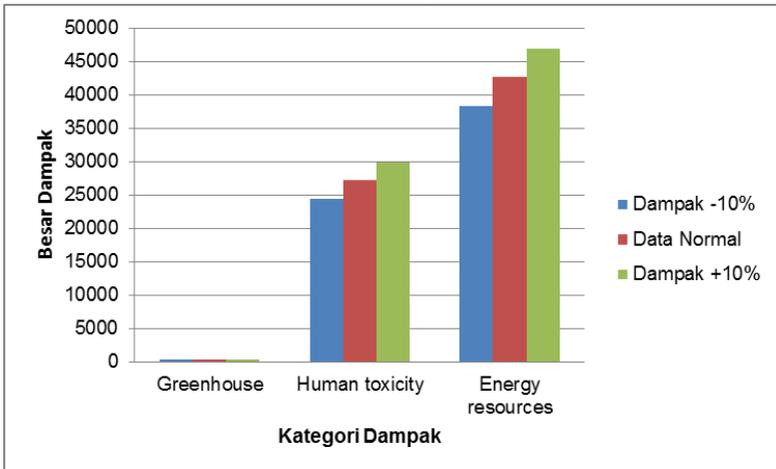
Contoh perhitungan deviasi pada masing-masing variasi data pada metode CML 1992 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Deviasi (+)10\%} &= \text{Dampak (+)10\%} - \text{Data normal} \\ &= 430,67085 - 391,519 \\ &= 39,1519 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Deviasi (-)10\%} &= \text{Data normal} - \text{Dampak (-)10\%} \\ &= 391,519 - 352,3671 \\ &= 39,15189 \end{aligned}$$

Dengan penambahan dan pengurangan material, energi, dan emisi, menghasilkan deviasi pada dampak *greenhouse* sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Deviasi (+)10\%} \pm \text{Deviasi (-)10\%} &= 39,1519 \pm 39,15189 \\ &= 0,00001 \end{aligned}$$



Gambar 4.21 Hasil Penilaian Dampak pada Sensitivity Check Metode CML 1992

Berikut ini data deviasi selengkapnya pada Tabel 4.18 Dan Tabel 4.19

Tabel 4.18 Data Deviasi Metode TRACI 2.1

Kategori Dampak	Deviasi
Ozone depletion	0.0
Global warming	0.0
Smog	0.0

Tabel 4.18 Data Deviasi Metode TRACI 2.1

Kategori Dampak	Deviasi
Acidification	0.0
Eutrophication	0.01
Carcinogenics	0.0
Respiratory effects	0.0
Ecotoxicity	0.10

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.18 diatas, hasil *sensitivity check*, deviasi terbesar $\pm 0,1$. Jadi data yang diolah di dalam *software* SimaPro sensitif.

Tabel 4.19 Data Deviasi Metode CML 1992

Kategori Dampak	Deviasi
Greenhouse	0.000010
Human toxicity	0.001000
Energy resources	0.000000

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan Tabel 4.19 diatas, hasil *sensitivity check*, deviasi terbesar $\pm 0,001$. Jadi data yang diolah di dalam *software* SimaPro sensitive

4.4 Alternatif Perbaikan

4.4.1 Alternatif Perbaikan

Alternatif perbaikan dilakukan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produksi pupuk NPK Phonska. Alternatif perbaikan dipilih berdasarkan hasil *running software* SimaPro. Berikut ini merupakan beberapa alternatif perbaikan yang dapat dilakukan.

1. Penghematan energi 22% dimungkinkan dengan mengganti peralatan dengan peralatan baru (Saygin dkk., 2011). Pembaharuan pabrik/mesin/teknologi pada industri pupuk untuk meningkatkan efisiensi konsumsi energy (Kementrian perindustrian, 2012). Proses produksi dan

- mesin industri yang baru mengkonsumsi lebih sedikit energi atau hemat energi (BPPT, 2012).
2. Pembuatan jadwal preventif maintenance berdasarkan interval waktu penggantian komponen kritis sehingga estimasi efektivitas akan meningkat 13,4% (Syaifudin dkk., 2015).
 3. Perbaikan isolasi pada pipa uap, pencegahan kebocoran, perbaikan perilaku akan dapat meningkatkan efisiensi 17% (Boedoyo, 2008).

4.4.2 Skenario Alternatif Perbaikan

Skenario ini dibuat berdasarkan alternatif perbaikan yang telah diperoleh dan digabungkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal dalam penurunan dampak.

1. Skenario I

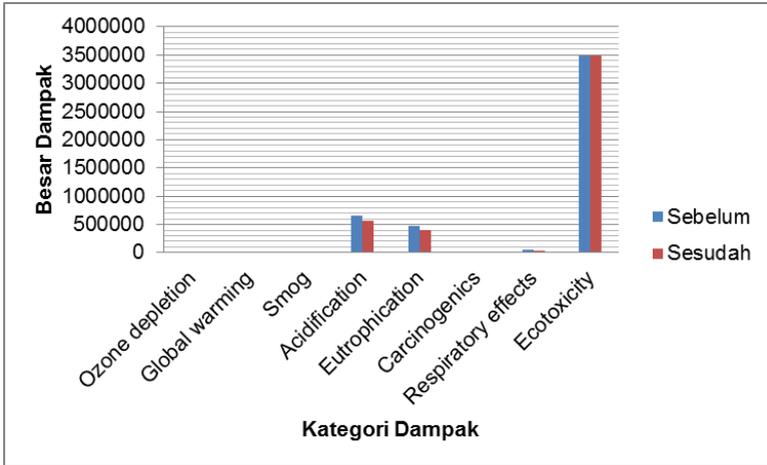
Pada Skenario I, dilakukan penggabungan antara alternatif pembuatan jadwal dengan penggantian peralatan lama dengan peralatan baru. Dari skenario I, dilakukan *running* kembali dengan *software* SimaPro. Setelah dilakukan *running*, membandingkan antara hasil sebelum dan sesudah *running* dengan skenario I. Berikut ini merupakan hasil dari penurunan nilai dampak setelah diterapkan alternatif tersebut.

Tabel 4.20 Penurunan Nilai Dampak Metode TRACI 2.1

Kategori Dampak	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Ozone depletion	0	0	0.00
Global warming	362.234747	288.4188	20.38
Smog	432.9696825	429.9965	0.69
Acidification	650317.5406	563175	13.40
Eutrophication	466043.708	403593.9	13.40
Carcinogenics	0	0	0.00
Respiratory effects	48522.51712	42020.5	13.40
Ecotoxicity	3478892.3	3478892.3	0.00

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil diatas, *global warming* memiliki prosentase penurunan dampak yang paling besar yaitu sebesar 20,38%, diikuti dengan dampak *acidification*, *eutrophication*, *respiratory effect* sebesar 13,40%. Dampak lain yang juga mengalami penurunan adalah *smog* sebesar 0,69%. Berikut grafik penurunan dampak dengan metode TRACI 2.1



Gambar 4.22 Penurunan Dampak Metode TRACI 2.1

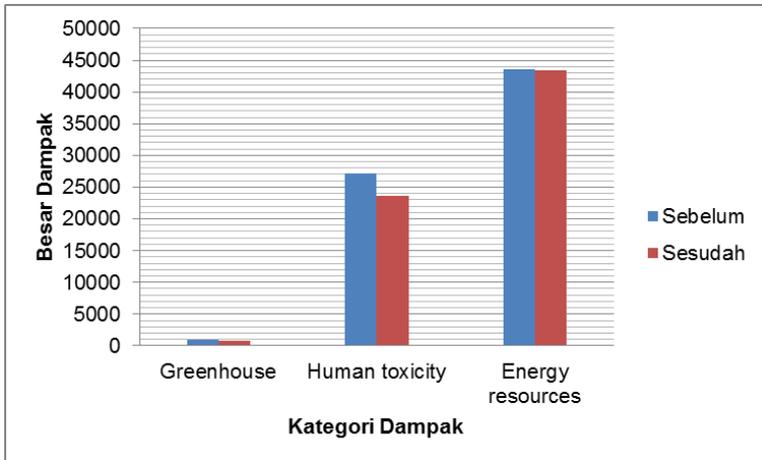
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.21 Penurunan Nilai Dampak Metode CML 1992

Kategori Dampak	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Greenhouse	902.7898	717.0672	20.57
Human toxicity	27229.6	23613.85	13.28
Energy resources	43632.46	43333.88	0.68

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil diatas, *greenhouse* memiliki prosentase penurunan dampak tertinggi sebesar 20,57%, diikuti dengan dampak *human toxicity* sebesar 13,28% dan kategori dampak *energy resources* sebesar 0,68%. Berikut grafik penurunan dampak dengan metode CML 1992.



Gambar 4.23 Penurunan Dampak Metode CML 1992

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Skenario II

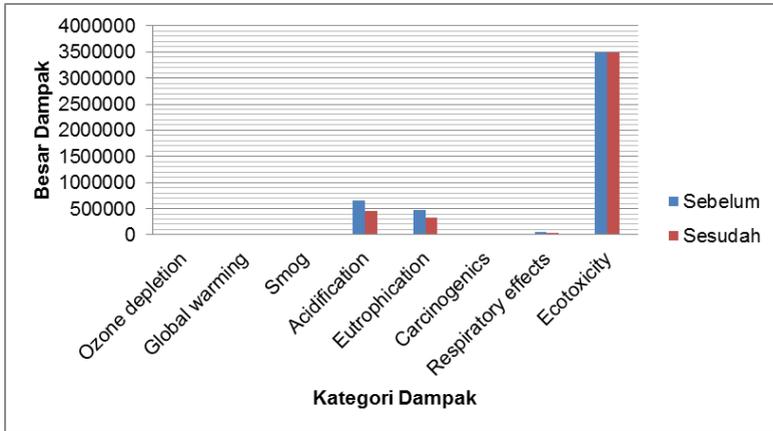
Pada skenario II, dilakukan penggabungan antara alternatif pembuatan jadwal dengan perbaikan isolasi pada pipa uap. Berikut ini merupakan hasil dari penurunan nilai dampak setelah diterapkan alternatif tersebut.

Tabel 4.22 Penurunan Nilai Dampak Metode TRACI 2.1

Kategori Dampak	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Ozone depletion	0	0	0.00
Global warming	362.2347	342.1549	5.54
Smog	432.9697	432.9542	0.0036
Acidification	650317.5	452621	30.40
Eutrophication	466043.7	324366.4	30.40
Carcinogenics	0	0	0.00
Respiratory effects	48522.52	33771.67	30.40
Ecotoxicity	3478892	3478892	0.00

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil diatas, kategori dampak yang memiliki prosentase penurunan terbesar adalah *acidification*, *eutrophication*, dan *respiratory effect* sebesar 30,40%, diikuti dengan kategori dampak *global warming* sebesar 5,54%, dan *smog* sebesar 0,0036%. Berikut grafik penurunan dampak dengan metode TRACI 2.1.



Gambar 4.24 Penurunan Dampak Metode TRACI 2.1

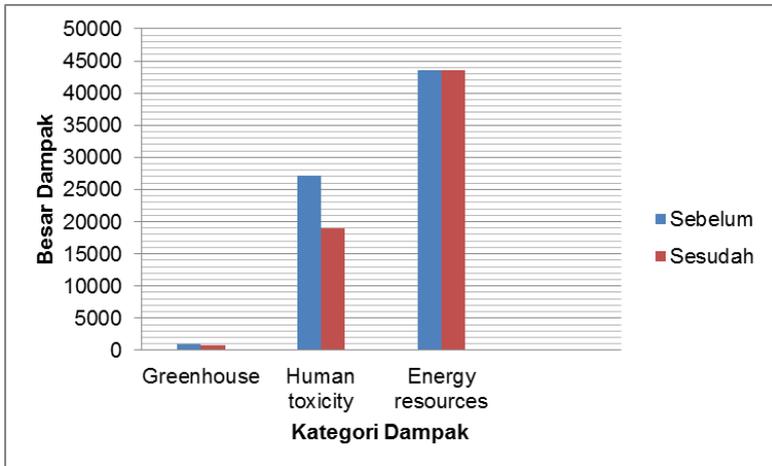
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.23 Penurunan Nilai Dampak Metode CML 1992

Kategori Dampak	Sebelum	Sesudah	% Penurunan
Greenhouse	902.7898	858.9886	4.85
Human toxicity	27229.6	19030.84	30.11
Energy resources	43632.46	43632.46	0.00

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil diatas, *human toxicity* memiliki prosentase penurunan dampak tertinggi sebesar 30,11%, diikuti dengan dampak *greenhouse* sebesar 4,85%. Berikut grafik penurunan dampak dengan metode CML 1992.



Gambar 4.25 Penurunan Dampak Metode CML 1992
 Sumber: Hasil Perhitungan

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban emisi dari proses produksi pupuk NPK Phonska sebesar 36.059.112 kg CO₂/th, 5.653,81 kg NH₃/th, 965,8 kg F⁻/th, 7.260 kg CH₄/th, 4.600 kg N₂O/th, dan 82.783,6 kg partikulat/th.
2. Besar kontribusi dampak dari proses produksi pupuk NPK Phonska dengan menggunakan Metode TRACI 2.1 yaitu *ozone depletion* 0, *global warming* 362,23, *smog* 432,96, *acidification* 650.317,54, *eutrophication* 466.043,7, *carcinogenics* 0, *respiratory effect* 48.522,51, *ecotoxicity* 3.478.892. sedangkan besar kontribusi dampak dengan metode CML 1992 yaitu *greenhouse* 902,78, *human toxicity* 179.857,5, dan *energy resource* 215.190,2.
3. Terdapat 2 skenario alternatif perbaikan yang dapat digunakan untuk menurunkan dampak lingkungan yang dihasilkan, yaitu sebagai berikut:
 - Skenario I
Menggunakan metode TRACI 2.1, dengan skenario I dapat menurunkan kategori dampak *global warming* sebesar 20,38%, diikuti dengan dampak *acidification*, *eutrophication*, *respiratory effect* sebesar 13,40%, dan *smog* sebesar 0,69%.
Menggunakan metode CML 1992, dengan skenario I dapat menurunkan kategori dampak *greenhouse* sebesar 20,57%, diikuti dengan dampak *human toxicity* sebesar 13,28% dan kategori dampak *energy resources* sebesar 0,68%.
 - Skenario II
Menggunakan metode TRACI 2.1, dengan skenario II dapat menurunkan kategori dampak *acidification*, *eutrophication*, dan *respiratory effect* sebesar 30,40%, diikuti dengan kategori dampak *global*

warming sebesar 5,54%, dan *smog* sebesar 0,0036%.

Menggunakan metode CML 1992, dengan skenario II dapat menurunkan dampak *human toxicity* sebesar 30,11%, diikuti dengan dampak *greenhouse* sebesar 4,85%.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian, berikut saran yang dapat dilakukan:

1. Perlu dilakukan kajian lebih dalam mengenai keseluruhan proses sehingga dapat memperhitungkan *losses* selama produksi.
2. Mengkaji terkait dampak yang ditimbulkan untuk mengklasifikasikan ke dalam dampak penting dan tidak penting, sehingga dapat ditentukan prioritasnya.
3. Mengkaji jumlah biaya yang dikeluarkan untuk menerapkan skenario alternatif yang dipilih.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, K., Greenbaum, D.S., Shaikh, R., Erp, A.M., dan Russell, A.G. 2015. "Particulate matter component, sources, and health: Systematic approaches to testing effects". **Journal of the Air & Waste Management Association**. 65, 5: 544-558.
- Alamsjah, M.A., Tjahjaningsih, W., dan Pratiwi, A.W. 2009. "Pengaruh Kombinasi Pupuk NPK dan TSP terhadap Pertumbuhan, Kadar Air dan Klorofil a *Gracilaria verrucosa*." **Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan**. 1, 1: 103-116.
- Amini, S., dan Syamdidi. 2006. "Konsentrasi Unsur Hara pada Media dan Pertumbuhan *Chlorella vulgaris* dengan Pupuk Anorganik Teknis dan Analisis". **Jurnal Perikanan**. VIII, 2: 201-206
- Andistiara, N. 2018. **Kajian Dampak Proses Eksplorasi dan Produksi Gas Alam terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)**. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anggraeni, D.Y. 2015. "Pengungkapan Emisi Gas Rumah Kaca, Kinerja Lingkungan, dan Nilai Perusahaan". **Jurnal Akuntansi dan Keuangan Indonesia**. 12, 2: 188-209.
- Ardhitama, A., Siregar, Y. I., dan Nofrizal. 2017. "Analisis Pengaruh Konsentrasi Gas Rumah Kaca terhadap Kenaikan Suhu Udara di Kota Pekanbaru dan Kota Padang". **Jurnal Ilmu Lingkungan**. 11, 1: 35-43.
- Astuti, S. P., Ciptomulyono, U., dan Suef, M. 2004. "Evaluasi Konsep Produk dengan Pendekatan Green Quality Function Deployment II". **Jurnal Teknik Industri**. 6, 2: 156-168.
- Aymard, V. dan Genoulaz, B. 2017. "Normalization in Life Cycle Assessment: consequences of new European factors on decision making". **AN INTERNATIONAL JOURNAL**. 18, 2: 76-83.
- Ayona, I.Y., Afiuddin, A.E., dan Hardiyanti, F. 2018. "Inventarisasi Emisi CO₂ Berdasarkan Penggunaan Energi pada Industri Galangan Kapal". **Conference Proceeding on Waste Treatment Technology**. 35-38.

- Azam, A.G., Zanjani, B.R., dan Mood, M.B. 2016. "Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran". **Journal of Reasearch in Medical Sciences**. 21, 65: 1-12.
- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Jawa Barat. 2014. **Buku Panduan Pengawasan dan Kumpulan Peraturan Pengendalian Pencemaran Lingkungan**. Bandung
- Badan Pengelolaan dan Penerapan Teknologi. 2012. **Perencanaan Efisiensi dan Elastisitas Energi 2012**. Jakarta
- Barthel, M., Fava, J., James, K., Hardwick, A., dan Khan, S. 2017. **Hotspot Analysis An overarching methodological framework and guidance for product and sector level application**. UNEP
- Boedoyo, M.S. 2008. "Penerapan Teknologi Untuk Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca". **Jurnal Teknik Lingkungan**. 9, 1: 9-16.
- Cahyono, W.E. 2011. "Kajian Tingkat Pencemaran Sulfur Dioksida dari Industr di Beberapa Daerah di Indonesia". **Berita Dirgantara**. 12, 4: 132-137.
- David, J., Mendez, M., dan Rodriguez, R.S. 2018. "Environmental assessment of ozone layer depletion due to the manufacture of plastic bags". **Heliyon**. 4: 1-11.
- Dreyer, L.C., Niemann, A.L., dan Hauschild, M.Z. 2003. "Comparison of Three Different LCIA Methods: EDIP97, CML2001, and Eco-indicator 99". **LCA Discussions**. 4: 191–200.
- Dwiramawati, F., Narrullah, N., dan Sulisyantara, B. 2018. "Analisis Perubahan Konsentrasi Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Area Bervegetasi dan Tidak Bervegetasi di Jalan Simpang Susun". **Jurnal Lanskap Indonesia**. 10, 1: 13-18.
- EPA. 2012. **Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other Environmental Impacts (TRACI)**. United States.
- EPA. 2016. **Guidance on Data Quality Assessment for Life Cycle Inventory Data**. United States.

- EPA. 2019. **Accessing TRACI**, <URL:<https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>>.
- European Commission. 2012. **Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods**. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Faroqi, A., Hadisantoso, E.P., Halim, D.K., dan WS, M.S. 2016. "Perancangan Alat Pendeteksi Kadar Polusi Udara Menggunakan Sensor Gas MQ-7 dengan Teknologi *Wireless* HC-05". **Edisi Juli 2016**. X, 2: 33-47.
- Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., dan Suh, S. 2009. "Recent developments in Life Cycle Assessment". **Journal of Environmental Management**. 91: 1-21.
- Gustiar, F., Suwignyo, R.A., Suheryanto, dan Munandar. 2014. "Reduksi Gas Metan (CH₄) dengan Meningkatkan Komposisi Konsentrat dalam Pakan Ternak Sapi". **Jurnal Peternakan Sriwijaya**. 3, 1: 14-24.
- Handoyo, E. dan Wispriyono, B. 2016. "Risiko Kesehatan Paparan Benzena, Toluena, dan Xylena Petugas Pintu Tol". **Jurnal Kesehatan Masyarakat**. 11, 2: 96-102.
- Harihastuti, N., Widiyasa, I. N., Djayanti, S., Harsono, D., dan Sari, I. R. J. 2010. "Pengurangan Emisi CO₂ pada Gas Buang Boiler dengan Teknologi Absorpsi Melalui Membran Serat Berpori". **Jurnal Riset Industri**. IV, 1: 57-66.
- Harjanto, T.R., Fahrurrozi, M., dan Bendiyasa, I.M. 2012. "Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa". **Jurnal Rekayasa Proses**. 6, 2: 51-58.
- Harkani, M., dan Nurdiana, J. 2018. "Evaluasi Program Penggunaan Sepeda sebagai Alat Transportasi dari Segi Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca di PT Pupuk Kalimantan Timur Bontang". **Jurnal "Teknologi Lingkungan"**. 2, 01: 23-27.
- Heijungs, R. 1992. **Environmental Life Cycle Assessment of Products**. Netherland

- ISO 14040. 2006. **Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework**. Switzerland
- ISO 14044. 2006. **Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines**. Switzerland
- Kampa, M. dan Castanas, E. 2008. "Human health effects of air pollution". **Environmental Pollution**. 151: 362-367.
- Kautzar, G.Z., Sumantri, Y., dan Yuniarti, R. 2015. "Analisis Dampak Lingkungan pada Aktivitas *Supply Chain* Produk Kulit Menggunakan Metode LCA dan ANP". **Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri**. 3, 1: 200-211.
- Kementerian Perindustrian. 2012. **Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Sektor Industri**. Jakarta
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 133 Tahun 2004 tentang **Baku Mutu Emisi bagi Kegiatan Industri Pupuk**. Jakarta
- Keputusan Menteri Perindustrian Republik Indonesia Nomor 148 Tahun 2016 tentang **Penetapan Standar Industri Hijau untuk Industri Pupuk Buatan Tunggal Hara Makro Primer**.
- Khairunisa. 2015. **Pengaruh Pemberian Pupuk Organik, Anorganik dan Kombinasinya terhadap Pertumbuhan dan Hasil Sawi Hijau**. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Kool, A. Marinussen, M., dan Blonk H. 2012. **LCI data for the calculation tool Feedprint for greenhouse gas emissions of feed production and utilization**. Blonk Consultants.
- Kusumah, A.P. 2010. **Analisis Efektivitas dan Efisiensi Proses Manufaktur pada Produksi Minuman Mountea PT Sekawan Maju Sejahtera Bogor**. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Kweku, D.W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K.A., Danso, K.B., Oti-Mensah, E.A., Quachie, A.T., dan Adorma, B.B. 2017. "Greenhouse Effect: Greenhouse Gases and Their Impact on Global Warming". **Journal of Scientific Research & Reports**. 17, 6: 1-9.

- Lazuardi. 2003. "Penipisan Lapisan Ozon dan Penanggulangannya". **Jurnal Pendidikan Science**. 27, 3: 100-107.
- Lubis, A. 2016. "Peningkatan Kinerja Melalui Strategi Benchmarking". **At-Tijarah**. 2, 1: 14-26.
- Martono. 2015. "Fenomena Gas Rumah Kaca". **FORUM TEKNOLOGI**. 5, 2: 78-85.
- Menoufi, K.A.I. 2011. **Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A stage of the art**. Universitat de Lleida.
- Michael, Z., Hauschild, dan Huijbregts, A.J. 2015. **Introducing Life Cycle Impact Assessment**. Radboud University, Nijmegen.
- Morand, C.P. dan Maesano, I.A. 2004. "Air Pollution: from sources of emissions to health effects". **REVIEW**. 1, 2: 109-119.
- Mubarak, Y.A. 2013. "Optimum Operating Conditions for Production of Crystalline Monoammonium Phosphate Form Granulated Diammonium Phosphate". **Arab J Sci Eng**. 38: 777-786.
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2014 tentang **Pedoman Uji Toksisitas Nonklinik Secara In Vivo**.
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 02 Tahun 2006 tentang **Pupuk Organik dan Pembenh Tanah**.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang **Pengendalian Pencemaran Udara**.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2001 tentang **Pupuk Budidaya Tanaman**.
- Permentier, K., Vercammen, S., Soetaert, S., dan Schellemans, C. 2017. "Carbon dioxide poisoning: a literature review of an often forgotten cause of intoxication in the emergency department". **International Journal of Emergency Medicine**. 10, 14: 1-4.
- Petrokimia Gresik. 2000. **Buku Panduan Operasi Petrokimia Gresik**. Gresik.
- Petrokimia Gresik. 2019. **Kapasitas Produksi**, <URL:<http://www.petrokimia-gresik.com/Pupuk/Kapasitas.Produksi>>.

- Petrokimia Gresik. 2019. **Laporan Tahunan Produksi II B. Gresik.**
- Petrokimia Gresik. 2019. **Pupuk**, <URL:http://www.petrokimia-gresik.com/Pupuk/Phonska.NPK >.
- Pfromm, P.H., Boadu, V.A., dan Nelson, R. 2011. "Sustainability of algae derived biodiesel: A mass balance approach". **Bioresource Technology**. 102: 1185 - 1193.
- Prado, V., Wender, B.A., Seager, T.P. 2017. "Interpretation of comparative LC As:external normalization and a method of mutual differences". **Int J Life Cycle Assess**.
- Pre. 2019. **SimaPro Database Manual Methods Library**. San Francisco
- Rosyid, A. 2019. **Kajian Dampak Proses Eksploitasi dan Produksi Semen Terhadap Lingkungan dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA) di PT. Semen Indonesia (PERSERO) TBK. Pabrik Tuban**. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Riwianto, M. dan Sani, F.M. 2017. "Analisis Risiko Kesehatan Paparan Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) pada Petugas Parkir di *Basement Plaza Andalas*". **Jurnal Kesehatan**. VIII, 3: 441-448.
- Rizki, G.M., Bintoro, A., dan Hilmanto, R. 2016. "Perbandingan Emisi Karbon dengan Karbon Tersimpan di Hutan Rakyat Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur". **Jurnal Sylva Lestari**. 4, 1: 89-96.
- Ryberg, M., Vieira, M.D.M., Zgola, M., Bare, J., Rosenbaum, R.K. 2013. **Update US and Canadian normalization factors for TRACI 2.1**. Clean Techn Environ Policy.
- Sagala, A. 2012. **Draft Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Sektor Industri**. Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri.
- Samiaji, T. 2012. "Karakteristik Gas N₂O (Nitrogen Oksida) di Atmosfer Indonesia". **Berita Dirgantara**. 13, 4: 147-154.
- Santoso, H. dan Ronald. 2012. "Rekayasa Nilai dan Analisis Daur Hidup pada Model Alat Potong Kuku dengan Limbah Kayu di CV. Piranti Works". **J@TI Undip**. VII, 1: 19-26.
- Sarjono, D.A.A. 2017. **Strategi Reduksi Emisi Gas Rumah Kaca dan Polutan di PT Petrokimia Gresik (Unit**

- Produksi Pupuk Pabrik I, II, dan III).** Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sasmito, W.A., Wijayanti, A.D., Fitriana, I., Sari, P.W. 2015. "Penguujian Toksisitas Akut Obat Herbal Pada Mencit Berdasarkan *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD)". **JURNAL SAIN VETERINER**. 33, 2: 234-239.
- Saygin, D., Worrell, E., Patel, M.K., dan Glelen, D.J. 2011. "Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries". **Energy**. 36: 6661-6673.
- Seran, Y.Y.T., Pasangka, B., dan Sutaji, H.I. 2018. "Karakteristik Paparan Radiasi Sinar Ultraviolet A (UV-A) dan Cahaya Tampak di Kota Kupang". **Jurnal Biotropikal Sains**. 15, 3: 49-56.
- Sharaai, A.H., Mahmood, N.Z., dan Sulaiman, A.H. 2010. "Life Cycle Impact Assessment (LCIA) Using TRACI Methodology: an Analysis of Potential Impact on Potable Water Production". **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**. 4, 9: 4313-4322.
- Shidqi, M., dan Supriono. 2018. "Penerapan *Purchasing Planning* dalam Pengadaan Bahan Baku di Perusahaan Industri". **Jurnal Administrasi Bisnis**. 57, 1: 90-100.
- Slamet, L. S. 2001. "Pemanfaatan Gas Metan Sebagai Sumber Energi". **Berita Dirgantara**. 2, 1: 31-34.
- Susanti, I., Supriatin, L.S., dan Cahyono W.E. 2017. "Karakteristik Konsentrasi CH₄ (Metana) di Beberapa Kota Besar dan Kota Kecil di Indonesia". **Majalah Ilmiah Globe**. 19, 2: 167-174.
- Syaifudin, H.L., Novareza, O., dan Efranto, R.Y. 2015. "Pengukuran Performansi Sistem Produksi Menggunakan *Overall Throughput Effectiveness* (OTE)". **Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri**. 3, 3: 475-484.
- Triana, V. 2008. "Pemanasan Global". **Jurnal Kesehatan Masyarakat**. II, 2: 159-163.
- UNEP. 2003. **Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment**. France.

- Wahyudi, J. 2017. "Penerapan *Life Cycle Assessment* untuk Menakar Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Aktivitas Produksi Tahu". **The 6th University Research Colloquium**.
- Wahyuddin, P.P., Susilawaty, A., Azriful, dan Basri, S. 2016. "Risiko Paparan *Sulfur Dioksida* (SO₂) pada Masyarakat yang Bermukim Disekitar PT. PLN (Persero) Sektor Tello Tahun 2014". **HIGIENE**. 2, 1: 8-14.
- Wardhani, S., Purwani, K.I., dan Anugerahani, W. 2014. "Pengaruh Aplikasi Pupuk Hayati terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Cabai Rawit (*Capsicum frutescens* L.) Varietas Bhaskara di PT Petrokimia Gresik". **JURNAL SAINS DAN SENI POMITS**. 2, 1: 1-5
- Wasiu, A.B., Aziz, A.R.A., dan Heikal, M.R. 2012. "The Effect of Carbon Dioxide Content-natural Gas on the Performance Characteristics of Engines: A Review". **Journal of Applied Sciences**. 12, 23: 2346-2350.
- Widowati dan Sutoyo. 2009. "Upaya Mengurangi Penipisan Lapisan Ozon". **Buana Sains**. 9, 2: 141-146.
- Windrianto, Y., L, D. R., dan Berlianty, I. 2016. "Pengukuran Tingkat Eko-Efisiensi Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA) untuk Menciptakan Produksi Batik yang Efisien dan Ramah Lingkungan". **Jurnal OPSI**. 9, 2: 143-149.
- Zakaria, N. dan Azizah, R. 2013. "Analisis Pencemaran Udara (SO₂), Keluhan Iritasi Tenggorokan dan Keluhan Kesehatan Iritasi Mata pada Pedagang Makanan di Sekitar Terminal Joyoboyo Surabaya". **The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health**. 2, 1: 75-81.
- Zipperer, V., Sato, M., dan Neuhoff K. 2017. "Benchmarks for emissions trading – general principles for emissions scope". **Center for Climate Change Economics and Policy Working Paper**. 321: 1-23.

LAMPIRAN
Tabel Data Inventori dari Semua Unit

Unit Kegiatan	INPUT									OUTPUT							
	Bahan Baku			Pemakaian Bahan Bakar / Energi listrik			Bahan Kimia			Emisi ke (kg)*		Produk yang dihasilkan	Jumlah	Satuan/th	ke Kegiatan		
	Jenis	Jumlah	Satuan/th	Jenis	Jumlah	Satuan	Jenis	Jumlah	Satuan/th	Udara	Jumlah						
RAW MATERIAL FEEDING	ZA	8,85 x 10 ⁷	kg	LISTRIK	1,4 x 10 ⁶	kWh						ZA	8,85 x 10 ⁷	kg	Granulator		
	KCl	1,45 x 10 ⁸	kg											KCl		1,45 x 10 ⁸	kg
	Urea	1,12 x 10 ⁷	kg											Urea		1,12 x 10 ⁷	kg
PRE-NEUTRALIZER	Amoniak	5,41 x 10 ⁷	kg	LISTRIK	1,7 x 10 ⁶	kWh				NH ₃	3,3 x 10 ⁷	PN Slurry	2,36 x 10 ⁸	kg	Granulator		
	Asam Fosfat	9,49 x 10 ⁷	kg														
	Asam Sulfat	1,2 x 10 ⁸	kg														
GRANULATOR	ZA	8,85 x 10 ⁷	kg	LISTRIK	2,27 x 10 ⁶	kWh						NPK Product	2,76 x 10 ⁹	kg	Dryer		
	KCl	1,45 x 10 ⁸	kg							Debu	9,1 x 10 ⁶						Scrubbing
	Urea	1,12 x 10 ⁷	kg							NH ₃	2,02 x 10 ⁷						Scrubbing
	Amoniak cair	2,32 x 10 ⁷	kg														
	PN Slurry	2,36 x 10 ⁸	kg														
	recycle	2,28 x 10 ⁹	kg														
DRYER	NPK Product	2,76 x 10 ⁹	kg	LISTRIK	1,07 x 10 ⁷	kWh						NPK Product	2,74 x 10 ⁹	kg	Screening		
										Debu	1,38 x 10 ⁷				Scrubbing		
SCREENING	NPK Product	2,74 x 10 ⁹	kg	LISTRIK	3,1 x 10 ⁶	kWh						Onsize NPK	5,96 x 10 ⁸	kg	Cooler		
												Fines NPK	7,14 x 10 ⁸	kg	Recycle		
												Oversize NPK	7,96 x 10 ⁸	kg	Recycle		
												Product RR	6,39 x 10 ⁸	kg	Recycle		
COOLER	NPK Product	5,96 x 10 ⁸	kg	LISTRIK	3,58 x 10 ⁶	kWh						NPK Product	5,9 x 10 ⁸	kg	Polishing Screen		
										Debu	5,96 x 10 ⁶				Scrubber		
POLISHING SCREEN	NPK Product	5,9 x 10 ⁸	kg	LISTRIK	4,08 x 10 ⁵	kWh						NPK Product	5,68 x 10 ⁸	kg	Coating		
												Fines product	2,27 x 10 ⁷	kg	Recycle		
COATER	NPK Product	5,68 x 10 ⁸	kg	LISTRIK	6,1 x 10 ⁵	kWh	Coating oil	1,2 x 10 ⁶	kg			Final Product	5,71 x 10 ⁸	kg			
							Coating Powder & Pigment	1,9 x 10 ⁶	kg								
RECYCLE	Fines NPK	7,14 x 10 ⁸	kg	LISTRIK	3,52 x 10 ⁶	kWh						Recycle product	2,28 x 10 ⁹	kg	Granulator		
	Oversize NPK	7,96 x 10 ⁸	kg														
	Product RR	6,39 x 10 ⁸	kg														
	Fines product	2,27 x 10 ⁷	kg														
	Debu Dryer Cyclone	7,45 x 10 ⁷	kg														
	Debu Cooler Cyclone	7,28 x 10 ⁶	kg														
Debu Dedusting Cyclone	3,03 x 10 ⁷	kg															
SCRUBBER				LISTRIK	2,23 x 10 ⁷	kWh				NH ₃	5653,81				atmosfer		
												F ⁻	965,8				
												Partikulat	8,27 x 10 ⁴				

“Halaman Sengaja Dikосongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Daniar Rahmasari lahir di Tuban pada tanggal 17 Januari 1997. Penulis menempuh pendidikan di SDN Kutorejo 01 Tuban (2003-2009), SMPN 1 Tuban (2009-2012), SMAN 1 Tuban (2012-2015). Pada tahun 2015, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan terdaftar dengan NRP 03211540000025.

Selama masa perkuliahan penulis aktif sebagai staff departemen sosial masyarakat selama periode 2016-2018. Selain itu, penulis juga aktif sebagai anggota Komunitas Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) periode 2016-2018. Penulis juga aktif sebagai anggota Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Regional IV departemen pendidikan dan keprofesian periode 2015-2016. Penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan, diantaranya adalah sebagai coordinator acara *fieldtrip and gathering* 2015, koordinator acara Bakti Sosial 2016, dan staff dana Hari Air Sedunia 2017. Pengalaman kerja praktik pada industri Gondorukem dan Terpentin Trenggalek pada tahun 2018. Apabila ingin menghubungi penulis dapat melalui email daniar.rahmasari@gmail.com.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5828387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2019/2019

Kode/SKS : RE184804 (06/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 13 Desember 2019 Nilai TOEFL : 477
Pukul : 08.00-09.00 WIB
Lokasi : TI-103
Judul : Kajian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK Terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)
Nama : DANIAH RAHMASAKI Tanda Tangan
NRP. : 0321154000025
Topik : Penelitian

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1	<ul style="list-style-type: none">- cek buku: Bapak dan Ibu.- Penelitian angket.- Tembakau pembalasan.- Tembakau alternatif pembalasan.- Rumus? masukkan daftar pustaka.- Cek perhitungan.- Cek material balance- Gambar? cek

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat eksistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Di II. Rachmet Boddisaroso, MT.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Gasal 2019-2020

Kode/SKS : RE1415B1 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : 13 Januari 2019
Pukul : 15.00 - 17.30
Lokasi : TL - 102
Judul : Kajian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)

Nilai TOEFL 477

Nama : Daniar Rahmatsari
NRP. : 03211540000025
Topik : Perencanaan

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	<p>-cek buku. -Tambahkan pembahasan mengenai hasil review. -Periksa skema. f. 21/1/2020</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretaris Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Rachmat Boedi Santoso, M.T.



FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Damar Rahmatari
NRP : 63211510000025
Judul Tugas Akhir : Kajian Dampak Proses Produksi Pupuk NPK terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Mencantumkan nama tabel (Halaman 61)	Sudah diperbaiki (Halaman 61)
2.	Mencantumkan nama tabel (Halaman 69)	Sudah diperbaiki (Halaman 63)
3.	Kehitungan kata "grafik" pada Gambar 4.3	Sudah diperbaiki (Halaman 64)
4.	Penulisan angka dalam tabel, dibest titik koma	Sudah diperbaiki (Halaman 115 lampiran)
5.	Perubahan pembahasan terkait hasil running	Sudah diperbaiki (Halaman 90-91)
6.	Pemilihan skenario	Sudah diperbaiki (Halaman 98)

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Rachmat Boeduwatasa, MT.

Mahasiswa Ybs.,

Damar R.



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

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Dorian Rizkiyasa
NRP : 0321154000025
Judul : Kajian Dampak Peningkatan Produksi Sepeda Motor Terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	12-11-2019	Bahasan LCA	
2	19-11-2019	- Perhitungan beban awal - Beban inventori di LCA	
3	21-11-2019	- Beban inventori di LCA	
4	21-11-2019	- Pembahasan DAS IV	
5	26-11-2019	- Pembahasan Mas Balance per unit	
6	27-11-2019	- Beban inventori di LCA	
7	18-12-2019	- Mas Balance diperbaiki	
8	23-12-2019	- Alhamdulillah	

Surabaya, 12 November 2019
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Rachmat Basuandana, MT