

**ANALISIS POTENSI DAMPAK PENCEMARAN UDARA
PADA PROSES PRODUKSI GULA PT. PERKEBUNAN
NUSANTARA X UNIT PG. KREMBOONG DENGAN METODE
*LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)***

SKRIPSI



CHENDRA AINUN NAUFAL

**PROGRAM STUDI S1-TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
2022**

**ANALISIS POTENSI DAMPAK PENCEMARAN UDARA
PADA PROSES PRODUKSI GULA PT. PERKEBUNAN
NUSANTARA X UNIT PG. KREMBOONG DENGAN METODE
*LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)***

SKRIPSI



CHENDRA AINUN NAUFAL

**PROGRAM STUDI S1-TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
2022**

**ANALISIS POTENSI DAMPAK PENCEMARAN UDARA
PADA PROSES PRODUKSI GULA PT. PERKEBUNAN NUSANTARA X
UNIT PG. KREMBOONG DENGAN METODE
LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)**

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Bidang Teknik Lingkungan
pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga

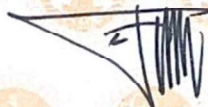
Oleh:

Chendra Ainun Naufal
NIM. 081811133026

Disetujui oleh,

Pembimbing I

Pembimbing II



Febri Eko Wahyudianto, S.T., M.T.
NIP. 199102032016113101



Dr. Eko Prasetyo Kuncoro, S.T., DEA.
197508302008121001

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Analisis Potensi Dampak Pencemaran Udara Pada Proses
Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG.
Kremboong Dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)

Penyusun : Chendra Ainun Naufal

Nomor Induk : 081811133026

Program Studi : S-1 Teknik Lingkungan

Pembimbing I : Febri Eko Wahyudianto, S.T., M.T.

Pembimbing II : Dr. Eko Prasetyo Kuncoro, S.T., DEA.

Tanggal Sidang :

Disetujui Oleh:

Pembimbing I



Febri Eko Wahyudianto, S.T., M.T.
NIP 199102032016113101

Pembimbing II



Dr. Eko Prasetyo Kuncoro, S.T., DEA.
NIP 197508302008121001

Mengetahui,

Ketua Departemen Biologi
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga



Prof. Dr. Sri Puli Astuti W., M.Si.
NIP 196602211992032001

Koordinator Program Studi
S-1 Teknik Lingkungan



Dr. Eko Prasetyo Kuncoro, S.T., DEA.
NIP 197508302008121001

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga, diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, namun pengutipan harus seizin penyusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah. Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

PRAKATA

Segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Naskah skripsi ini berjudul **“Analisis Potensi Dampak Pencemaran Udara Pada Proses Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong Dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)”**. Skripsi ini terdiri dari beberapa bab, yaitu bab pendahuluan, tinjauan Pustaka, metode penelitian, hasil dan pembahasan, kesimpulan, daftar Pustaka, dan lampiran. Setiap isi dari bab tersebut terangkai secara komprehensif untuk mengkaji mengenai analisis potensi dampak lingkungan pada limbah emisi yang dikeluarkan dari produksi gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).

Naskah skripsi ini merupakan salah satu syarat wajib kelulusan mahasiswa program studi S-1 Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga. Penyusunan naskah skripsi ini telah sesuai dengan pedoman penyusunan skripsi untuk mahasiswa S-1 Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

Penulis skripsi tidak lepas dari hambatan dan kesulitan, namun karena bimbingan, bantuan, saran dan kerjasama dari berbagai pihak, segala hambatan tersebut akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Penyusun juga menyadari bahwa naskah skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca akan sangat dibutuhkan. Semoga naskah skripsi ini dapat diterima dan bermanfaat bagi pembaca sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Surabaya, 28 Agustus 2022

Penyusun



Chendra Ainun Naufal

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas rahmat Allah SWT yang senantiasa memberikan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah skripsi dengan judul **“Analisis Potensi Dampak Pencemaran Udara Pada Proses Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong Dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)”** ini dengan baik. Penyelesaian naskah skripsi ini tentu tidak terlepas dari bimbingan, dukungan, bantuan, dan doa dari pihak-pihak terkait. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Musta’in dan Ibu Sri Astutik selaku orang tua penulis yang senantiasa memberikan doa, motivasi, dan segala dukungan kepada penyusun tiada henti sejak masa kuliah hingga penyelesaian naskah skripsi ini.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Puji Astuti Wahyuningsih, M.Si., sebagai Ketua Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, yang telah memberikan fasilitas dan kemudahan berupa perizinan selama penyusunan naskah skripsi.
3. Dr. Eko Prasetyo Kuncoro, DEA., selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Koordinator Mata Kuliah Skripsi, Dosen Pembimbing II, dan dosen wali yang telah memberikan waktu dan tenaga untuk membimbing dengan sabar, memberikan ilmu, motivasi, serta pengalaman dan selalu mengingatkan penulis agar segera menyelesaikan naskah skripsi ini secara terarah.
4. Febri Eko Wahyudianto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan waktu dan tenaga untuk membimbing dengan sabar, memberikan ilmu, motivasi, serta pengalaman dalam penyelesaian naskah skripsi ini secara terarah.
5. Dwi Ratri Mitha Isnadina, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji III yang telah memberikan saran, arahan, dan masukan kepada penulis untuk perbaikan sehingga naskah skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak Rendy selaku Pembimbing Lapangan PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong yang selalu siap membantu penulis untuk berkoordinasi dan selalu memberikan arahan, masukan serta semangat agar naskah skripsi ini terselesaikan dengan cepat.
7. Bapak Jidan selaku Koordinator Instalasi PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong yang selalu menyempatkan waktu untuk membantu penulis dalam mencari data.
8. Salsabilla Choirun Nisa’ Alfikry selaku kakak tingkat yang merangkap menjadi pembimbing dalam bidang LCA sekaligus menjadi jurnal acuan penulis yang telah menyisihkan waktu dari kesibukannya dan selalu siap untuk membantu penulis dalam berbagai hal terkait LCA serta mendengarkan keluh kesah penulis.
9. Glory Fuji Maria Roswita Werdiyoso, Altelah Anisa Valmay, Disya Berliani Salsabila, dan Moh. Nurrahmat Saputra selaku kakak tingkat merangkap menjadi pembimbing dalam bidang LCA yang membantu menjelaskan terkait LCA kepada penulis.

10. Dea Rizky Oktavanie Putri selaku teman dekat penulis yang selalu memberikan *support*, tenaga, waktu, motivasi kepada penulis agar tetap semangat menyelesaikan naskah skripsi sampai terselesaikan serta selalu mendengarkan keluh kesah penulis dengan sabar.
11. Purnama Jaya Sakti, Tika Earlyn Fiorina, Dita Savana, Firda Aisyah, Fadhillah Amani dan Yasin selaku rekan setopik penelitian LCA yang selalu memberikan bantuan, semangat, dan waktunya dengan berjuang bersama dalam menyelesaikan skripsi hingga selesai.
12. Chalis Rif'at, Purnama Jaya Sakti, Huda Satya, Dion Farhan, Kevin Yusuf, Faqih, dan Adhi Rahman Bani selaku teman yang selalu menyempatkan waktu untuk mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan masukan, saran, dukungan dalam menyelesaikan naskah skripsi serta selalu siap untuk menemani penulis mengerjakan skripsi dimanapun.
13. Penghuni kontrakan dan kosan bu sugih yang *gercep* ketika penulis meminta bantuan kepada penulis.
14. Keluarga BWJ meliputi seluruh putra angkatan EV 11 yang selalu memberikan semangat, saling mengingatkan, serta memberi hiburan saat penulis sedang tidak baik baik saja.
15. Keluarga EV 11 yang selalu memberikan dukungan dan menghadirkan cerita indah selama masa perkuliahan.
16. Seluruh pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu-persaty yang telah membantu penulis didalam penyusunan naskah skripsi hingga selesai.

Dalam penyusunan dan penulisan tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh Karena itu, penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada semua pihak terkait yang telah membantu menyelesaikan naskah skripsi ini dan memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi penyusun dan pembacanya. Terima kasih.

LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya:

Nama : Chendra Ainun Naufal
NIM : 081811133026
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Universitas : Universitas Airlangga
Jenjang : Sarjana (S-1)

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan naskah skripsi saya yang berjudul:

**ANALISIS POTENSI DAMPAK PENCEMARAN UDARA
PADA PROSES PRODUKSI GULA PT. PERKEBUNAN NUSANTARA X
UNIT PG. KREMBOONG DENGAN METODE
LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)**

Apabila suatu saat nanti terbukti melakukan tindak plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 28 Agustus 2022
Penyusun



Chendra Ainun Naufal
NIM. 081811133026

Naufal, C. A. 2022. Analisis Potensi Dampak Pencemaran Udara Pada Proses Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong Dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Skripsi ini di bawah bimbingan Febri Eko Wahyudianto, S.T., M.T. dan Dr. Eko Prasetyo Kuncoro, DEA. Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui life cycle inventory, mengetahui potensi dampak, serta menentukan alternatif terbaik dalam mereduksi potensi dampak akibat gas rumah kaca dan emisi yang dihasilkan dari proses produksi gula. Tahapan LCA terdiri dari goal and scope, life cycle inventory, life cycle impact assessment, dan interpretation. Ruang lingkup yang pada penelitian ini adalah gate to gate dan unit fungsional sebesar 50 kg gula. Software yang digunakan dalam penelitian ini adalah SimaPro versi 9.3. Metode yang digunakan pada tahapan LCIA adalah CML-IA (baseline) yang memiliki 11 kategori dampak. PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong mengeluarkan 5 emisi udara selama proses produksi gula, yaitu SO₂, NO₂, CO₂, N₂O, dan CH₄. Terdapat 5 potensi dampak yang dihasilkan dari proses produksi gula berdasarkan perhitungan dari tahapan characterization yakni acidification, eutrophication, photochemical oxidation, human toxicity, dan global warming. Alternatif perbaikan yang direkomendasikan dalam mereduksi potensi dampak yang timbul selama proses produksi adalah penggunaan Water Spon Filter (WSF) dengan larutan CA(OH)₂ yang diletakkan pada ujung cerobong dan penggantian bahan bakar ampas tebu menjadi bioethanol pada stasiun ketel. Alternatif perbaikan yang disarankan dapat mereduksi potensi dampak acidification sebesar 13 %, photochemical oxidant sebesar 13 %, Eutrophication sebesar 63 %, dan human toxicity sebesar 17 %.

Kata Kunci: Gula, *Life Cycle Assessment*, potensi dampak, SimaPro.

Naufal, C. A. 2022. *Analysis of the Potential Impact of Air Pollution on the Sugar Production Process of PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong With Life Cycle Assessment (LCA) Method. This work was supervised by Febri Eko Wahyudianto, S.T., M.T. dan Dr. Eko Prasetyo Kuncoro, DEA. Environmental Engineering, Biology Departement, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga.*

ABSTRACT

This study aims to determine the life cycle inventory, determine the potential impact, and determine the best alternative in reducing the potential impact of greenhouse gases and emissions resulting from the sugar production process. The LCA stages consist of goals and scope, life cycle inventory, life cycle impact assessment, and interpretation. The scope of this research is gate to gate and a functional unit of 50 kg of sugar. The software used in this research is SimaPro version 9.3. The method used in the LCIA stage is CML-IA (baseline) which has 11 impact categories. PT. Nusantara Plantation X Unit PG. Kremboong emits 5 air emissions during the sugar production process, namely SO₂, NO₂, CO₂, N₂O, and CH₄. There are 5 potential impacts resulting from the sugar production process based on calculations from the characterization stages, namely acidification, eutrophication, photochemical oxidation, human toxicity, and global warming. Alternative improvements that are recommended in reducing the potential impacts that arise during the production process are the use of a Water Sponge Filter (WSF) with a solution of CA(OH)₂ placed at the end of the chimney and the replacement of bagasse fuel into bioethanol at the boiler station. The suggested enhancement alternative can reduce the potential impact of acidification by 13%, photochemical oxidant by 13%, Eutrophication by 63%, and human toxicity by 17%.

Key words: *sugar, Life Cycle Assessment, potential impact, SimaPro.*

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PERNYATAAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iv
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	v
PRAKATA.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINILITAS	ix
ABSTRAK.....	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan.....	8
1.4 Manfaat.....	8
1.5 Ruang Lingkup	9
BAB II.....	10
TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Gambaran Umum Perusahaan	10
2.1.1 Pabrik Gula (PG) Kremboong	12
2.2 Industri Gula.....	13
2.3 Proses Produksi Gula.....	15
2.4 Limbah Gas	18
2.5 Gas Rumah Kaca	21
2.5.1 Karbondioksida (CO ₂)	22
2.5.2 Metana (CH ₄).....	24
2.5.3 Dinitrogen Oksida (N ₂ O).....	26
2.6 Emisi.....	26
2.7 Dampak Potensi Pencemaran Udara pada Proses Produksi Gula	28
2.8 <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA).....	29
2.8.1 <i>Goal and Scope Definition</i>	31
2.8.2 <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI).....	33
2.8.3 <i>Life Cycle Impact Assesment</i> (LCIA)	34
2.8.4 <i>Interpretation</i>	35
2.9 Metode Life Cycle Impact Assessment (LCIA).....	35
2.10 Metode CML-IA.....	39
2.11 <i>Software</i> SimaPro 9.2	43
2.12 Penelitian Terdahulu.....	49
2.13 Nilai Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan	54
BAB III	55

METODE PENELITIAN.....	55
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	55
3.2 Cara Kerja.....	55
3.2.1 Ide Penelitian	57
3.2.2 Studi Literatur	57
3.2.3 Persiapan Penelitian.....	58
3.2.4 Pengumpulan Data.....	58
3.2.5 Analisis Data dan Pembahasan	59
3.2.6 Penarikan Kesimpulan dan Saran	62
BAB IV	63
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	63
4.1 <i>Life Cycle Inventory</i> (LCI) Pada Setiap Tahapan Proses Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara Unit PG. Kremboong	64
4.1.1 Stasiun Gilingan.....	66
4.1.2 Stasiun Pemurnian	70
4.1.3 Stasiun Penguapan	75
4.1.4 Stasiun Masakan dan Puteran	77
4.1.5 Stasiun Ketel.....	79
4.2 Analisis Potensi Dampak Gas Rumah Kaca dan Emisi Lainnya pada Proses Produksi Gula di PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong.....	83
4.2.1 Characterization	85
4.2.2 Normalization	96
4.3 Alternatif dalam Mereduksi Potensi Dampak Gas Rumah Kaca dan Emisi yang Dihasilkan Dari Proses Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong	102
BAB V	113
SIMPULAN DAN SARAN	113
5.1 Simpulan.....	113
5.2 Saran.....	115
DAFTAR PUSTAKA	117
Lampiran	125

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Struktur Organisasi PT. Perkebunan Nusantara X	11
Gambar 2.2	Bagan Proses Pengolahan Gula Kristal Putih	18
Gambar 2.3	Perubahan Temperatur	21
Gambar 2.4	Bagan Alir Penelitian <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA)	31
Gambar 2.5	Batasan Sistem <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA).....	32
Gambar 2.7	Tampilan Aplikasi SimaPro.....	45
Gambar 2.8	<i>Goal and Scope</i> pada <i>software</i> SimaPro.....	45
Gambar 2.9	<i>Inventory</i> pada <i>Software</i> SimaPro	47
Gambar 2.10	Contoh Tampilan Kriteria <i>Impact Assessment Characterization</i> pada <i>Software</i> SimaPro	48
Gambar 2.11	Contoh Tampilan Kriteria <i>Impact Assessment Normalization</i> pada <i>Software</i> SimaPro.....	48
Gambar 3.1	Lokasi PG. Kremboong	55
Gambar 3.2	Bagan Alir Cara Kerja	57
Gambar 4.1	Diagram Alir Proses Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong	65
Gambar 4.2	Material Balance Stasiun Gilingan	67
Gambar 4.3	Input Data Stasiun Gilingan pada <i>Software</i> SimaPro.....	70
Gambar 4.4	Material Balance Stasiun Pemurnian.....	72
Gambar 4.5	Input Data Stasiun Pemurnian pada <i>Software</i> SimaPro	75
Gambar 4.6	Material Balance Stasiun Penguapan.....	76
Gambar 4.7	Input Data SimaPro Stasiun Penguapan	77
Gambar 4.8	Material Balance Stasiun Masakan dan Puteran.....	78
Gambar 4.9	Input Data SimaPro Stasiun Masakan dan Puteran	79
Gambar 4.10	Material Balance Stasiun Ketel	80
Gambar 4.11	Input Data SimaPro Stasiun Ketel.....	82
Gambar 4.12	Characterization Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong	86
Gambar 4.13	Normalization Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong	98
Gambar 4.14	Network Normalisasi pada Kategori Dampak Acidification.....	100
Gambar 4.15	Perbandingan Hasil Potensi Dampak	109

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Jenis- Jenis GRK dan Nilai Potensi Pemanasan Global.....	22
Tabel 2.2	Baku Mutu Udara Ambien pada Industri Gula	27
Tabel 2.3	Kategori Dampak Metode CML	36
Tabel 2.4	Kategori Dampak Metode Eco-Indicator 99	37
Tabel 2.5	Kategori Dampak Metode ReCiPe	38
Tabel 2.6	Kategori Dampak Metode TRACI 2.1	39
Tabel 2.7	Penelitian Terdahulu.....	52
Tabel 2.8	Nilai Faktor Emisi GRK.....	54
Tabel 4.1	Data Produksi Gula PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong Tahun 2021	66
Tabel 4.2	Life Cycle Inventory pada Stasiun Gilingan	67
Tabel 4.3	Angka Pengawasan Stasiun Gilingan.....	68
Tabel 4.4	Life Cycle Inventory pada Stasiun Pemurnian.....	73
Tabel 4.5	Angka Pengawasan di Stasiun Pemurnian	74
Tabel 4.6	Life Cycle Inventory pada Stasiun Penguapan	76
Tabel 4.7	Life Cycle Inventory pada Stasiun Masakan dan Puteran.....	78
Tabel 4.8	Life Cycle Inventory pada Stasiun Ketel	80
Tabel 4.9	Data Input dan Output dalam Proses Produksi PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong	82
Tabel 4.10	Kategori Dampak Proses Produksi Setiap Stasiun	88
Tabel 4.11	Persentase Kontribusi Proses Produksi Gula Setiap Stasiun ke Setiap Potensi Dampak	88
Tabel 4.12	Kontributor Kategori Dampak Acidification	90
Tabel 4.13	Kontributor Kategori Dampak Eutrophication.....	91
Tabel 4.14	Kontributor Kategori Dampak Photochemical Oxidation.....	93
Tabel 4.15	Kontributor Kategori Dampak Human Toxicity	94
Tabel 4.16	Kontributor Kategori Dampak Global Warming	95
Tabel 4.17	Hasil Penilaian Dampak Normalization.....	99
Tabel 4.18	Perubahan Kegiatan si PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong Berdasarkan Alternatif yang akan Diterapkan	108
Tabel 4.19	Tabel Perbandingan Emisi	110
Tabel 4.20	Penurunan Nilai Setiap Kategori Dampak	111

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Ringkasan Ilmiah	125
Lampiran 2.	Input dari setiap stasiun PG. Kremboong	135
Lampiran 3.	Output dari setiap stasiun PG. Kremboong	136
Lampiran 4.	Tabel Characterization dari setiap stasiun di PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong	137
Lampiran 5.	Tabel Normalization dari setiap stasiun di PT. Perkebunan Nusantara X Unit PG. Kremboong	138
Lampiran 6.	Tahapan dalam running di SimaPro 9.3.....	139
Lampiran 7.	Data Pribadi	145