



TUGAS AKHIR – TI 141501

IMPLEMENTASI *LIFE CYCLE ASSESSMENT* PADA PROSES PRODUKSI PG MADUKISMO

ROSLINA AR'FATUNISA'

NRP 02411440000005

DOSEN PEMBIMBING I

Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc

NIP. 195903181986031001

DOSEN PEMBIMBING II

H. Hari Supriyanto, Ir, MSIE

NIP. 196002231985031002

DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TI 141501

**IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT IN MADUKISMO
SUGAR COMPANY'S PRODUCTION PROCESS**

ROSLINA AR'FATUNISA'

NRP 02411440000005

SUPERVISOR I

Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc

NIP. 195903181986031001

SUPERVISOR II

H. Hari Supriyanto, Ir, MSIE

NIP. 196002231985031002

INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

**IMPLEMENTASI *LIFE CYCLE ASSESSMENT* PADA PROSES
PRODUKSI PG MADUKISMO**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ROSLINA AR'FATUNISA'

NRP 02411440000005

Mengetahui dan Menyetujui,

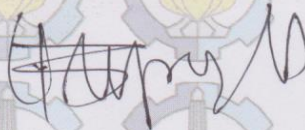
Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc

NIP. 195903181986031001

Dosen Pembimbing II



H. Hari Suprivanto, Ir. MSIE

NIP. 196002231985031002

Surabaya, Juli 2018



(halaman ini sengaja dikosongkan)

**IMPLEMENTASI *LIFE CYCLE ASSESSMENT* PADA PROSES
PRODUKSI PG MADUKISMO**

Nama : Roslina Ar'fatunisa'
NRP : 02411440000005
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc
H. Hari Supriyanto, Ir, MSIE

ABSTRAK

Pabrik Gula Madukismo merupakan pabrik gula dengan kapasitas harian sebesar 3.500 TCD (*ton cane per day*). Permintaan gula yang meningkat tiap tahunnya menyebabkan dampak lingkungan akibat proses produksi meningkat seiring berjalannya waktu. Aktivitas produksi mengganggu ekosistem Sungai Bedog di desa Guwosari, Pajangan, Bantul dan area bantaran sungai akibat membuang limbah berupa blotong ke sungai. Sehingga perlu dilakukan analisa lebih lanjut mengenai dampak yang menyebabkan penurunan kinerja lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas produksi gula.

Life cycle assessment (LCA) merupakan merupakan proses evaluasi beban lingkungan terhadap suatu produk, proses, atau aktivitas dengan mengidentifikasi penggunaan energi dan material serta pembuangan limbah ke lingkungan; untuk menilai dampak lingkungan yang ditimbulkan atas penggunaan dan pembuangan energi. Setelah dampak lingkungan terdeteksi maka dilakukan rekomendasi alternatif perbaikan

Hasil LCA menunjukkan bahwa proses produksi berdampak ke lingkungan sebesar 23.5 Pt. Serta alternatif solusi yang direkomendasikan yaitu pemanfaatan ampas tebu menjadi bioetanol, dan pemanfaatan blotong menjadi biobriket. Pemanfaatan ampas tebu akan mengurangi dampak dari 23.5 Pt menjadi 18.82 Pt. Sedangkan pemanfaatan blotong menjadi biobriket akan mengurangi dampak menjadi 20.8 Pt.

Kata kunci: *Life cycle assessment*, Penilaian Dampak, Proses Produksi Gula, SimaPro.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**IMPLEMENTATION OF *LIFE CYCLE ASSESSMENT* IN MADUKISMO
SUGAR COMPANY'S PRODUCTION PROCESS**

Name : Roslina Ar'fatunisa'
NRP : 02411440000005
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc
H. Hari Supriyanto, Ir, MSIE

ABSTRACT

Madukismo Sugar Factory is a sugar factory with a daily capacity of 3,500 TCD (tons of cane per day). Sugar demand that increases annually causes environmental impact due to increased production process over time. Production activities disrupt the Bedog River ecosystem in the villages of Guwosari, Pajangan, Bantul and riverbank areas due to disposing of waste into the river. Therefore, further analysis on the impact of environmental degradation caused by sugar production activity is needed.

Life cycle assessment (LCA) is a process of evaluating the environmental load on a product, process, or activity by identifying the use of energy and materials and disposal of waste into the environment; to assess the environmental impacts of energy use and disposal. Once the environmental impacts are detected there is an alternative recommendation for improvement

The LCA results show that the production process has an environmental impact of 23.5 Pt. As well as the recommended alternative solutions are the utilization of bagasse into bioethanol, and the utilization of blotong into biobriket. Utilization of bagasse will reduce the impact from 23.5 Pt to 18.82 Pt. While the utilization of blotong into biobriket will reduce the impact to 20.8 Pt.

Keywords: Life cycle assessment, Impact assessment, Production of sugar, SimaPro

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi Strata-1 di Departemen Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya ini dengan lancar dan tepat pada waktunya. Shalawat serta salam juga senantiasa penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan ini, yaitu:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc, selaku dosen pembimbing utama dan H. Hari Supriyanto, Ir, MSIE, selaku dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan bimbingan, arahan, nasihat dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Atta Nurrohman yang telah memberikan kesempatan, bantuan dan bimbingan dalam proses pengambilan data di PG Madukismo.
3. Bapak Mokh. Suef, Ir., M.Eng.Sc, Ibu Putu Dana Karningsih, S.T, M.Eng.Sc, Ph.D, dan Ibu Dewanti Anggrahini ST, MT., selaku dosen penguji Seminar Proposal dan Sidang Tugas Akhir yang telah banyak memberi saran dan masukan untuk perbaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T, M.S.I.E., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Industri.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Industri ITS yang telah mengajarkan berbagai ilmu selama masa perkuliahan.
6. Kedua orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat dan motivasi yang sangat luar biasa pada penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mohon kritik dan saran pembaca yang dapat membangun dan memperbaiki penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.5.1 Batasan	6
1.5.2 Asumsi.....	6
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Pertanian	9
2.2 Industri Gula.....	9
2.3 Kategori Dampak Lingkungan	12
2.4 <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	15
2.4.1 <i>Stage</i> pada <i>Life Cycle Assessment</i>	15
2.4.2 Tahapan Pendekatan <i>Life Cycle Assessment</i>	16
2.5 <i>Software</i> SimaPro 8.5.0	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Alur Pelaksanaan Penelitian	23
3.2 Penjelasan <i>Flowchart</i> Pelaksanaan Penelitian.....	25
3.2.1 Tahap Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	25
3.2.2 Tahap Pengumpulan Data	26
3.2.3 Tahap Pengolahan Data.....	26
3.2.4 Tahap Analisis dan Interpretasi Data	30

3.2.5 Tahap Penarikan Kesimpulan dan Penyusunan Saran	30
BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	31
4.1 Gambaran Umum Perusahaan	31
4.2 Struktur Organisasi Perusahaan	32
4.3 Proses Produksi Gula di PG Madukismo	32
4.3.1 Tahap Pertanian.....	33
4.3.2 Tahap Industri	33
4.4 <i>Life Cycle Assessment</i> PG Madukismo	43
4.4.1 <i>Inventory Results</i>	43
4.4.2 <i>Impact Assessment</i>	45
4.4.3 <i>Life Cycle Interpretation</i>	49
BAB 5 ANALISA DATA	51
5.1 Analisa Dampak Lingkungan.....	51
5.1.1 Analisa <i>Characterization</i>	51
5.1.2 Analisa <i>Single Score</i>	52
5.2 Analisa Skenario	53
5.2.1 Skenario 1 (Pemanfaatan limbah blotong).....	53
5.2.2 Skenario 2 (Pemanfaatan ampas tebu menjadi bioetanol)	55
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	57
6.1 Kesimpulan	57
6.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Rekap Penelitian Sebelumnya	21
Tabel 2. 2 Rekap Penelitian Sebelumnya (lanjutan).....	22
Tabel 4. 1 Data Produksi Tahun 2017 PG Madukismo	34
Tabel 4. 2 <i>Life Cycle Inventory</i> Stasiun Gilingan.....	35
Tabel 4. 3 <i>Life Cycle Inventory</i> Stasiun Pemurnian	36
Tabel 4. 4 <i>Life Cycle Inventory</i> Stasiun Evaporator	37
Tabel 4. 5 <i>Life Cycle Inventory</i> Stasiun Masakan	38
Tabel 4. 6 <i>Life Cycle Inventory</i> Stasiun Puteran	39
Tabel 4. 7 <i>Life Cycle Inventory</i> Stasiun Penyelesaian.....	40
Tabel 4. 8 <i>Life Cycle Inventory</i> Stasiun Ketel	42
Tabel 4. 9 <i>Single Score</i> Dampak Lingkungan dari Proses Produksi Gula	44
Tabel 4. 10 <i>Characterization</i> dari <i>Impact Assessment</i> Per Satu Ton Gula.....	46
Tabel 4. 11 <i>Single score</i> dari <i>Impact Assessment</i> Per Satu Ton Gula	48
Tabel 5. 1 <i>Single Score</i> Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 1	54
Tabel 5. 2 <i>Single Score</i> Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 2	56

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Jumlah Penduduk Indonesia Tahun 2013-2017.....	2
Gambar 1. 2 Konsumsi Per Kapita Gula di Indonesia tahun 2013-2017	2
Gambar 1. 3 Mutu Air Limbah PG Madukismo.....	4
Gambar 2. 1 <i>Life Cycle Assessment Framework</i>	17
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> Alur Penelitian	23
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Alur Penelitian (lanjutan).....	24
Gambar 4. 1 Struktur Organisasi PT Madubaru	32
Gambar 4. 2 Struktur Organisasi Bagian Pabrikasi.....	32
Gambar 4. 3 <i>Material Balance</i> Stasiun Gilangan	35
Gambar 4. 4 <i>Material Balance</i> Stasiun Pemurnian	36
Gambar 4. 5 <i>Material Balance</i> Stasiun Masakan.....	38
Gambar 4. 6 <i>Material balance</i> Stasiun Putaran.....	39
Gambar 4. 7 <i>Material Balance</i> Stasiun Penyelesaian.....	40
Gambar 4. 8 Persentase Konsumsi Listrik Mesin.....	43
Gambar 4. 9 <i>Single Score</i> Dampak Lingkungan dari Proses Produksi Gula.....	43
Gambar 4. 10 <i>Network</i> Gula Kemasan	44
Gambar 4. 11 <i>Characterization</i> dari <i>Impact Assessment</i> Per Satu Ton Gula.....	46
Gambar 4. 12 <i>Normalization</i> dari <i>Impact Assessment</i> Per Satu Ton Gula.....	47
Gambar 4. 13 <i>Weighting</i> dari <i>Impact Assessment</i> Per Satu Ton Gula.....	47
Gambar 4. 14 <i>Single score</i> dari <i>Impact Assessment</i> Per Satu Ton Gula	48
Gambar 5 1 <i>Characterization</i> Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 1	53
Gambar 5 2 <i>Single Score</i> Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 1.	54
Gambar 5 3 <i>Characterization</i> Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 2.	55
Gambar 5 4 <i>Single Score</i> Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 2.	55

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

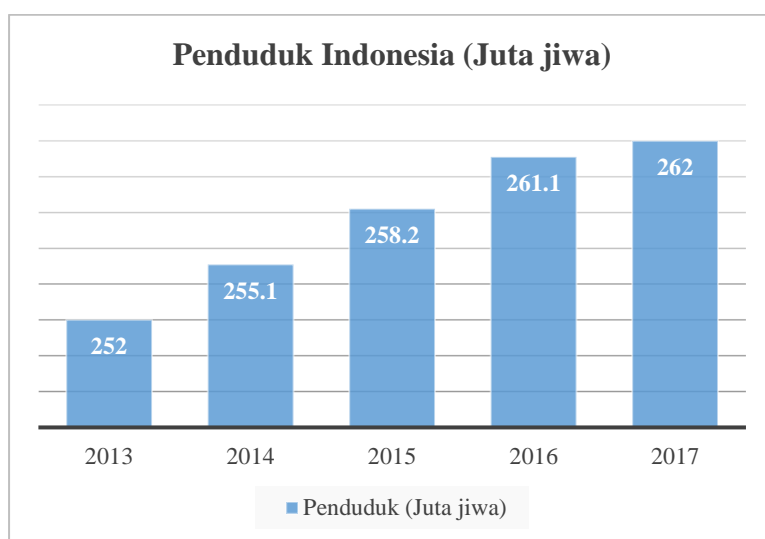
PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian yang meliputi batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan.

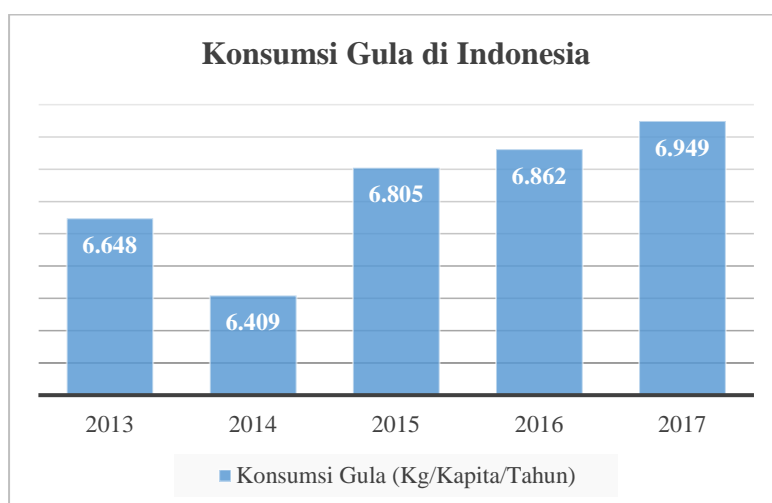
1.1 Latar Belakang

Isu lingkungan menjadi suatu hal yang penting dan mendapatkan perhatian bagi tiap elemen masyarakat global. Awalnya, dugaan penyebab masalah lingkungan global lebih banyak ditekankan pada faktor alam seperti iklim, curah hujan, kelembaban, dan lain sebagainya. Namun seiring berjalannya waktu, aktivitas perindustrian seperti eksploitasi energi, konversi lahan, limbah produksi, dan lain-lain menjadi faktor utama peningkatan gas CO₂ yang menyebabkan terjadinya efek pemanasan global (*global warming*) (Humairah, 2011). Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tentang *inventory* emisi GRK sektor energi, menyebutkan bahwa emisi dari pembakaran energi pada tahun 2015 mencapai 261,89 juta ton CO₂. Pangsa emisi didominasi oleh sektor transportasi 53%, sektor industri 35%, rumah tangga 8%, lainnya 3%, dan komersial 1%. Besarnya penggunaan energi fosil merupakan salah satu penyebab tingginya tingkat emisi pada sektor industri.

Indonesia merupakan negara agraris yang mengandalkan sektor pertanian sebagai salah satu sumber untuk memenuhi kebutuhan pangan nasional. Sektor pertanian mempunyai berbagai jenis hasil komoditas. Tebu merupakan salah satu komoditas strategis di bidang pertanian yang dapat diolah menjadi produk berupa gula pasir. Menurut keputusan Menteri Industri dan Perdagangan No. 115/MPP/Kep/1998 tanggal 27 Februari 1998, gula merupakan sumber pangan berkalori yang termasuk dalam kelompok sembako (sembilan bahan pokok). Merupakan suatu kebutuhan pokok, menyebabkan konsumsi gula meningkat seiring dengan pertumbuhan angka penduduk. Berikut ini data jumlah penduduk Indonesia:



Gambar 1. 1 Jumlah Penduduk Indonesia Tahun 2013-2017
(Sumber: Badan Pusat Statistika, 2017)



Gambar 1. 2 Konsumsi Per Kapita Gula di Indonesia tahun 2013-2017
(Sumber: Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS), 2017)

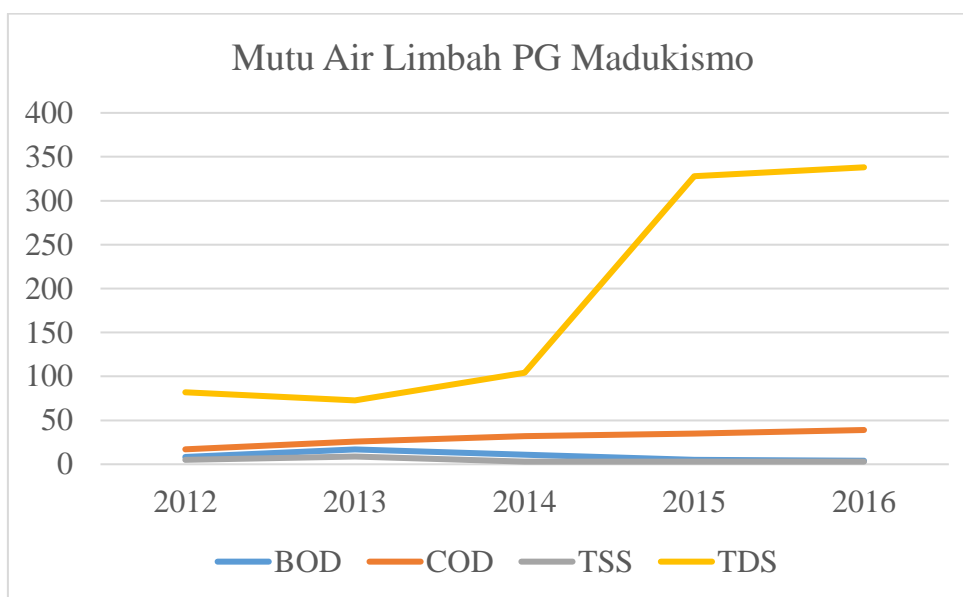
Gambar 1.2 menunjukkan bahwa kenaikan konsumsi gula yang cukup signifikan selama 5 tahun terakhir. Rata-rata konsumsi per kapita gula pada tahun 2013-2017 mengalami pertumbuhan sebesar 1.17% (BPS, 2017). Hal ini menyebabkan peningkatan permintaan terhadap gula di pasaran. Untuk memenuhi permintaan, industri gula nasional memproduksi sebanyak kurang lebih 2.5 juta ton gula pasir tiap tahun (Statistik Pertanian, 2018). Menurut data Asosiasi Gula Indonesia tahun 2014, terdapat 62 pabrik gula yang tersebar di 10 provinsi di Indonesia dengan

pengambilan bahan baku yang bersumber dari perkebunan rakyat, negara, maupun swasta. Seiring dengan berkembangnya industri gula, maka muncul persaingan antar pabrik gula kaitannya untuk meningkatkan produktivitas guna memenuhi permintaan pasar. Tak hanya segi produktivitas, efektivitas dan efisiensi yang ditingkatkan, namun pengelolaan lingkungan juga diperhatikan. Kaitannya dengan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses selama kegiatan produksi berupa pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan pada industri gula dapat berupa limbah yang dihasilkan dari tiap-tiap proses pada sistem produksi. Limbah industri gula terdiri dari limbah cair, padat, dan gas. Limbah cair berupa air abu ketel, air sisa penguapan, air sisa pendinginan mesin dan tetes. Tetes merupakan cairan kental dari tahap pengkristalan gula yang tidak dapat dibentuk menjadi gula namun memiliki kadar gula yang cukup tinggi (Hambali, Mujdalifah, & Armansyah, 2008). Limbah cair berupa air abu ketel dan tetes masih dapat diproses kembali untuk dijadikan produk yang memiliki nilai tambah. Limbah padat berupa ampas tebu dan blotong. Limbah gas berupa asap, abu dan debu sisa hasil pembakaran ampas tebu. Aspek lingkungan yang berkaitan langsung dalam proses produksi gula, mendorong terjadinya penurunan kinerja lingkungan.

PT Madubaru merupakan perusahaan di daerah Kasihan, Bantul, Yogyakarta yang membawahi dua pabrik yaitu pabrik gula (PG) dan pabrik spirtus (PS) Madukismo. PG Madukismo merupakan satu-satunya pabrik gula tebu yang beroperasi di provinsi Yogyakarta. PG Madukismo menyuplai gula di provinsi Yogyakarta dan beberapa daerah di Jawa Tengah bagian selatan. Kapasitas giling tebu PG Madukismo yaitu 3500 TCD (*ton cane per day*) dengan proses giling selama kurang lebih 150-210 hari tiap tahun. Target jumlah tebu yang digiling selama satu tahun mencapai 550.000 ton. Jumlah target tebu giling yang besar tentu akan menghasilkan limbah yang besar pula. Sebagai sebuah industri, tidak hanya berusaha memenuhi kebutuhan konsumen namun juga menjaga keberlangsungan dan kelestarian lingkungan yaitu salah satunya dengan memperhatikan daur hidup (*life cycle*) produk.

Menurut Tribunnews tahun 2016, menyebutkan bahwa pada tahun tersebut PT Madubaru pernah tersandung kasus pencemaran lingkungan. PT Madubaru

diklaim telah mengganggu ekosistem Sungai Bedog di desa Guwosari, Pajangan, Bantul dan area bantaran sungai akibat membuang limbah berupa blotong ke sungai tersebut. Pembuangan limbah blotong ke sungai diklaim telah dilakukan selama belasan tahun. Hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas air sungai, polusi udara dan ratusan ikan mati. Berikut ini merupakan data beban pencemaran lingkungan berupa data mutu air limbah ada PG Madukismo selama kurun waktu 2012-2016:



Gambar 1. 3 Mutu Air Limbah PG Madukismo

Sumber:PG Madukismo, 2018

Berdasarkan data diatas menunjukkan bahwa terjadi kenaikan mutu TDS (*total dissolved solid* atau jumlah padatan yang terlarut dalam air) secara signifikan dalam kurun waktu 5 tahun. Tahun 2012 rata-rata TDS yaitu 107.5, kemudian mengalami penurunan menjadi 72.7. Tahun 2015 kembali mengalami kenaikan TDS yang cukup besar yaitu menjadi 328 dan pada tahun 2016 menjadi 338. Selain itu, terjadi kenaikan COD (*chemical oxygen demand*) dari tahun ke tahun yaitu pada 2012 besarnya 17 dan bernilai 39 pada tahun 2016.

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian pada PT Madubaru PG Madukismo terkait dengan pengukuran kinerja lingkungan dengan metode *life cycle assessment (LCA)*. *Life cycle assessment* merupakan proses

evaluasi beban lingkungan terhadap suatu produk, proses, atau aktivitas dengan mengidentifikasi penggunaan energi dan material serta pembuangan limbah ke lingkungan (Fava, 1993). LCA dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang terjadi pada seluruh siklus hidup produk sehingga dapat mengetahui sumber pencemaran pada suatu industri (Yani & Purwaningsih, 2012). Sehingga *life cycle assessment* dapat diimplementasikan kaitannya untuk melakukan perencanaan strategis terhadap proses produksi .

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan menerapkan pendekatan *Life Cycle Assessment* untuk mengetahui proses yang berkontribusi besar memberikan dampak lingkungan pada PG Madukismo.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur dampak proses produksi PG Maduksimo dengan pendekatan *life cycle assessment*.
2. Merekomendasikan alternatif solusi terhadap proses produksi untuk meningkatkan kinerja lingkungan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan dapat mengetahui faktor-faktor yang memberikan dampak lingkungan dalam proses produksi PG Maduksimo.
2. Perusahaan dapat mengetahui informasi dampak lingkungan dalam proses produksi.
3. Perusahaan memperoleh rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan kinerja lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu batasan dan serta asumsi.

1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Data yang digunakan merupakan *cradle to gate* yaitu dari pengadaan bahan baku hingga menjadi produk jadi.
2. Data yang digunakan merupakan data historis produksi tahun 2017.
3. Proses perbaikan yang direkomendasikan sampai tahap usulan saja.

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Kebutuhan data *ecoinvent* pada SimaPro dianggap sama dengan keadaan eksisting.

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini merupakan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir yang terdiri dari 6 bab:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada Bab 1 Pendahuluan dijelaskan mengenai pelbagai hal yang mendasari dilakukannya penelitian serta identifikasi masalah yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup, dan sistematika penulisan laporan.

BAB 2 TINJAUAN PUSATAKA

Pada Bab 2 Tinjauan Pustaka dipaparkan mengenai dasar-dasar teori dari permasalahan yang diangkat dalam penelitian tugas akhir. Serta metode yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian. Bab ini berisi tentang pertanian, industri gula, LCA (*life cycle assessment*), *software* Simapro.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab 3 Metodologi Penelitian akan dipaparkan mengenai langkah-langkah penelitian berupa *flowchart* serta penjelasan dari *flowchart* yang berupa narasi.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada Bab 4 Pengumpulan Data berisi penjelasan mengenai metode pengumpulan data. Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan metode data sekunder. Pengolahan data data dilakukan dengan bantuan *software* yaitu *software* Simapro untuk mengolah data sekunder PG Madukismo

BAB 5 ANALISIS DATA

Pada Bab 5 Analisis dan Interpretasi Data dilakukan analisis dan interpretasi pada hasil pengolahan data pada bab sebelumnya. Analisis dan interpretasi didasarkan pada *output software* yang menghasilkan interpretasi mengenai penilaian dampak lingkungan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab 6 Kesimpulan dan Saran akan dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil penelitian tugas akhir sesuai tujuan yang ingin dicapai serta berisi saran yang dapat diberikan pada penelitian selanjutnya guna perbaikan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai landasan teori yang mendukung pengerjaan penelitian. Landasan teori yang disajikan meliputi pertanian, industri gula, LCA (*life cycle assessment*), *software* Simapro.

2.1 Pertanian

Pertanian adalah suatu jenis kegiatan produksi yang berdasarkan pada proses pertumbuhan dari tumbuh-tumbuhan dan hewan. Pertanian dalam arti sempit dinamakan dengan pertanian rakyat, sedangkan pertanian dalam arti luas meliputi pertanian rakyat, kehutanan, peternakan, dan perikanan (Soetrisno, Rijanto, & Suwandari, 1997).

Tebu merupakan salah satu komoditi pertanian dengan nama ilmiah *Saccharum officinarum* Linn. Tebu merupakan tanaman yang termasuk dalam jenis rumput-rumputan yang tumbuh di daerah beriklim panas dan sedang. Tebu dapat tumbuh di berbagai jenis tanah, pH tanah yang cocok untuk tebu yaitu berkisar antara 5,5-7,0. Syarat tumbuh tanaman tebu antara lain kesesuaian iklim, curah hujan, sinar matahari, angin, kelembaban udara, kesesuaian lahan, persiapan lahan, pembibitan, waktu tanam, penyiraman, dan pembumbunan tanah.

2.2 Industri Gula

Tebu merupakan bahan baku pembuat gula. Tebu hasil pertanian dapat diolah menjadi pelbagai jenis gula antara lain gula tebu, gula kristal mentah, gula kristal putih, gula kristal rafinasi. Proses produksi gula dari tebu merupakan proses pemisahan sakharosa yang terdapat dalam batang tebu dari zat-zat lain seperti air, ssszat organik, dan sabut. Pemisahan dilakukan secara bertingkat yaitu dengan menggiling tebu dengan mesin penggiling sehingga diperoleh cairan yang disebut nira (Santoso). Proses produksi gula dari tebu terdiri dari beberapa proses yaitu pengolahan awal, penggilingan, pemurnian, penguapan, kristalisasi, putaran, serta pengeringan dan pendinginan (Agroindustri, 2017)

1) Pengolahan Awal

Tahap ini merupakan proses awal berupa persiapan. Tujuannya untuk mengetahui berat dari tebu yang dikirim dari kebun ke pabrik. Prinsipnya menggunakan sistem FIFO (*first in first out*), tebu yang lebih dahulu datang ditimbang kemudian digiling terlebih dahulu. Tebu yang menunggu untuk digiling tidak boleh menunggu lebih dari 48 jam, karena akan mengurangi rendemen (kandungan gula dalam tebu) cukup besar sehingga mempengaruhi kualitas hasil pengolahan gula.

2) Penggilingan

Proses penggilingan bertujuan untuk memisahkan sari tebu (nira) dengan batang tebu. Terdapat 5 buah unit gilingan, setiap unit terdapat 3 buah rol yaitu rol atas, rol bawah, dan rol belakang serta satu buah penampung nira. Nira hasil pemerahan gilingan I merupakan nira murni atau nira perahan pertama (NPP). Ampasnya digunakan sebagai *input* gilingan II dan seterusnya hingga gilingan V. Terdapat penambahan berupa air imbisasi pada gilingan III dan IV. Selain itu juga terdapat penambahan susu kapur Ca(OH)_2 pada saluran aliran nira, gunanya menaikkan pH menjadi kurang lebih 5

3) Pemurnian

Proses pemurnian tebu merupakan proses pemisahan dan pengendapan kotoran yang ada pada nira tebu sehingga diperoleh nira murni. Pada stasiun ini digunakan beberapa bahan pembantu antara lain asam fosfat, kapur, flokulan memurnikan nira dengan cara menghilangkan sebanyak mungkin zat bukan gula. Nira kotor hasil pengendapan dialirkan ke *rotary vacuum filter*. Alat ini berupa drum yang besar dan berputar dengan kondisi vakum. Permukaan drum berupa lapisan logam berpori-pori yang digunakan untuk menyerap cairan yang masih terkandung dalam nira kotor. Hasil samping dari proses ini disebut blotong. Sedangkan cairan atau filtrat akan dialirkan kembali ke bak timbangan nira mentah

4) Penguapan

Proses penguapan nira dilakukan untuk menguapkan air yang masih terkandung dalam nira tanpa merusak kandungan sukrosa dalam nira. Sistem penguapan disebut sistem *quadruple effect evaporator*. Sebelum

diuapkan, nira murni masuk ke dalam pemanas (*voorwarmwer*) III sehingga suhu nira menjadi 100-105 °C. Kemudian nira masuk ke dalam evaporator I dan diberi tekanan uap bekas dari sisa penggerak turbin sebesar 0,6 kg/cm² dan suhu 120°C. Nira akan bersirkulasi lewat pipa-pipa ini sehingga dengan adanya aliran uap bahan I akan dipergunakan untuk pemanasan badan sesudahnya. Hasil dari proses penguapan yaitu nira yang kental

5) Kristalisasi

Proses kristalisasi nira membutuhkan nira kental dari proses penguapan. Tahap ini dilakukan pemanasan menggunakan uap dengan tekanan sebesar 65 cmHg, sehingga suhu didihnya menurun menjadi 65°C, menghasilkan kristal gula dan larutan (*stroop*). Selama kristalisasi menggunakan *pan* masakan, setiap *pan* masakan akan menghasilkan *masecuite*, yaitu suatu larutan yang sangat pekat yang mengandung kristal gula. Keluaran dari proses kristalisasi menggunakan sistem ACD, yaitu gula tipe A sebagai produk, sedangkan gula tipe C dan D digunakan sebagai bibit dan sebagian lagi dilebur untuk dimasak kembali.

6) Putaran

Tujuan proses ini yaitu memisahkan kristal gula dan *stroop* yang terdapat pada *masecuite*. Gula tipe A diputar dengan gaya sentrifugal pada rpm tertentu sehingga terjadi pergeseran antar kristal. Hasil putaran A berupa gula tipe A dan *stroop* A. *Stroop* A digunakan sebagai bahan masakan C, sedangkan gula A masuk ke dalam *mixer*. Kemudian gula A masuk ke putaran Superium Hoofd Suiker (SHS) untuk dilakukan penyemprotan dengan *steam* agar mengeringkan kristal dan melarutkan *stroop*. Pada tahap ini dihasilkan gula SHS (gula produk) dan klare SHS. Gula SHS dibawa ke stasiun penyelesaian sedangkan klare SHS digunakan untuk masakan bibit.

7) Penyelesaian

Tahap ini dibagi menjadi 2 proses utama yaitu pengayakan dan pengeringan serta pengemasan. Pengeringan dilakukan dengan alat bantu berupa talang getar atau talang goyang. Terdapat dua talang goyang yang memiliki tujuan sama yaitu mengeringkan gula yang masih lembab. Gula

yang telah kering diayak agar menghasilkan gula SHS sesuai ukurannya. Keluarannya berupa gula halus yang akan dilebur kembali dan gula SHS yang siap dikemas. Gula SHS keluaran dari proses ayakan masuk ke dalam mesin timbangan kemudian dikemas secara otomatis. Gula dikemas dengan karung plastik (sak) dengan berat bersih 50kg gula/karung.

2.3 Kategori Dampak Lingkungan

Dampak lingkungan merupakan setiap perubahan pada lingkungan baik yang merugikan ataupun bermanfaat, yang keseluruhan ataupun sebagian disebabkan oleh aspek lingkungan organisas. Aspek lingkungan yaitu unsur kegiatan atau produk atau jasa organisasi yang dapat berinteraksi dengan lingkungan (Badan Standardisasi Nasional, 2005). Berikut ini merupakan kategori dampak lingkungan:

1. Pemanasan global (*Global Warming*)

Global warming adalah fenomena meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut, dan daratan yang disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca akibat aktivitas manusia melalui efek rumah kaca (Sulistiyono, 2014). Hal ini menyebabkan perubahan iklim, peningkatan permukaan air laut, dan peningkatan suhu rata-rata global. Terdapat enam jenis gas rumah kaca yaitu karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrous oksida (N₂O), hidroperfluorokarbon (HFCs), perfluorokarbon (CFCs), sulfur heksaflorida (SF₆).

2. Penipisan Lapisan Ozon (*Ozone Depletion*)

Ozon merupakan lapisan atmosfer yang mempunyai kemampuan untuk menyerap radiasi ultra violet dengan panjang gelombang kurang lebih 320 nm yang dipancarkan oleh matahari. Penipisan lapisan ozon disebabkan oleh menempelnya senyawa CFC dengan jumlah yang banyak dipermukaan ozon. Penipisan lapisan ozon menyebabkan penyerapan radiasi dan gelombang panas matahari kurang optimal sehingga semakin meningkat suhu bumi yang mendorong terjadinya pemanasan global.

3. Pengasaman (*Acidification*)

Pengasaman adalah proses turunnya kadar pH air laut akibat penyerapan karbondioksida di atmosfer yang dihasilkan dari kegiatan manusia.

4. Eutrofikasi

Eutrofikasi adalah pengkayaan perairan oleh unsur hara, khususnya unsur nitrogen (N) dan fosfor (P). Air yang mengandung $P > 0.015$ mg/L dan N 0.165 mg/L yang tersedia secara biologi dapat menyebabkan eutrofikasi. Kelebihan unsur hara di perairan akan menyebabkan tumbuhan air tumbuh subur. Tumbuhan air yang tumbuh subur berpotensi menutupi permukaan perairan, sehingga menghambat pancaran sinar matahari. Hal itu menyebabkan kadar oksigen terlarut menjadi sedikit, air menjadi keruh dan berbau karena adanya pembusukan lumut-lumut yang mati.

5. Asap Fotokimia (*Photochemical Smog*)

Asap fotokimia merupakan koloid (aerosol) yang mengandung gas nitrogen dioksida (NO_2) dan gas ozon (O_3) yang berasal dari reaksi gas buang kendaraan bermotor maupun asap pabrik dengan sinar matahari. Umumnya gas buang tersebut mengandung gas NO, CO, dan hidrokarbon yang bereaksi dengan cahaya (foton) sehingga terjadi reaksi fotokimia. Reaksi ini menghasilkan (NO_2) dan (O_3) yang akhirnya membentuk asap.

6. Ekotoksisitas Kronis Air (*Ecotoxicity Water Chronic*)

Ekotoksisitas kronis air adalah kemampuan air untuk menimbulkan kerusakan dengan tanggapan terhadap rangsang berat dan cepat pada saat mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh yang peka. Biasanya tanggapan terhadap rangsang dalam waktu 4 hari untuk ikan dan biota akuatik lainnya.

7. Ekotoksisitas Akut Air (*Ecotoxicity Water Acute*)

Ekotoksisitas akut air adalah kemampuan air untuk menimbulkan kerusakan dengan tanggapan terhadap rangsang yang berlangsung dalam waktu lama (paling tidak mencapai $>0,1$ masa hidup) pada saat mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh yang peka.

8. Ekotoksisitas Kronis Tanah (*Ecotoxicity Soil Chronic*)

Ekotoksitas kronis tanah kemampuan tanah untuk menimbulkan kerusakan dengan tanggapan terhadap rangsang berat dan cepat pada saat mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh yang peka.

9. Toksisitas Air terhadap Manusia (*Human Toxicity Water*)

Toksisitas air terhadap manusia merupakan kemampuan air untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh yang peka dari manusia.

10. Toksisitas Tanah terhadap Manusia (*Human Toxicity Soil*)

Toksisitas tanah terhadap manusia yaitu kemampuan tanah untuk menimbulkan kerusakan pada saat mengenai bagian dalam atau permukaan tubuh yang peka dari manusia.

11. Limbah (*Bulk Waste*)

Limbah yaitu segala sesuatu yang merupakan sisa hasil buangan dari suatu kegiatan produksi yang sudah tidak terpakai lagi. Komposisi limbah terdiri dari dua komponen utama yaitu limbah organik dan anorganik. Limbah organik dapat berupa sampah yang sumbernya dari tumbuhan-tumbuhan seperti daun-daun kering, batang pohon. Limbah anorganik seperti gelas, plastik, kaca. Limbah menurut jenisnya dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu limbah padat, cair, dan gas. Pabrik gula umumnya menghasilkan ketiga jenis limbah tersebut

- Limbah Padat

Limbah padat dari pabrik gula antara lain ampas tebu dari proses gilingan, biasanya dapat digunakan sebagai bahan bakar pada proses penguapan sehingga timbul limbah berupa abu. Limbah blotong yang merupakan hasil samping proses pemurnian yang merupakan kotoran yang masih tercampur pada nira.

- Limbah cair

Limbah cair pabrik gula dapat berupa air bekas proses pendinginan mesin-mesin pabrik, air jatuhnya hasil penguapan, air abu ketel, serta tetes. Tetes merupakan cairan kental dari tahap pengkristalan gula yang tidak dapat dibentuk menjadi gula namun memiliki kadar gula yang cukup tinggi

- Limbah gas

Limbah gas dari pabrik gula berupa asap jelaga yang merupakan limbah dari stasiun ketel. Selain itu stasiun ketel juga memiliki limbah berupa debu yang asalnya dari abu pembakaran ampas tebu.

12. Limbah Berbahaya (*Hazardous Waste*)

Limbah berbahaya dan beracun (B3) adalah zat, energi, atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan jumlahnya secara langsung atau tidak langsung dapat mencemarkan, merusak lingkungan dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya.

13. Limbah Radioaktif (*Radioactive Waste*)

Limbah radioaktif adalah jenis limbah yang mengandung atau terkontaminasi radionuklida pada konsentrasi atau aktivitas yang melebihi batas yang diijinkan.

2.4 Life Cycle Assessment (LCA)

Life cycle assessment (LCA) merupakan proses evaluasi beban lingkungan terhadap suatu produk, proses, atau aktivitas dengan mengidentifikasi penggunaan energi dan material serta pembuangan limbah ke lingkungan; untuk menilai dampak lingkungan yang ditimbulkan atas penggunaan dan pembuangan energi (Fava, 1993). LCA membahas mengenai aspek lingkungan dan dampak potensial dengan pendekatan “*cradle to grave*” yang mencakup keseluruhan daur hidup produk, dari bahan baku, produksi, penggunaan produk dan *disposal* (pembuangan) (International Organization for Standardization, 1997).

2.4.1 Stage pada *Life Cycle Assessment*

Berikut ini akan dijelaskan mengenai *stage* (tahapan) dalam *life cycle assessment*:

1. Geografis

Lokasi pelaksanaan aktivitas manufaktur berpengaruh besar terhadap dampak yang dihasilkan terhadap lingkungan. Emisi yang dihasilkan dari suatu proses produksi di tiap-tiap tempat juga terdapat perbedaan.

2. Ekstraksi Bahan Baku

Siklus hidup produk dimulai dari perpindahan bahan baku dan energi dari dalam bumi. Misalnya seperti, pemanenan pohon, transportasi dari sumber bahan baku menuju tempat produksi.

3. Manufaktur

Transformasi dari bahan baku menjadi produk yang memiliki nilai tambah sehingga produk dapat didistribusikan kepada konsumen. Tahap ini terdiri dari 3 bagian yaitu *materials manufacture*, *product fabrication*, dan *filling/packaging/distribution* (U.S Environmental Protection Agency (EPA), 2006).

4. Use/Reuse/Maintenance

Setelah produk didistribusikan pada konsumen, seluruh aktivitas dari pemakaian hingga menjadi *disposal* (buangan). Termasuk juga kegiatan perbaikan, penggunaan kembali (*reuse*).

5. Recycle Waste Management

Tahap memperhitungkan kebutuhan energi serta limbah yang dihasilkan oleh produk.

2.4.2 Tahapan Pendekatan *Life Cycle Assessment*

Kerangka LCA terdiri dari tahapan pendefinisian tujuan dan cakupan (*goal and scope definition*), tahap analisis inventori (*inventory analysis*), tahap penilaian dampak (*impact assessment*), dan tahap interpretasi (*life cycle interpretation*) (International Organization for Standardization, 1997). Proses evaluasi lingkungan dengan menggunakan LCA dapat dicapai dengan mengikuti tahapan-tahapan LCA seperti digambarkan pada *framework* Gambar 2.1

1. *Goal and Scope Definition*

Merupakan tahap pendefinisian dilakukannya LCA berupa merumuskan tujuan, sistem yang dievaluasi, batasan, dan asumsi yang berhubungan dengan dampak di sepanjang siklus hidup yang akan dievaluasi. Fase ini terdiri dari 3 tahap yaitu:

- Tahap pendefinisian tujuan

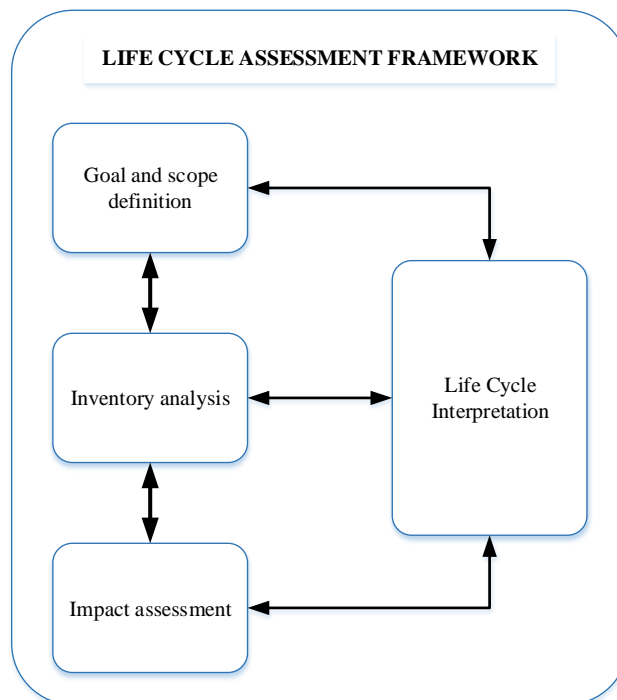
Terdiri dari perumusan tujuan dari dilakukannya *life cycle assessment*.

- Tahap pendefinisian lingkup dan fungsi

Terdiri batasan, asumsi dalam melakukan *assessment*.

- Tahap pendefinisian unit fungsional

Tahap yang berisi deskripsi tentang fungsi utama dari suatu sistem produk. Contoh sebuah fungsi yaitu pengecatan dinding, unit fungsionalnya luas area yang dicat, tipe dinding, kualitas hasil cat (International Organization for Standardization, 1997)



Gambar 2. 1 *Life Cycle Assessment Framework*
(Sumber: ISO 14040)

2. *Inventory Analysis*

Merupakan tahap yang berisi pengumpulan dan pengolahan data guna kuantifikasi *input* dan *output* dari sistem yang dievaluasi. *Input* meliputi penggunaan sumber daya dan *output* meliputi *waste* yang

mempengaruhi udara, air maupun tanah. Pengumpulan data kualitatif dan kuantitatif dalam *inventory analysis* harus didasarkan pada setiap unit proses yang ada dalam batas-batas sistem. Berikut merupakan 4 langkah dalam *inventory analysis*:

- Membuat *flow diagram* dari proses yang akan dievaluasi
Flow diagram menggambarkan *input* dan *output* dari setiap proses dalam sistem. Menggambarkan suatu sistem dan batasan sistem dari hal yang akan dinilai.
- Membuat Rencana Pengumpulan Data LCI (*Life cycle Inventory*)
Data *inventory* yang akurat dari setiap proses dalam sistem sangat dibutuhkan. Elemen kunci dalam tahap ini yaitu menentukan sasaran kualitas data, mengidentifikasi sumber dan tipe data, mengidentifikasi indikator kualitas data, membuat *worksheet* dan *checklist* pengumpulan data.
- Pengumpulan Data
Upaya pengumpulan data melibatkan kombinasi riset, kunjungan langsung, maupun wawancara terhadap sistem yang akan dievaluasi.
- *Input* kedalam LCIA
Kaitannya dengan upaya penggunaan *software* untuk membantu melakukan analisis mengenai data *inventory*.

3. *Impact Assessment*

Merupakan tahap evaluasi potensi dampak lingkungan menggunakan hasil *inventory analysis*. Secara umum tahap ini adalah penanganan dari dampak lingkungan, dampak penggunaan sumber daya dan produksi emisi yang dikelompokkan dan dikuantifikasi dalam jumlah tertentu. Menurut ISO 1998 tentang *Life Cycle Assessment* terdapat 3 langkah utama dalam LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*) yaitu mengkategorikan, mengklasifikasi, dan mengkarakterisasi dampak. Berikut ini langkah melakukan *impact assessment*:

- *Selection and Definition of Impact Categories*
Mengidentifikasi kategori-kategori dari dampak lingkungan.
Contoh: pemanasan global, pengasaman, *terrestrial toxicity*.
- *Classification*
Mengklasifikasikan hasil LCI dalam kategori dampak lingkungan. Contoh: mengklasifikasikan emisi karbondioksida ke dalam pemanasan global.
- *Characterization*
Mengkarakterisasai hasil LCI dalam kategori dampak lingkungan menggunakan faktor konversi. Contoh: permodelan dampak potensial karbondioksida dan gas metana dalam pemanasan global.
- *Normalization*
Menyatakan dampak potensial dengan cara perbandingan. Contoh: membandingkan dampak pemanasan global dari karbondioksida dan metana dalam dua opsi.
- *Grouping*
Mensortir atau memberi indikator peringkat. Contoh: mengurutkan berdasarkan lokasi: lokal, regional, dan global.
- *Weighting*
Menekankan pada dampak yang berpotensi, yaitu dengan melihat berdasarkan pembobotan.
- *Evaluating and Reporting LCIA Results*
Evaluasi dan hasil dari LCIA.

4. *Life Cycle Interpretation*

Merupakan tahap akhir analisis yang mengkaji dan menghasilkan kesimpulan, rekomendasi, dan pengambilan keputusan yang konsisten dengan tujuan dan cakupan yang telah didefinisikan. Langkah dalam *life cycle interpretation*:

- Mengidentifikasi Persoalan berdasarkan LCI dan LCIA.

- Mengevaluasi berdasarkan *completeness*, *sensitivity*, dan *consistency checks*.
- Kesimpulan, rekomendasi, dan laporan.

2.5 Software SimaPro 8.5.0

SimaPro merupakan *software* yang memungkinkan untuk mengumpulkan, menganalisa, dan memantau keberlanjutan kinerja produk maupun jasa. *Software* ini dapat menilai dampak lingkungan dengan cara menganalisis siklus hidup yang kompleks dan sistematis dari suatu produk dan mengidentifikasi aspek rantai pasok, mulai dari ekstraksi bahan baku, manufaktur, distribusi, penggunaan, hingga pembuangan (Starostka & Patyk, 2015). *Software* ini memungkinkan pengguna untuk memodelkan dan menganalisa siklus hidup produk yang kompleks secara sistematis. Terdapat beberapa fitur yang mempermudah pengguna yaitu:

- Permodelan siklus hidup yang kompleks
- Analisis lanjutan
- Tersedia dalam berbagai versi yaitu *single* atau *multi user* dan dalam berbagai bahasa.

SimaPro menggunakan berbagai metode evaluasi yang akan mengklasifikasikan zat menurut efeknya terhadap dampak lingkungan seperti hujan asam dan ozon deplesi.

Pada tabel 2.1 dan tabel 2.2 akan ditampilkan mengenai rekap penelitian sebelumnya yang meliputi judul penelitian, tahun terbit, penulis, dan deskripsi singkat mengenai penelitian.

Tabel 2. 1 Rekap Penelitian Sebelumnya

Judul Penelitian	Tahun	Penulis	Pembahasan	Deskripsi
			LCA	
Implementasi <i>Life Cycle Assessment</i> pada Proses Pembuatan Gula	2006	Mirna Laksmita Ariyanti	v	Untuk mengetahui dampak lingkungan “ <i>cradle to gate</i> ” dari proses produksi pabrik gula Candi Baru
<i>Life Cycle Assessment of Sugar from Sugarcane. A Case Study in Indonesia</i>	2013	Rahandini Lukita Lestari	v	Untuk mengetahui dampak lingkungan yang ditimbulkan pada proses produksi pabrik gula Krebet
Implementasi <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> dan pendekatan <i>Analytical Network Process (ANP)</i> untuk Manajemen Lingkungan pada PT Charoen Pokphand-Krian	2016	Achmad Effendi	v	Untuk mengetahui siklus hidup proses produksi <i>cradle to gate</i> dari pakan ternak broiler serta pemilihan alternatif solusi.

Tabel 2. 2 Rekap Penelitian Sebelumnya (lanjutan)

Judul Penelitian	Tahun	Penulis	Pembahasan	Deskripsi
			LCA	
Analisa <i>Life Cycle Assesment</i> pada Proses Produksi di UMK Murni Mandiri, Kecamatan Ngancar, Kabupaten Kediri	2016	Achmad Zulfikar	v	Untuk mendukung konsep green industri, dengan melakukan analisis penilaian terhadap proses produksi sari buah nanas
Integrasi <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> dan Goal Programming dalam Analisis Kebijakan Produksi Berbasis <i>Green Manufacturing</i> (Studi Kasus: Produsen Pakan Ternak)	2016	Nur Khaerani Busri	v	Menganalisa dampak lingkungan yang ditimbulkan serta pengambilan keputusan kaitannya untuk memaksimumkan jumlah produksi, meminimasi total biaya, dan meminimasi dampak lingkungan.

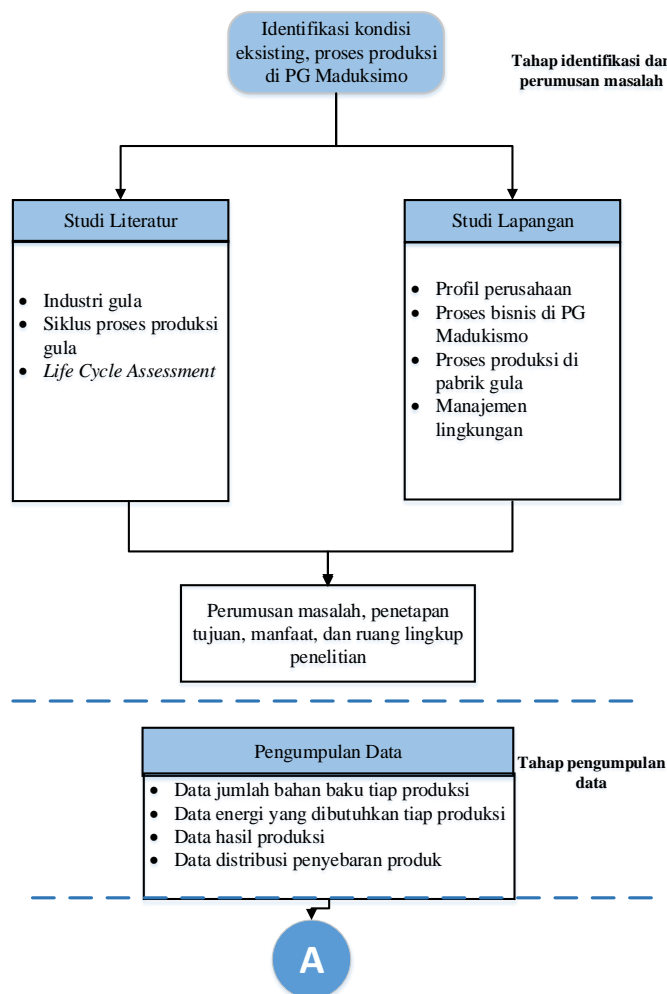
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan mengenai metodologi penelitian berupa alur pelaksanaan penelitian dan penjelasan dari alur pelaksanaan penelitian. Alur penelitian ini meliputi beberapa tahap yaitu tahap identifikasi dan perumusan masalah, pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan intreprtasi data, kesimpulan dan saran.

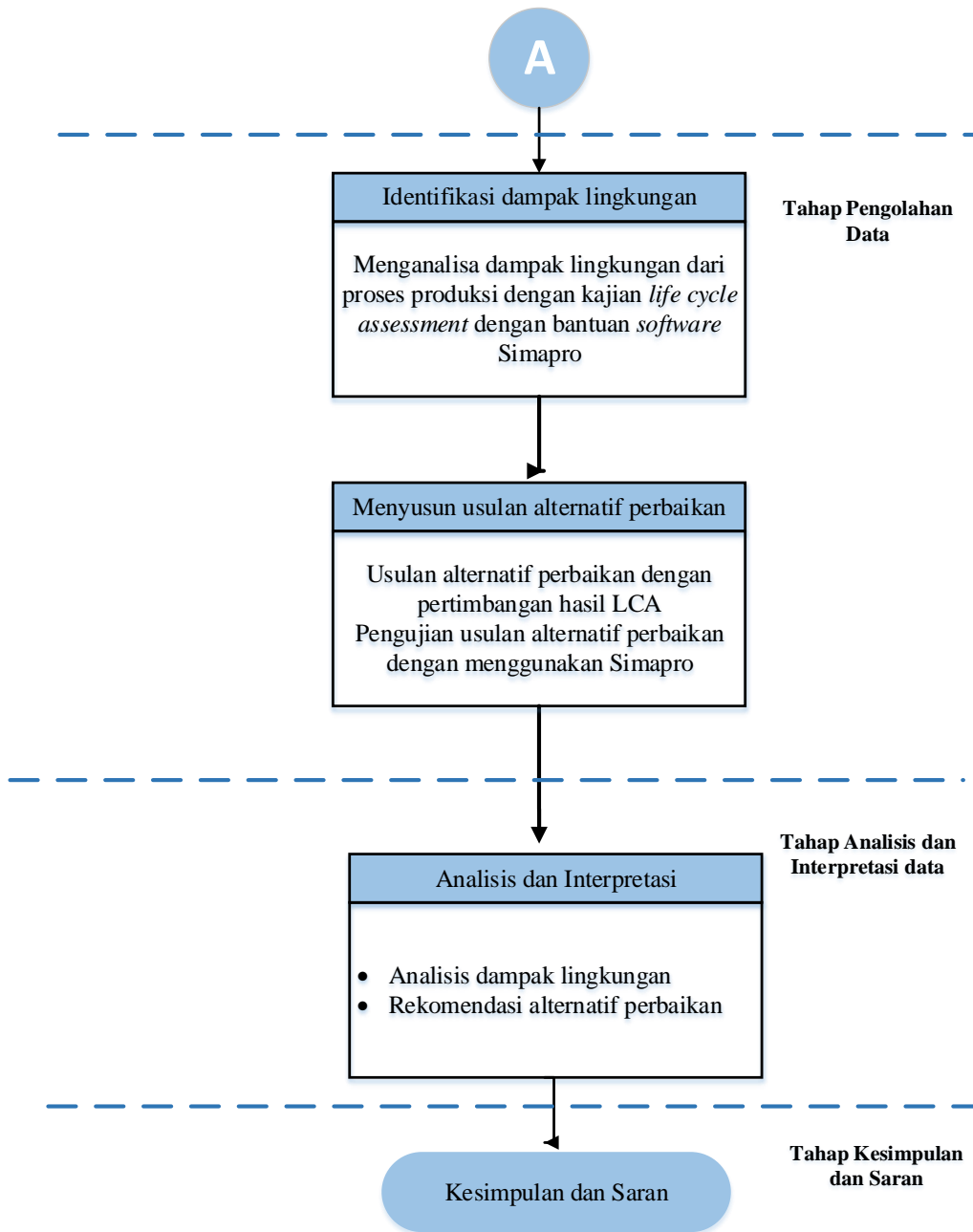
3.1 Alur Pelaksanaan Penelitian

Berikut pada Gambar 3.1 merupakan alur pelaksanaan penelitian tugas akhir yang menjadi dasar dalam pelaksanaan penelitian.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Alur Penelitian

Pada Gambar 2.2 merupakan lanjutan dari alur pelaksanaan penelitian tugas akhir.



Gambar 3. 2 *Flowchart* Alur Penelitian (lanjutan)

3.2 Penjelasan *Flowchart* Pelaksanaan Penelitian

Pada sub bab ini dijelaskan mengenai *flowchart* metodologi pelaksanaan penelitian. Metodologi pelaksanaan tersebut terdiri dari tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian untuk mencapai tujuan penelitian ini.

3.2.1 Tahap Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada tahap Identifikasi dan Perumusan Masalah akan dijabarkan mengenai proses dari tahap identifikasi dan perumusan masalah yang terdiri dari identifikasi kondisi eksisting proses produksi di PG; perumusan masalah, penetapan tujuan, dan penetapan ruang lingkup penelitian; studi literatur, dan studi lapangan.

- *Identifikasi Kondisi Eksisting Proses Produksi di PG Madukismo Yogyakarta.*

Pada identifikasi kondisi eksisting proses produksi, dilakukan pengamatan secara langsung terhadap proses produksi yang berjalan di PG Madukismo. Kemudian mengidentifikasi faktor-faktor yang menimbulkan potensi lingkungan.

- *Studi Literatur*

Pada tahap ini penulis melakukan kegiatan pembelajaran terkait tinjauan pustaka yang mendukung tujuan penelitian. Studi literatur yang dilakukan meliputi kajian terhadap literatur buku, jurnal, dan peraturan-peraturan yang ada. Tahapan ini bertujuan untuk dapat memahami serta mendalami permasalahan dan tujuan penelitian secara ilmiah, serta menentukan teori dan metode yang sesuai dengan permasalahan yang ada. Tinjauan pustaka yang dilakukan meliputi industri gula; siklus proses produksi gula; *life cycle assessment*; dan Penelitian Terdahulu.

- *Studi Lapangan*

Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting proses produksi serta manajemen lingkungan di PG Madukismo Yogyakarta saat ini. Studi lapangan ini dilakukan untuk mengetahui Profil PG Madukismo dan PT Madubar, Proses Bisnis pada PG Madukismo, proses produksi pada PG, serta manajemen lingkungan pada PG.

- *Perumusan Masalah, penetapan Tujuan, dan Penetapan Ruang Lingkup Penelitian*

Selanjutnya, dilakukan Tahap Perumusan Masalah, Penetapan Tujuan, dan Penetapan Ruang Lingkup Penelitian. Adanya *gap* antara kondisi yang standar dengan kondisi yang ada pada PG Madukismo, menjadi dasar perumusan masalah. Setelah masalah teridentifikasi, dilakukan penetapan tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini. Sedangkan proses penetapan ruang lingkup penelitian meliputi penentuan batasan dan asumsi dari penelitian berdasarkan hasil studi literatur dan studi lapangan yang telah dilakukan.

3.2.2 Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data dilakukan proses pengumpulan data berupa data sekunder.

- *Pengumpulan Data Sekunder*

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data-data yang dibutuhkan oleh penulis untuk dilanjutkan ke tahap pengolahan data. Data-data yang dibutuhkan oleh penulis antara lain data jumlah bahan baku tiap produksi, data energi yang dikonsumsi tiap produksi, data hasil produksi, serta data distribusi produk.

3.2.3 Tahap Pengolahan Data

Data yang telah didapatkan pada tahap pengumpulan data selanjutnya diolah. Dalam pengolahan data dilakukan beberapa langkah sebagai berikut.

- *Penilaian Dampak Lingkungan*

Data sekunder yang diperoleh diolah dengan membagi keseluruhan data dengan hasil 1 ton gula pasir. Misalnya jika *output* 100.000 ton gula pasir dihasilkan dari 1.000.000 ton tebu. Maka hasilnya untuk satuan per 1 ton gula pasir adalah *input* 10 ton tebu menghasilkan *output* 1 ton gula pasir. Dan begitu seterusnya dengan material-material lainnya. Keseluruhan hasil dengan satuan per 1 ton gula pasir kemudian dikategorikan tiap-tiap stasiun

kerja. Data material tiap stasiun kerja dibagi menjadi dua tipe yaitu *input* dan *output*. Data tersebut nantinya digunakan sebagai masukan pada *software* SimaPro tepatnya pada menu *Inventory-processes-material* dengan menekan *new button* untuk menambahkan material. Pada Gambar 2.2 merupakan contoh pengisian data pada *software* SimaPro.

Products								
Outputs to technosphere: Products and co-products	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment	
01 Nisa Mentan, St Gilingan	312042.89	ton	Mass	100 %	Others	Agricu...Plant production		
Amplas	105717	ton	Mass	0 %	not defined	Agricu...Plant production		
Add								
Outputs to technosphere: Avoided products								
Outputs to technosphere: Avoided products	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment	
Listrik	69529.82	MWh	Undefined					
Electricity, high voltage (HV) heat and power: co-generation, biogas, gas engine [APO5, U	0	kWh	Undefined					
Add								
Inputs								
Inputs from nature	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment
Add								
Inputs from technosphere: materials/fuels								
Inputs from technosphere: materials/fuels	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment	
Tebu, Perkebunan	327988.40	ton	Undefined					
Uap Air	43956.23	ton	Undefined					
Air	11617.88	ton	Undefined					
Air Kondensator	98278.52	ton	Undefined					
Calcium chloride (RER) epichlorohydrin production from allylic chloride [APO5, S	655.17	kg	Undefined					
Truck 20t	19126799.58	tkm	Undefined					
Truck 10t	19126799.58	tkm	Undefined					
Add								
Inputs from technosphere: electricity/heat								
Inputs from technosphere: electricity/heat	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment	
Listrik	457281.18	kWh	Undefined					
Add								

Gambar 2. 2 Contoh Pengisian Data pada Sub Menu *Processes*

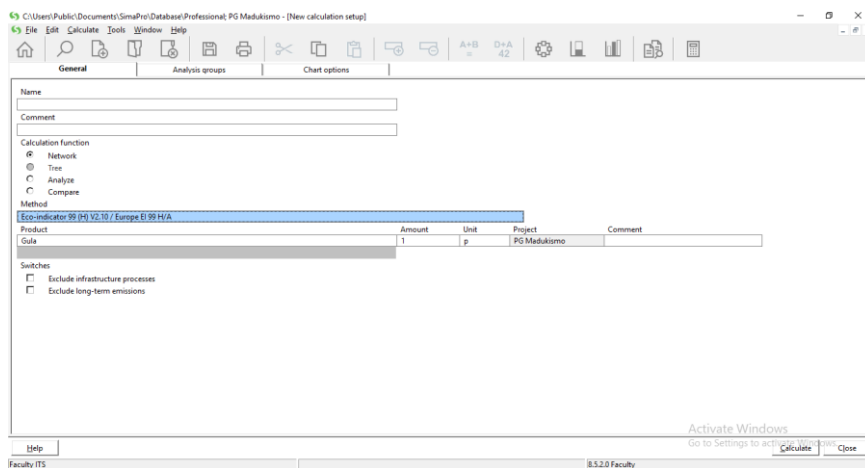
Setelah semua data dimasukkan pada sub menu *processes*, kemudian memilih sub menu *product stage* untuk menggabungkan semua proses yang telah dibuat pada langkah sebelumnya. Pada Gambar 2.3 menunjukkan proses pengisian data pada sub menu *product stage*.

Materials/Assemblies							
Materials/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment
05 Gula, St Puteeran	1	ton	Undefined				
04 Kristal Gula, St Masakan	1	ton	Undefined				
03 Nisa Kental, St Evaporator	1	ton	Undefined				
02 Nisa Kurni, St Pemurnian	1	ton	Undefined				
01 Nisa Mentan, St Gilingan	1	ton	Undefined				
Add							
Processes							
Processes	Amount	Unit	Distribution	SD2 or 2SD	Min	Max	Comment
Packaging	1	kg	Undefined				
Add							

Gambar 2. 3 Pengisian Data pada Sub Menu *Product Stage*

Kemudian klik menu *Calculate-Network* untuk melihat jaringan pada proses produksi. Terdapat 4 fungsi perhitungan yaitu *network*, *tree*, *analyze*, dan *compare*. Fungsi *network* digunakan untuk memperoleh jaringan dari produk yang dipilih. Fungsi *analyze* berfungsi untuk

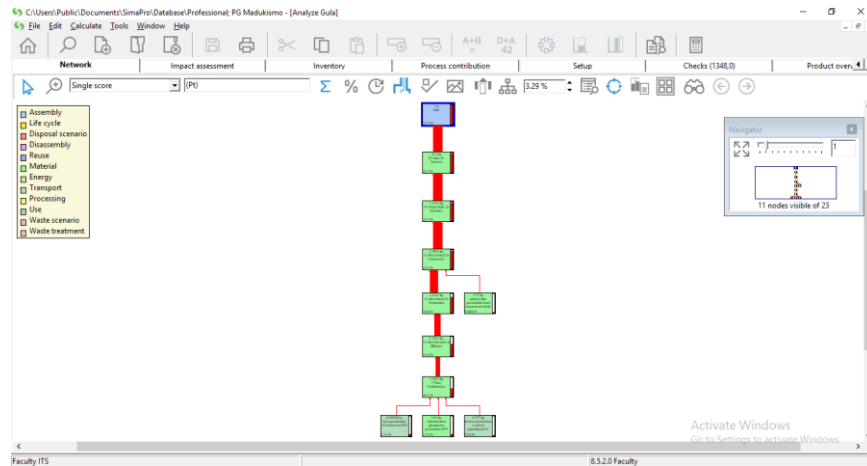
memperoleh penilaian dampak lingkungan berdasarkan *characterization*, *damage assessment*, *normalization*, *weighting*, dan *single score*. Fungsi ini dapat menyajikan penilaian berupa grafik maupun tabel data. Fungsi *compare* digunakan untuk membandingkan antara dua atau lebih produk, sehingga penilaian dampak antara dua atau lebih produk lebih mudah untuk dibandingkan dengan melihat grafik yang disajikan. Pada kolom *Method* dipilih metode Eco Indikator 99 (H) agar impact assessment dari proses dapat diketahui. Penggunaan metode ini yaitu karena metode yang sering digunakan. Kemudian klik *Calculate* pada pojok kanan bawah untuk melihat hasilnya. Pada Gambar 2.4 menunjukkan tampilan untuk memperoleh jaringan dari proses produksi.



Gambar 2. 4 Pengisian Data Untuk Memperoleh *Network* dari Proses

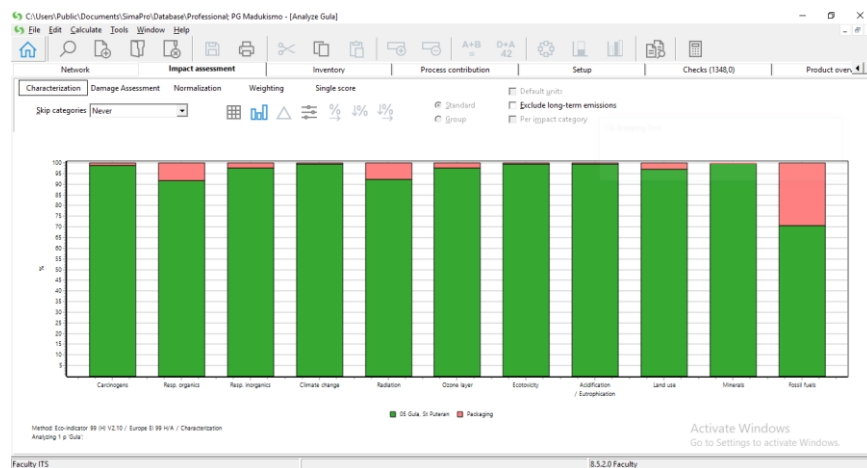
Pada kolom *node cut off* berisi nilai prosentase yang menunjukkan seberapa detail *network* disajikan. Penentuan nilai *cut off* tergantung dengan kebutuhan, semakin kecil *cut off* maka *network* yang dimunculkan akan semakin detail. Untuk Gambar 2.5 menunjukkan *cut off* sebesar 3.29%. Jika selanjutnya menekan *impact assesment*, maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2.6. Terdapat 4 tipe penilaian yang dapat dipilih yaitu *characterization*, *normalization*, *weighting*, dan *single score*. Tiga tipe pertama akan menampilkan grafik dengan sumbu X merupakan kategori dampak sedangkan sumbu Y merupakan nilainya dalam satuan Pt. Sedangkan untuk tipe *single score* akan menunjukkan nilai tunggal dari

setiap proses. Sehingga untuk sumbu X merupakan proses dan sumbu Y merupakan nilai kumulatif dari semua kategoridampak yang ditimbulkan dengan satuan Pt.



Gambar 2. 5 Contoh Hasil *Network* pada *SimaPro*

Pada Gambar 2.6 menampilkan contoh tampilan hasil *impact assessment* pada *software* SimaPro.



Gambar 2. 6 Contoh Hasil *Impact Assessment* pada *SimaPro*

- *Rekomendasi Usulan Perbaikan*

Pada tahap ini dilakukan penyusunan rekomendasi usulan perbaikan yang mempertimbangkan hasil penilaian dampak lingkungan. Dilihat kategori dan proses mana yang memberikan dampak terbesar bagi lingkungan. Kemudian dari keduanya dibuat rekomendasi perbaikan dengan

harapan dapat mengurangi dampak lingkungan. Setelah itu, dari tiap rekomendasai diuji kembali dengan menggunakan fungsi *compare* pada SimaPro untuk melihat perbandingan sebelum dan sesudah perbaikan.

3.2.4 Tahap Analisis dan Interpretasi Data

Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data yang dilakukan sebelumnya. Analisis yang dilakukan pada tahap ini meliputi analisis dampak lingkungan, serta analisis rekomendasi perbaikan. Analisis dampak lingkungan meliputi analisis dari tiap tipe *impact assessment* pada *software* SimaPro yaitu *characterization*, *damage assessment*, *normalization*, *weighting*, dan *single score*. Sedangkan analisis rekomendasi perbaikan berisi tentang analisis seberapa berpengaruh perbaikan terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proses produk PG Madukismo. Tiap analisis rekomendasai perbaikan juga menampilkan perbandingan *impact assessment* antara kondisi eksisting dengan kondisi perbaikan.

3.2.5 Tahap Penarikan Kesimpulan dan Penyusunan Saran

Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan. Tahap ini merupakan jawaban dari tujuan penelitian ini dilakukan. Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil analisis dan interpretasi data pada hasil penelitian yang sudah dilakukan. Selain itu pada tahap ini juga akan diberikan saran perbaikan untuk penelitian selanjutnya. Diharapkan hal tersebut dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian selanjutnya.

BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab 4 akan dijelaskan mengenai pengumpulan data penelitian yang meliputi gambaran umum perusahaan, identifikasi proses produksi, *life cycle assessment*, serta pengurangan dampak lingkungan.

4.1 Gambaran Umum Perusahaan

Perusahaan Gula (PG) Madukismo merupakan salah satu unit usaha PT Madubaru yang bergerak di bidang produksi gula pasir. Pabrik gula dibangun pada tahun 1955 atas prakarsa Sri Sultan Hamengku Buwono IX, perusahaan gula yang berlokasi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta ini mengemban tugas untuk mensukseskan program pengadaan pangan nasional, khususnya gula pasir. Saham PT. Madubaru sebesar 65% dimiliki oleh Sri Sultan Hamengku Buwono X (Keraton Ngayogyakarta Hadiningrat) dan 35% sisanya dimiliki oleh PT. Rajawali Nusantara Indonesia (RNI), yaitu salah satu BUMN milik Departemen Keuangan Republik Indonesia.

PT Madubaru memiliki dua jenis usaha yang dikelola yaitu pabrik gula (PG) Madukismo yaitu pabrik yang mengolah tanaman tebu menjadi produk gula pasir SHS (*Superior Head Sugar*). Sedangkan Pabrik Spiritus (PS) Madukismo bergerak dalam bidang produksi spirtus dan alkohol dengan bahan baku berupa hasil samping gula, yaitu tetes Produk gula dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan jenis kemasan. Produk gula yang pertama adalah gula curah yang dikemas dalam karung dengan berat 50 kg. Sedangkan produk kedua adalah gula retail yang dikemas dalam ukuran lebih kecil, yaitu ½ kg, 1 kg, dan 2 kg.

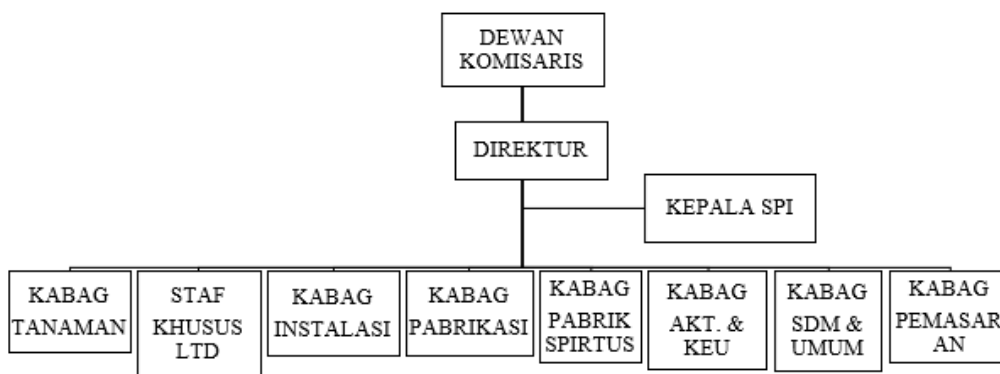
Visi PT Madubaru adalah “PT. Madubaru menjadi perusahaan Argo Industri yang unggul di Indonesia dengan petani sebagai mitra sejati.”

Misi PT Madubaru yaitu:

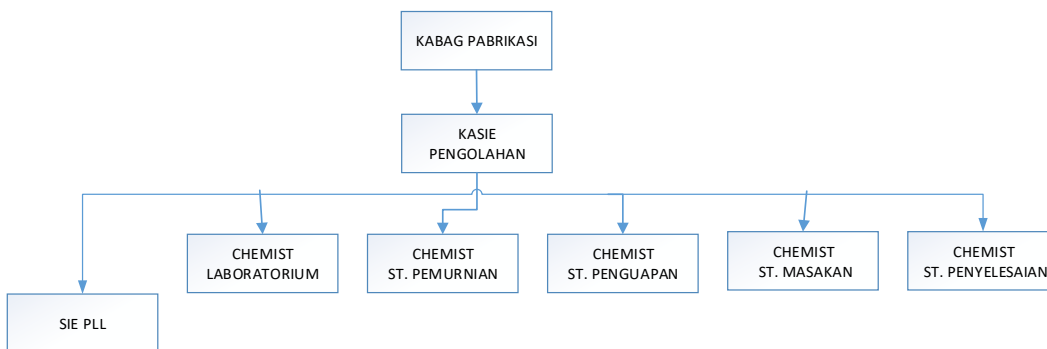
1. Menghasilkan gula dan ethanol yang berkualitas untuk memenuhi permintaan masyarakat dan industri di Indonesia.
2. Menghasilkan produk dengan memanfaatkan teknologi maju yang ramah lingkungan, dikelola secara profesional dan inovatif, memberikan

- elayanan yang prima kepada pelanggan serta mengutamakan kemitraan dengan petani
3. Mengembangkan produk/bisnis baru yang mendukung bisnis inti.
 4. Menempatkan karyawan dan *stakeholders* lainnya sebagai bagian terpenting dalam proses penciptaan keunggulan perusahaan dan pencapaian *share holder values*.

4.2 Struktur Organisasi Perusahaan



Gambar 4. 1 Struktur Organisasi PT Madubaru



Gambar 4. 2 Struktur Organisasi Bagian Pabrikasi

4.3 Proses Produksi Gula di PG Madukismo

Proses produksi gula pada pabrik gula Madukismo secara garis besar dibagi menjadi dua tahap. Pertama, tahap pertanian yang mencakup proses pembibitan

hingga menjadi tanaman tebu siap tebang. Kedua, tahap industri yang mencakup proses perubahan bahan mentah menjadi barang jadi berupa gula di area pabrikasi yang dibagi kedalam stasiun-stasiun kerja. Untuk menghubungkan antar kedua tahap tersebut, dibutuhkan elemen lain yaitu transportasi. Transportasi berfungsi memindahkan barang dari satu tempat ke tempat lain. Dalam hal ini memindahkan tebu dari area pertanian menuju area pabrikasi.

4.3.1 Tahap Pertanian

Tahap pertanian merupakan tahap awal produksi gula berupa aktivitas penanaman tebu. Tebu produksi PG Madukismo sebagian besar berasal dari Tebu Rakyat (TR). PG melakukan kerjasama dengan petani tebu rakyat yang disebut Kerjasama Tebu Rakyat (KTG). Dengan adanya kerjasama ini, tebu produksi pabrik di suplai dari tebu petani rakyat area Yogyakarta. Terdapat areal kebun bibit seluas 200 ha yang digunakan sebagai tempat pembibitan. Luasan areal KTG yaitu sekitar 2,533.98 ha dengan produksi 167,242.68 ton tebu. Sehingga rata-rata produksi sekitar 66 ton/ha. Aktivitas dalam tahap pertanian ini meliputi proses pembajakan lahan, pembibitan, penanaman, pemupukan, pemberian pestisida, irigasi, pencegahan hama dan penyakit, dan pemanenan. Upaya pembajakan lahan dibantu dengan alat berupa traktor. Pada tahap ini, diperlukan data Ecoinvent dari database Simapro. Data yang dibutuhkan meliputi data urea, potassium, dan *fertilizer*.

4.3.2 Tahap Industri

Tahap industri merupakan tahap pengolahan *raw material* berupa tebu dari tahap pertanian menjadi barang jadi berupa gula. Tahap ini terdiri dari beberapa proses yang dibagi ke dalam stasiun-stasiun. Stasiun tersebut meliputi stasiun gilingan, pemurnian, evaporator, masakan, putaran, penyelesaian, dan ketel. Setiap stasiun memiliki peran dan fungsi masing-masing dengan bekerja secara kontinyu. Pada musim giling 2017, pabrik beroperasi dari bulan Mei hingga September selama kurang lebih 153 hari. Pada Tabel 4.1 menampilkan data produksi PG Madukismo tahun 2017.

Tabel 4. 1 Data Produksi Tahun 2017 PG Madukismo

DATA PRODUKSI TAHUN 2017		
BULAN	TEBU GILING (ku)	GULA (ku)
MEI	686,969	36,935.0
JUNI	450,812	29,291.0
JULI	916,792	57,066.0
AGUSTUS	889,313	59,590.0
SEPTEMBER	331,998	23,085.0
JUMLAH	3,275,884	205,967.0

Pada penelitian ini, data yang digunakan sebagai *input* dan *output* pada *software* SimaPro yaitu tiap 1 ton gula pasir. Berikut ini merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan data per satu ton gula pasir:

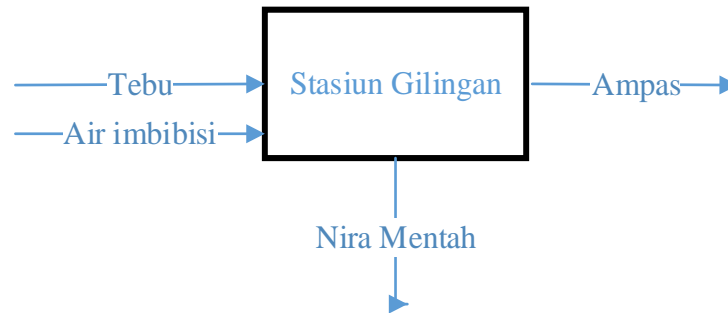
$$\begin{aligned}
 \text{Tebu yang dibutuhkan untuk membuat 1 ku gula pasir} &= \frac{\text{total tebu giling}}{\text{gula}} \\
 &= \frac{3,275,884}{205,967} \\
 &= 15.905 \text{ ku}
 \end{aligned}$$

Diperoleh hasil untuk memperoleh 1 kuintal gula pasir dibutuhkan tebu sebanyak 15.905 kuintal (15.905 ku tebu = 1 ku gula pasir). Karena bentuknya adalah persamaan, maka dengan mengganti satuan pada kedua ruas akan bernilai sama. Sehingga diperoleh nilai bahwa 15.905 ton tebu dapat menghasilkan 1 ton gula pasir. Perhitungan ini berlaku untuk menghitung semua kebutuhan material untuk mendapatkan 1 ton gula pasir pada tahap industri.

4.3.2.1 Stasiun Gilingan

Tebu dibawa dari perkebunan dengan lori, lalu masuk ke areal stasiun giling dengan sistem FIFO (*first in first out*). Stasiun gilingan terdiri dari 5 buah mesin giling, 1 buah penampung nira. Masing-masing mesin giling terdiri dari 3 buah rol, yaitu rol atas, bawah, dan belakang. Tebu digiling dari mesin giling 1 hingga 5 untuk memperoleh nira mentah hasil perahan serta ampas tebu. Pada mesin gilingan 5, ampas tebu ditambahkan air imbibisi dengan suhu sekitar 70-80⁰C dengan komposisi sekitar 20-30% berat tebu yang digiling. Air imbibisi berasal dari air

kondensasi. Penambahan air imbibisi berguna untuk melarutkan nira dalam ampas tebu sehingga dapat terperah secara maksimal. Selain itu, terjadi penambahan susu kapur atau CaO di tiap saluran nira guna menaikkan pH yaitu sekitar 5. Pada gambar 4.1 akan ditampilkan *material balance* dari stasiun gilingan:



Gambar 4. 3 *Material Balance* Stasiun Gilingan

Untuk mendapatkan 1 ton gula pasir pada stasiun penyelesaian PG Madukismo diperlukan sekitar 15.905 ton tebu untuk digiling, tabel 4.1 merupakan rekap *input* dan *output* dari stasiun gilingan:

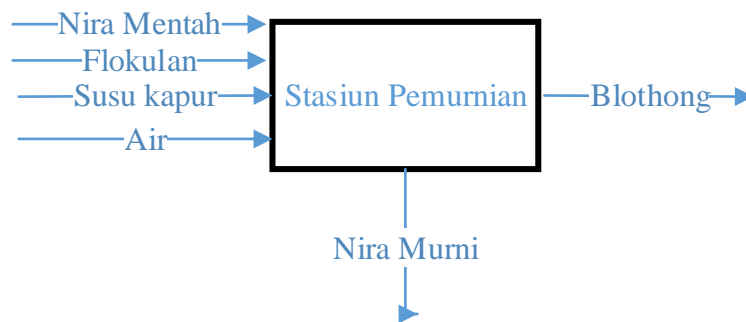
Tabel 4. 2 *Life Cycle Inventory* Stasiun Gilingan

INPUT			OUTPUT		
MATERIAL	JUMLAH	SATUAN	MATERIAL	JUMLAH	SATUAN
Tebu	15.905	Ton	Nira mentah	15.150	Ton
Air imbibisi/air kondensasi	4.771	Ton	Ampas	5.133	Ton
Air	0.56	Ton	Uap	2.476	Ton
Listrik	22.202	kWh			
Uap	2.134	Ton			

Pada stasiun giling selain menghasilkan nira mentah juga menghasilkan *waste* berupa ampas. Ampas dapat digunakan menjadi bahan bakar stasiun ketel untuk menghasilkan energi listrik yang menyuplai kebutuhan listrik seluruh pabrik. Sehingga pemakaian listrik dari PLN dapat dihindari. Dengan begitu, stasiun giling memiliki *avoided product* atau produk yang dihindari berupa listrik PLN serta panas akibat dari penggunaan listrik PLN yang bersumber dari batubara.

4.3.2.2 Stasiun Pemurnian

Pemurnian bertujuan untuk memisahkan kotoran dan zat-zat bukan gula yang terkandung dalam nira mentah. Nira mentah ditimbang dengan ditambahkan asam fosfat (H_3PO_4). Kemudian nira dipanaskan pada suhu sekitar $70-75^{\circ}C$. Pada stasiun pemurnian, nira mentah tertimbang ditambahkan susu kapur ($Ca(OH)_2$), flokulan, dan gas SO_2 . Penambahan komponen tersebut bertujuan untuk mengendapkan kotoran dalam nira mentah serta menetralkan pH nira agar kandungan monosakrida dan sukrosa dalam nira tidak rusak. Gambar 4.2 akan menunjukkan *material balance* pada stasiun pemurnian.



Gambar 4. 4 *Material Balance* Stasiun Pemurnian

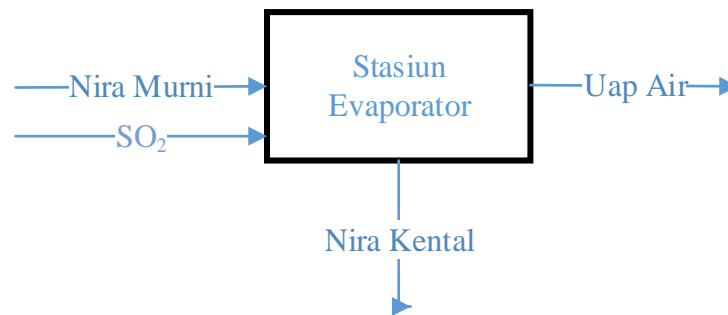
Untuk menghasilkan 1 ton gula pasir, diperlukan *input* pada stasiun pemurnian seperti pada tabel 4.2

Tabel 4. 3 *Life Cycle Inventory* Stasiun Pemurnian

<i>INPUT</i>			<i>OUTPUT</i>		
MATERIAL	JUMLAH	SATUAN	MATERIAL	JUMLAH	SATUAN
Nira mentah	15.150	Ton	Nira murni	12.726	Ton
Flokulan	0.000048	Ton	Blothong	4.119	Ton
$Ca(OH)_2$	0.0191	Ton	Air kondensasi	3.409	Ton
H_3PO_4	0.00191	Ton			
Air	1.755	Ton			
Listrik	50.475	kWh			
Air kondensasi	0.305	Ton			
Uap	2.570	Ton			

4.3.2.3 Stasiun Evaporator

Pada stasiun evaporator terjadi proses penguapan air yang terkandung dalam nira murni. Penguapan dilakukan sampai nira mendekati jenuh dengan kadar brix 60-64. PG Madukismo memiliki 5 buah evaporator, dengan rincian 4 buah evaporator berjalan seri secara kontinyu sedangkan 1 buah digunakan sebagai *backup* jika terjadi kerusakan ataupun sedang dalam pembersihan. Pembersihan evaporator dilakukan dengan memanaskan NaOH pada suhu tertentu sehingga kerak atau plak pada dinding evaporator dapat terkikis. Nira keluaran dari evaporator berwarna gelap sehingga diperlukan gas SO₂ sebagai pemucat dan penurun pH sebelum masuk pada stasiun masakan. Gambar 4.3 menunjukkan *material balance* dari stasiun evaporator.



Gambar 5. 1 *Material Balance* Stasiun Evaporator

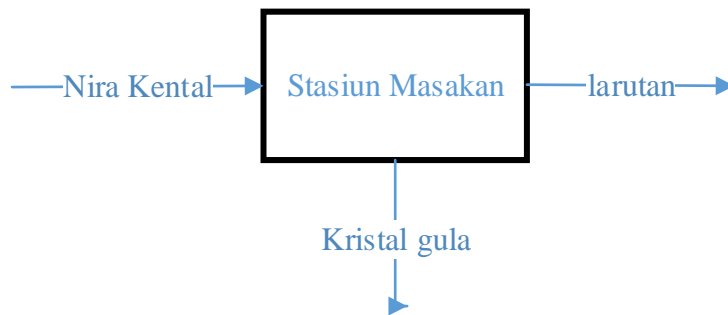
Tabel 4.3 akan ditampilkan *input* dan *output* dari stasiun evaporator untuk menghasilkan 1 ton gula.

Tabel 4. 4 *Life Cycle Inventory* Stasiun Evaporator

<i>INPUT</i>			<i>OUTPUT</i>		
MATERIAL	JUMLAH	SATUAN	MATERIAL	JUMLAH	SATUAN
Nira murni	12.726	Ton	Nira kental	2.591	Ton
NaOH	0.0477	Ton	Uap air	3.378	Ton
SO ₂	0.00477	Ton	Air kondensasi	12.508	Ton
Listrik	31.038	kWh			
Air	76.420	Ton			
Uap	6.306	Ton			

4.3.2.4 Stasiun Masakan

Stasiun masakan merupakan tempat proses kristalisasi nira yang bertujuan untuk mengkristalkan molekul sukrosa pada nira kental. Pemasakan dilakukan dengan menggunakan uap vakum dengan tekanan dibawah atmosfer (65 mmHg) sehingga suhu dididhnya 65⁰C. Pemasakan ini menyebabkan brix gula naik dari 66 menjadi 90. Hasil masakan merupakan campuran kristal gula dan larutan (*stroop*). PG Madukismo menggunakan sistem A-C-D, gula A sebagai produk, sedangkan C dan D dipakai sebagai bibit serta dilebur untuk dimasak kembali. Gambar 4.4 akan menampilkan *material balance* pada stasiun masakan.



Gambar 4. 5 *Material Balance* Stasiun Masakan

Tabel 4.4 berikut ini akan menampilkan *input* dan *output* dari stasiun masakan tiap 1 ton gula yang dihasilkan.

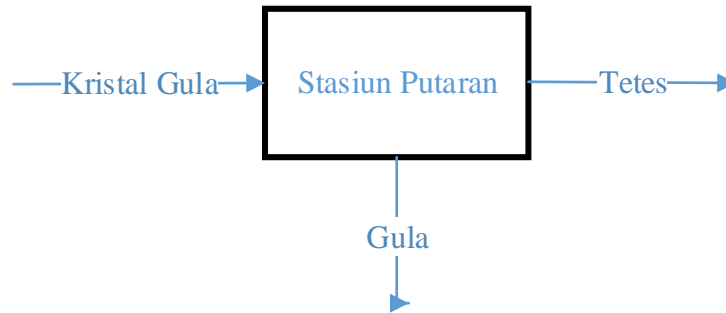
Tabel 4. 5 *Life Cycle Inventory* Stasiun Masakan

INPUT			OUTPUT		
MATERIAL	JUMLAH	SATUAN	MATERIAL	JUMLAH	SATUAN
Nira kental	2.591	Ton	Kristal gula	1.111	Ton
Air kondensasi	0.228	Ton	Air kondensasi	1.586	Ton
Uap	1.586	Ton			
Listrik	46.415	kWh			
Air	32.508	Ton			

4.3.2.5 Stasiun Putaran

Stasiun putaran berfungsi memisahkan kristal gula dari stroop, klare, dan tetes. Pemisahan dilakukan dengan menggunakan mesin pemisash (*centrifuge*)

yang terdiri dari basket saring yang berputar dengan kecepatan putaran tertentu. Untuk putaran masakan A kecepatan putaran diatur sebesar 950 rpm. Untuk memurnikan kristal gula dilakukan dengan membasahi kristal gula dengan larutan sukrosa jenuh kemudian diputar kembali. Gambar 4.5 menunjukkan *material balance* dari stasiun putaran.



Gambar 4. 6 *Material balance* Stasiun Putaran

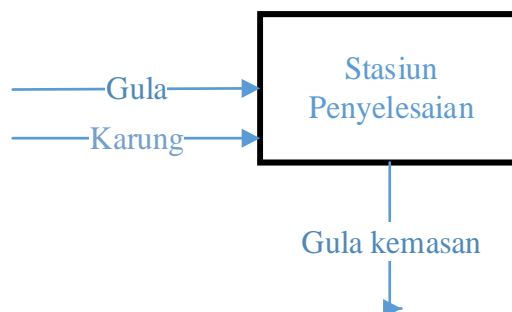
Tabel 4. 6 *Life Cycle Inventory* Stasiun Putaran

INPUT			OUTPUT		
MATERIAL	JUMLAH	SATUAN	MATERIAL	JUMLAH	SATUAN
Kristal gula	1.111	Ton	Gula (shs)	1.000	Ton
Air kondensasi	0.004	Ton	Tetes	0.533	Ton
Listrik	13.776	kWh	Uap	0.107	Ton
Uap	0.107	TON			

4.3.2.6 Stasiun Penyelesaian

Gula hasil putaran SHS masih bercampur antara gula halus dan gula kasar dengan suhu yang masih tinggi dan teksturnya masih basah. Suhu yang tinggi dan tekstur basah ini disebabkan oleh pemberian air panas dan uap baru selama proses sentrifugasi. Sebelum gula digudangkan dilakukan beberapa *treatment*, pengeringan dan penyaringan. Proses pengeringan gula di PG. Madukismo dilakukan dengan alat pengering dan sebagai pengeringnya adalah udara kering yang mengalir. Hasil dari proses pengeringan adalah gula kristal putih kering yang tidak lengket. Gula kemudian didinginkan di talang getar (saringan getar). Gumpalan gula yang tertahan di talang getar akan ditampung kemudian dilebur untuk diproses lagi. Sedangkan gula yang tersaring akan dimasukkan ke dalam

cillo. Didalam *cillo* gula dipisahkan antara gula normal dengan gula halus. Gula halus dilebur dan diproses kembali. Sementara gula normal dikirim ke gudang gula dan dikemas dalam kemasan 50 kg.



Gambar 4. 7 *Material Balance* Stasiun Penyelesaian

Tabel 4. 7 *Life Cycle Inventory* Stasiun Penyelesaian

INPUT			OUTPUT		
MATERIAL	JUMLAH	SATUAN	MATERIAL	JUMLAH	SATUAN
Sak 50 kg	300	gr	Gula kemasan	2	sak
Konveyor	5	m			
Uap	0.0002245	ton			
Listrik	0.000004	kWh			

4.3.2.7 Stasiun Ketel

Ampas tebu merupakan salah satu hasil samping produksi tebu. Ampas berupa serat tebu yang rendah akan kadar gula dan air digunakan sebagai bahan bakar stasiun ketel. Tujuannya agar memanaskan air sehingga menghasilkan uap (*steam*). *Steam* yang terbentuk terdiri dari *superheated steam* dan *exhausted steam*. *Superheated steam* digunakan sebagai penggerak turbin yang menghasilkan energi mekanik, kemudian diubah menjadi energi listrik pada generator. Sedangkan *exhausted steam* disuplai ke mesin-mesin pabrikasi seperti pada mesin giling, evaporator, masakan, dan puteran untuk menjalankan mesin-mesin pabrikasi.

Kebutuhan listrik PG. Madukismo saat musim giling diperoleh dari generator yang digerakkan oleh turbin uap, sedangkan diluar musim giling generator akan digerakkan oleh mesin diesel. Hasil tenaga listrik yang diperoleh dari generator uap digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik di area pabrikasi maupun area kantor.

Generator uap yang digunakan berjumlah 3 buah. Tenaga uapnya diperoleh dari ketel uap (*boiler*) yang dimiliki oleh PG. Madukismo. Ada dua macam boiler yang digunakan sebagai tenaga uap, yaitu boiler lama dan boiler chen-cheng. Boiler ini menggunakan bahan bakar FO (*fuel oil*), kayu bakar, dan ampas tebu. Spesifikasi dan kapasitas boiler yang digunakan PG. Madukismo adalah sebagai berikut :

a. Boiler lama

Fungsi	: Menghasilkan uap dari pemanasan air
Jumlah	: 5 buah
Kapasitas	: 16 ton uap per jam masing-masing
Luas permukaan	: 440 m ²
Tekanan uap	: 17 atm
Temperature uap	: 325-350°C
Diameter pipa air	: Dalam 0,76 m dan luas 0,83 m ²

b. Boiler Chen-Cheng

Fungsi	: Menghasilkan uap dari pemanasan air
Jumlah	: 1 buah
Luas permukaan	: 1125 m ²
Tekanan uap	: 15,4 atm
Temperature uap	: 325°C
Diameter pipa air	: 5 cm

Unit pembangkit listrik yang digunakan berupa turbin, generator, dan diesel generator. Spesifikasi unit pembangkit tenaga listrik ini adalah sebagai berikut :

a. Turbin

Jumlah	: 3 buah
Kapasitas	: 1280 kVA masing-masing
Tekanan uap	: 14,8 atm
Temperature uap	: 320°C
Kecepatan motor	: 1500-6000 rpm
Tekanan uap bekas	: 0,8-1,0 kg/cm ²

b. Generator

Jumlah	: 3 buah
Daya	: 16 kW, 280 A, 50 Hz, dan 1500 rpm

c. Diesel generator

- Jumlah : 5 buah
- Jumlah silinder : 6 buah
- Kecepatan piston : 6 m / detik
- Daya : 221 kW

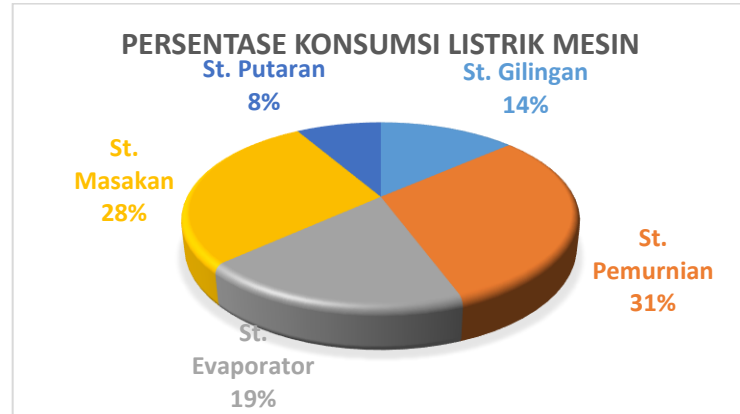
Untuk dapat memproduksi sekitar 1 ton gula pasir maka dibutuhkan masukan sebagai berikut:

Tabel 4. 8 *Life Cycle Inventory* Stasiun Ketel

Proses	INPUT			OUTPUT		
	Material	Jumlah	Satuan	Material	Jumlah	Satuan
Boiler	Blothong	4.32	ton	Uap panas	5.59	ton
	Kayu bakar	0.028	ton			
	<i>Fuel oil</i>	3	liter			
	Air Kondensasi	3.45	ton			
	Air	0.156	ton			
Generator	Uap panas	1.54	ton	Listrik	143	kWh
				Uap	1.54	ton
Turbin	Uap panas	1	ton	Uap	1	ton

Penggunaan listrik pada masing-masing stasiun bervariasi tergantung pada spesifikasi mesin, jumlah mesin, efisiensi mesin, maupun waktu operasi mesin. PG Madukismo menyatakan bahwa keseluruhan penggunaan listrik area pabrikasi bersumber dari pembangkit uap milik pabrik. Potensial daya listrik yang dari pembangkit tersebut sekitar 3,975 MW (megawatt) atau setara 3,975,000 kWh. Dengan utilitas listrik pada area pabrikasi sekitar 2,918,652.69 kWh. Persentase konsumsi listrik masing-masing mesin disajikan dalam Gambar 4.8. Air juga merupakan energi yang utama dalam keberlangsungan produksi gula. Semua stasiun kerja membutuhkan air guna pendinginan mesin, air flokulan, dididihkan untuk stasiun ketel, dan sebagainya. Air yang digunakan PG Madukismo berasal dari air sungai di area sekitar yang terlebih dahulu diolah. Selain itu proses produksi

gula juga memanfaatkan air kondensasi berupa air bersih untuk diproses pada stasiun ketel.



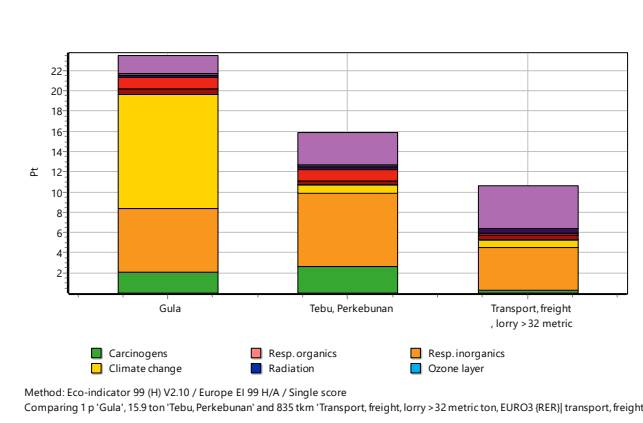
Gambar 4. 8 Persentase Konsumsi Listrik Mesin

4.4 Life Cycle Assessment PG Madukismo

Melalui tahapan-tahapan *life cycle assessment*, maka akan diperoleh hasil berupa *inventory result*, *impact assessment* dan *life cycle interpretation* yaitu sebagai berikut:

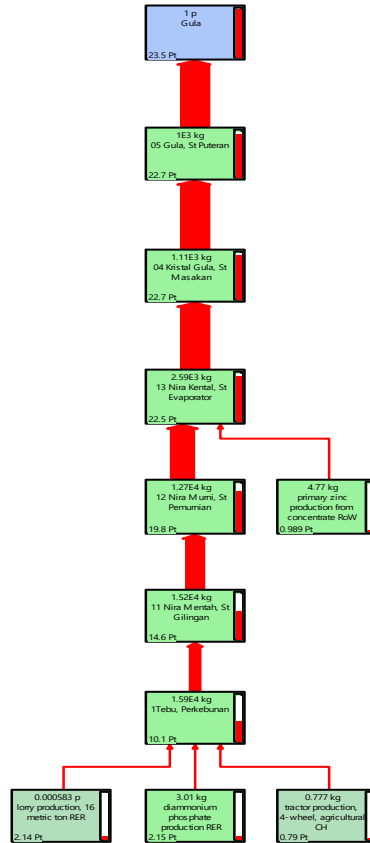
4.4.1 Inventory Results

Setelah mengumpulkan data berupa informasi tentang *inventory* pada masing-masing proses sesuai dengan tujuan dan batasan. Data berupa *input* dan *output* material dimasukkan kedalam *software* Simapro sehingga diperoleh hasil *single score* pada Gambar 4.9



Gambar 4. 9 Single Score Dampak Lingkungan dari Proses Produksi Gula

Pada Gambar 4.10 menunjukkan *Network* untuk mendapatkan gula kemasan yang terdiri dari berbagai proses.



Gambar 4. 10 *Network* Gula Kemasan

Pada Tabel 4.9 berikut berisi mengenai data *single score* dampak lingkungan dari proses produksi Gula:

Tabel 4. 9 *Single Score* Dampak Lingkungan dari Proses Produksi Gula

<i>Impact category</i>	Unit	Gula (Tahap Industri)	Tebu Perkebunan (Tahap Pertanian)	Transportasi
<i>Total</i>	Pt	23.5	15.9	10.6
<i>Carcinogens</i>	Pt	2.08	2.6	0.261
<i>Resp. organics</i>	Pt	0.00761	0.00344	0.00533
<i>Resp. inorganics</i>	Pt	6.28	7.3	4.29
<i>Climate change</i>	Pt	11.3	0.801	0.7

<i>Impact category</i>	Unit	Gula (Tahap Industri)	Tebu Perkebunan (Tahap Pertanian)	Transportasi
<i>Radiation</i>	Pt	0.00374	0.00524	0.00658
<i>Ozone layer</i>	Pt	0.000173	0.000391	0.000692
<i>Ecotoxicity</i>	Pt	0.512	0.391	0.469
<i>Acidification/ Eutrophication</i>	Pt	1.15	1.16	0.214
<i>Land use</i>	Pt	0.16	0.625	0.463
<i>Minerals</i>	Pt	0.187	0.145	0.0147
<i>Fossil fuels</i>	Pt	1.81	3.22	4.23

Dari Gambar 4.9 dan Tabel 4.9 telah ditunjukkan total dampak lingkungan dari masing-masing tahap. Yaitu berturut-turut tahap industri 23.5Pt, tahap pertanian 15.9Pt, dan transportasi 10.6Pt. Dari ketiga tahap ini tahap industri merupakan tahap yang memiliki dampak terbesar. Sehingga perlu dilakukan pengkajian kembali dengan cara *breakdown* proses-proses yang ada didalamnya.

Dari kesebelas kategori dampak yang ada, dampak yang nilainya terbesar yaitu *climate change* (perubahan iklim). Sehingga kategori ini dapat digunakan sebagai acuan untuk membuat rekomendasi perbaikan.

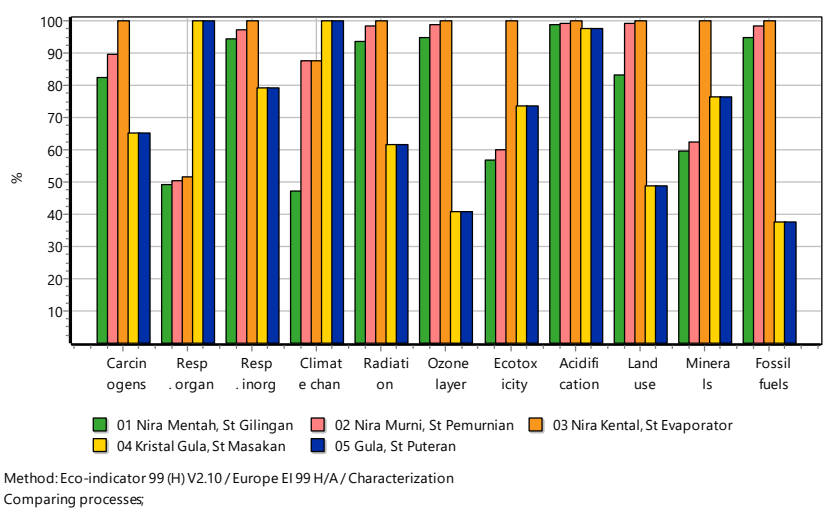
4.4.2 Impact Assessment

Tahap *impact assessment* atau penilaian dampak didasarkan pada hasil dari *life cycle inventory*. Tahap industri merupakan tahap yang berpengaruh besar, maka tiap-tiap prosesnya dilakukan perbandingan proses agar dapat diketahui proses yang menyumbang dampak terbesar.

4.4.2.1 Characterization

Dengan menggunakan metode *Eco Indicator 99* (H), maka diperoleh hasil berdasarkan 11 kategori yaitu *carcinogens*, *respiratory organics*, *respiratory inorganics*, *climate change*, *radiation*, *ozone layer*, *ecotoxicity*, *acidification*, *land use*, *minerals*, dan *fossil fuels*. *Characterization* memunculkan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori dampak berdasarkan faktor karakteristik

dari proses produksi gula. Pada Gambar 4.11 menunjukkan *characterization* penilaian dampak lingkungan.



Gambar 4. 11 *Characterization* dari *Impact Assessment* Per Satu Ton Gula

Pada Tabel 4.10 menunjukkan detail dari Gambar 4.11 yang berupa angka seperti berikut:

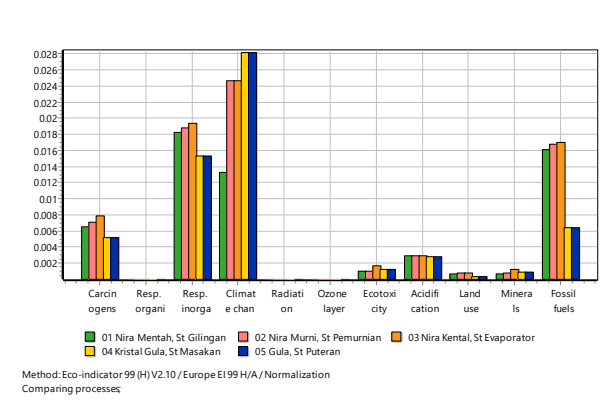
Tabel 4. 10 *Characterization* dari *Impact Assessment* Per Satu Ton Gula

<i>Impact category</i>	Unit	St Gilingan	St Pemurnian	St Evaporator	St Masakan	St Puteran
<i>Carcinogens</i>	DALY	3.76E-09	4.86E-06	4.86E-06	4.05E-05	4.50E-05
<i>Resp. organics</i>	DALY	4.97E-12	6.06E-09	3.05E-08	1.38E-07	1.53E-07
<i>Resp. inorganics</i>	DALY	1.06E-08	1.30E-05	6.54E-05	0.0001	0.0001
<i>Climate change</i>	DALY	7.69E-09	1.70E-05	8.36E-05	2.20E-04	2.00E-04
<i>Radiation</i>	DALY	7.58E-12	9.47E-09	4.70E-08	6.81E-08	7.57E-08
<i>Ozone layer</i>	DALY	5.60E-13	7.01E-10	3.49E-09	3.33E-09	3.70E-09
<i>Ecotoxicity</i>	PDF*m2yr	0.00369	4.65	38.1	65.4	72.7
<i>Acidification/ Eutrophication</i>	PDF*m2yr	0.00011	1.31	6.48	14.7	16.4
<i>Land use</i>	PDF*m2yr	0.00025	0.355	1.76	2	2.22
<i>Minerals</i>	MJ Surplus	0.000362	0.451	3.56	6.33	7.03
<i>Fossil fuels</i>	MJ Surplus	0.0082	9.93	49.5	43.3	48.1

Pada tabel 4.10 menunjukkan bahwa kategori dampak climate change terbesar yaitu terdapat pada stasiun masakan yaitu sebesar 2.20E-04 DALY. Selain itu juga kategori *ecotoxicity* terbesar yaitu pada stasiun masakan sebesar 65.4 PDF*m2yr

4.4.2.2 Normalization

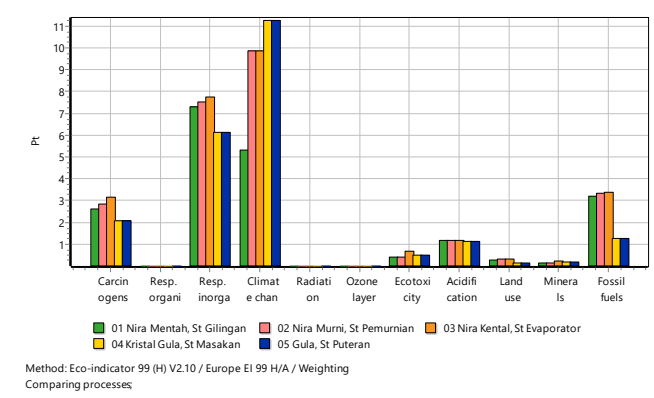
Normalization merupakan tahap yang dapat membandingkan kategori dampak satu dengan yang lainnya. Sehingga dapat terlihat kategori *impact* yang bernilai besar. Berikut ini Gambar 4.12 menunjukkan hasil *normalization* dari penilaian dampak lingkungan gula:



Gambar 4. 12 *Normalization* dari *Impact Assessment* Per Satu Ton Gula

4.4.2.3 Weighting

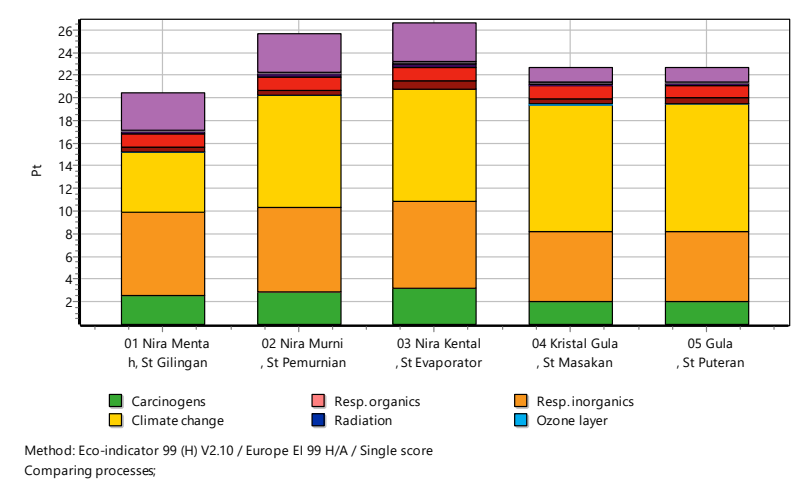
Untuk membandingkan berbagai potensi dampak lingkungan, penilaian harus dibuat dengan kategori relatif terhadap satu sama lain. Pembobotan dapat dilakukan dengan mengalikan hasil normalisasi nilai potensial oleh faktor bobot.



Gambar 4. 13 *Weighting* dari *Impact Assessment* Per Satu Ton Gula

4.2.4 Single Score

Setelah dilakukan pembobotan, kategori dampak di konversi ke nilai tunggal/single score. Gambar 4.15 menunjukkan bagan *single score* dari *impact assessment* per satu ton gula:



Gambar 4. 14 *Single score* dari *Impact Assessment* Per Satu Ton Gula

Dari Gambar 4.16 dapat dijelaskan menggunakan angka pada tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4. 11 *Single score* dari *Impact Assessment* Per Satu Ton Gula

<i>Impact category</i>	Unit	St Gilingan	St Pemurnian	St Evaporator	St Masakan	St Puteran
<i>Total</i>	Pt	20.4	25.6	26.6	22.7	22.7
<i>Carcinogens</i>	Pt	2.6	2.82	3.15	2.05	2.05
<i>Resp. organics</i>	Pt	0.00344	0.00352	0.00361	0.00697	0.00698
<i>Resp. inorganics</i>	Pt	7.3	7.53	7.74	6.12	6.13
<i>Climate change</i>	Pt	5.32	9.86	9.89	11.2	11.3
<i>Radiation</i>	Pt	0.00524	0.0055	0.0056	0.00345	0.00345
<i>Ozone layer</i>	Pt	0.000391	0.000407	0.000412	0.00016	0.00016
<i>Ecotoxicity</i>	Pt	0.391	0.413	0.69	0.507	0.508
<i>Acidification / Eutrophication</i>	Pt	1.16	1.17	1.17	1.14	1.15
<i>Land use</i>	Pt	0.625	0.316	0.319	0.155	0.155

<i>Impact category</i>	Unit	St Gilingan	St Pemurnian	St Evaporator	St Masakan	St Puteran
<i>Minerals</i>	Pt	0.145	0.152	0.244	0.186	0.186
<i>Fossil fuels</i>	Pt	3.22	3.35	3.4	1.27	1.28

Setelah diperoleh hasil *software* Simapro pada pengolahan data , diketahui bahwa *climate change* (perubahan iklim) merupakan dampak terbesar yang akan muncul akibat proses produksi gula. Yang memiliki dampak terbesar pada stasiun evaporator, pemurnian, puteran, masakan, dan gilingan.

4.4.3 Life Cycle Interpretation

Setelah melakukan penilaian dampak lingkungan dengan menggunakan *software* Simapro maka dibuatlah rekomendasi perbaikan berupa:

1. Alternatif pemanfaatan limbah blotong, ampas, dan tetes menjadi biobriket. Biobriket dapat mengurangi adanya limbah dari produksi tebu. Selain itu biobriket memiliki nilai sebagai energi alternatif pengganti kayu bakar maupun gas untuk keperluan rumah tangga.
2. Alternatif pengurangan bahan bakar diesel dengan memanfaatkan ampas tebu sebagai bioetanol. Emisi berupa gas CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar solar cukup besar. Sehingga penggunaan bahan bakar diesel menjadi penyumbang terbesar adanya dampak berupa pemanasan global.

Kedua alternatif ini dibuat berdasarkan pertimbangan dampak lingkungan yang ditimbulkan. Pertama, mempertimbangkan stasiun yang berdampak besar pada lingkungan. Stasiun puteran berdampak sekitar 22.7Pt/ton gula, dari limbah yang dihasilkan kemudian dapat mengurangi *waste* yang ada. Kedua, lebih memperhatikan dampak berupa *climate change*. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar diesel diharapkan dapat mengurangi produksi CO₂ dan menurunkan risiko dampak perubahan iklim.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

ANALISA DATA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisa dan pembahasan dari pengolahan data pada Bab 4.

5.1 Analisa Dampak Lingkungan

Dampak lingkungan yang terjadi didasarkan pada penilaian dampak lingkungan pada *software* Simapro. Berikut ini merupakan analisa dari tiap tahap penilaian dampak

5.1.1 Analisa Characterization

Dengan menggunakan metode Eco Indicator 99 kategori dampak yang ada yaitu *carcinogens, respiratory organics, respiratory inorganics, climate change, radiation, ozone layer, ecotoxicity, acidification, land use, minerals, dan fossil fuels*. Kategori dampak terbesar hingga terkecil berturut-turut yaitu *fossil fuels, minerals, land use, acidification, ecotoxicity, ozone layer, radiation, climate change, respiratory inorganics, respiratory organics, carcinogens*. Penyumbang terbesar dari keseluruhan kategori dampak lingkungan yaitu gula. Kerugian dampak lingkungan yang terjadi dikelompokkan menjadi 3 yaitu kerugian terhadap kesehatan manusia (*human health*), kerugian terhadap kualitas ekosistem (*Ecosystem quality*), dan kerugian terhadap sumber daya (*resources*). Kerugian dampak lingkungan terhadap kesehatan manusia yaitu *carcinogens, respiratory organic, respiratory inorganic, climate change, radiation, dan ozone layer*. Kerugian dampak lingkungan terhadap kualitas ekosistem yaitu *ecotoxicity, acidification, dan land use*. Kerugian dampak lingkungan terhadap sumber daya meliputi kategori *minerals dan fossil fuels*. Berikut ini merupakan analisa tiap kategori dampak lingkungan:

1. *Carcinogens*, merupakan jenis kategori dampak lingkungan yang menjadi salah satu pemicu penyakit kanker. Salah satu penyebab munculnya dampak *carcinogens* yaitu akibat penggunaan asam fosfat (H_3PO_4) pada proses pemurnian gula.

2. *Respiratory organics*, merupakan suatu efek pada saluran pernapasan akibat substansi organik. Penggunaan belerang merupakan salah satu pemicu adanya dampak *respiratory organics*.
3. *Respiratory Inorganics*, , merupakan suatu efek pada saluran pernapasan akibat substansi inorganik. Penggunaan belerang merupakan salah satu pemicu adanya dampak *respiratory organics*
4. *Climate change*, merupakan perubahan iklim pada periode waktu tertentu yang disebabkan oleh aktivitas-aktivitas manusia. Penyebab terjadi perubahan iklim yaitu penggunaan bahan bakar berupa ampas tebu dan kayu bakar untuk memanaskan boiler, penggunaan susu kapur (CaO)
5. *Radiation*, dapat berdampak pada kesehatan manusia.
6. *Ozone layer depletion*, merupakan penipisan lapisan ozon .
7. *Ecotoxicity*, merupakan dampak lingkungan yang berasal dari tanah, air laut, dan air tawar. Hal ini disebabkan adanya zat-zat kimia maupun logam yang mempengaruhi ketiga lokasi tersebut. Penggunaan CaO, fertiliser nitrogen, serta belerang merupakan pemicu dari dampak ini.
8. *Acidification*, merupakan proses turunnya kadar pH air laut akibat penyerapan karbondioksida di atmosfer yang dihasilkan dari kegiatan manusia. Pemicu dampak ini salah satunya penggunaan belerang.
9. *Minerals*, merupakan kategori dampak lingkungan yang berhubungan dengan adanya bahan galian berupa mineral.
10. *Land use*, merupakan dampak terhadap tanah yang disebabkan karena aktivitas pertanian. Pemicunya yaitu karena penggunaan pupuk yang mempengaruhi kinerja tanah, penggunaan asam phosphat.
11. *Fossil fuels*, merupakan kategori dampak lingkungan yang disebabkan karena penggunaan bahan bakar fosil. Salah satu penyebabnya yaitu penggunaan truk sebagai alat transportasi tebu.

5.1.2 Analisa *Single Score*

Hasil *software* Simapro pada pengolahan data sub bab 4.4.2.5, menunjukkan dampak lingkungan yang ditimbulkan pada masing-masing proses. Stasiun evaporator memiliki dampak terbesar yaitu sebesar 26.6Pt. Kedua, stasiun

pemurnian sebesar 25.6Pt, diikuti stasiun masakan dan stasiun puteran yang bernilai 22.7 Pt, kemudian yang terakhir yaitu stasiun gilingan dengan dampak 20.4Pt. *Climate change* (perubahan iklim) merupakan dampak terbesar yang akan muncul akibat proses produksi gula.

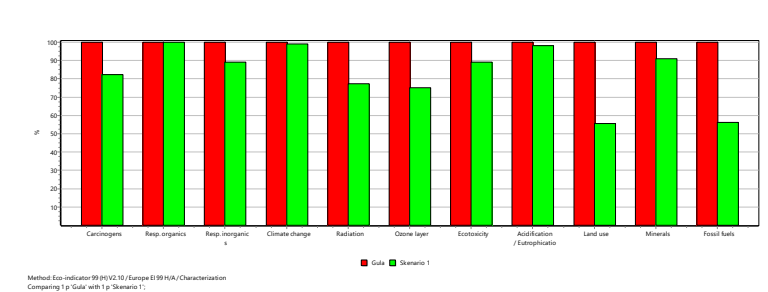
5.2 Analisa Skenario

Skenario dibuat sebagai rekomendasi perbaikan yang kemudian diuji kembali dampaknya dengan menggunakan *software* Simapro.

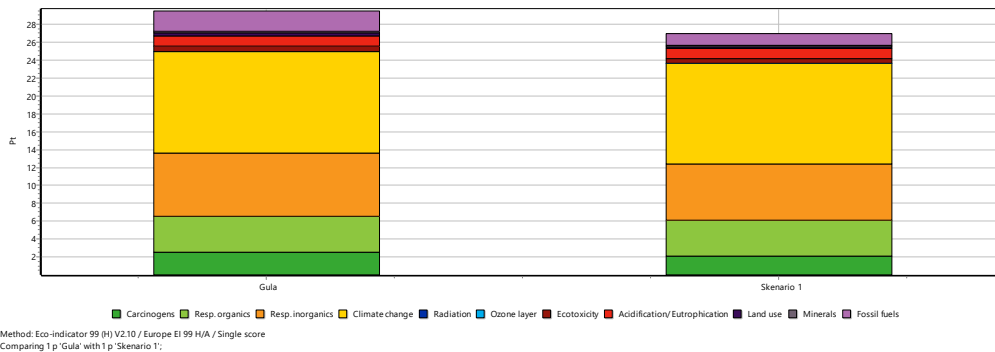
5.2.1 Skenario 1 (Pemanfaatan limbah blotong)

Skenario 1 merupakan upaya pemanfaatan limbah blotong menjadi biobriket. Biobriket merupakan energi alternatif yang biasanya berasal dari limbah-limbah organik. Biobriket dapat dibuat dengan mencampur limbah dari tebu berupa blotong, ampas, dan tetes. Biobriket dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar yang digunakan masyarakat sebagai pengganti kayu bakar ataupun gas elpiji.

Skenario 1 ini diusulkan karena pemanfaatan limbah berupa blotong belum dilakukan secara maksimal. Blotong biasanya dimanfaatkan oleh petani menjadi pupuk kompos, namun kapasitas blotong yang dapat diubah menjadi pupuk hanya sekitar 75% dari volume blotong. Hal ini disebabkan karena kapasitas produksi pupuk yang masih kecil. Sehingga sisa dari limbah blotong dapat digunakan menjadi sumber energi lain yang memiliki nilai tambah, yaitu salah satunya biobriket. Pemanfaatan limbah blotong secara langsung akan mengurangi dampak lingkungan berupa *waste*. Gambar berikut ini merupakan hasil perbandingan kategori dampak antara keadaan eksisting dengan skenario 1.



Gambar 5 1 *Characterization* Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 1



Gambar 5 2 *Single Score* Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 1.

Tabel 5. 1 *Single Score* Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 1

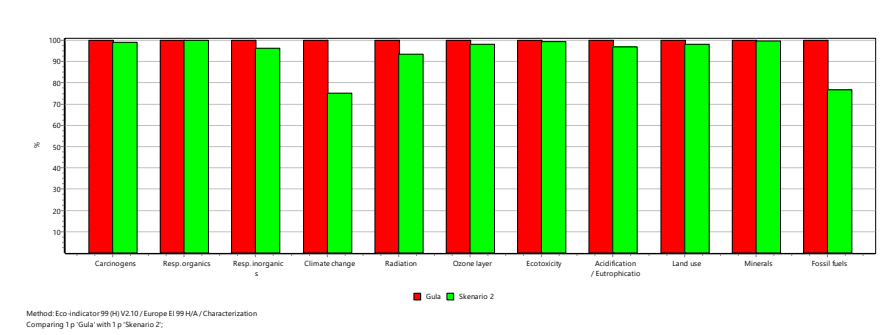
<i>Impact category</i>	Unit	Produk Gula	Skenario 1
<i>Total</i>	Pt	23.5	20.8
<i>Carcinogens</i>	Pt	2.08	2.05
<i>Resp. organics</i>	Pt	0.00761	0.00761
<i>Resp. inorganics</i>	Pt	6.28	6.25
<i>Climate change</i>	Pt	11.3	9.3
<i>Radiation</i>	Pt	0.00374	0.00345
<i>Ozone layer</i>	Pt	0.000173	0.000169
<i>Ecotoxicity</i>	Pt	0.512	0.508
<i>Acidification/ Eutrophication</i>	Pt	1.15	1.15
<i>Land use</i>	Pt	0.28	0.155
<i>Minerals</i>	Pt	0.205	0.186
<i>Fossil fuels</i>	Pt	2.28	1.28

Terjadi penurunan dampak lingkungan yang timbul dari keadaan produk gula eksisting dengan skenario 1 yaitu pemanfaatan blotong. Pemanfaatan blotong ini memberikan efek berupa penurunan dari 23.5 Pt/ton gula menjadi 20.8 Pt/ton gula.

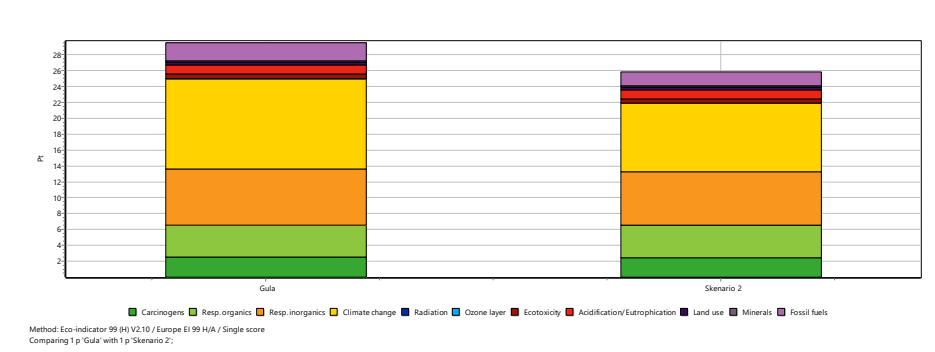
5.2.2 Skenario 2 (Pemanfaatan ampas tebu menjadi bioetanol)

Kategori dampak terbesar yang dihasilkan oleh produk gula eksisting yaitu *climate change* (perubahan iklim). Penyebab utama adanya dampak ini umumnya yaitu meningkatnya kadar karbondioksida dan karbon monoksida di bumi. Penggunaan bahan bakar fosil merupakan salah satu pemicu timbulnya kedua jenis gas tersebut. Pada proses produksi gula, bahan bakar berupa solar digunakan pada stasiun ketel, aktivitas transportasi. Transportasi berupa lori dan truk relatif membutuhkan banyak solar bergantung jarak kebun tebu.

Skenario 2 yaitu berupa pemanfaatan ampas tebu menjadi bioetanol. Ampas tebu yang sebagian besar digunakan sebagai bahan bakar stasiun ketel dapat diolah kembali menjadi bioetanol. Bioetanol dari ampas dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar pada lori dan truk. Gambar berikut ini merupakan hasil perbandingan kategori dampak antara keadaan eksisting dengan skenario 2.



Gambar 5 3 *Characterization* Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 2.



Gambar 5 4 *Single Score* Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 2.

Tabel 5. 2 *Single Score* Perbandingan Hasil Dampak Lingkungan Produk Gula Eksisting dengan Skenario 2

<i>Impact category</i>	Unit	Produk Gula	Skenario 2
<i>Total</i>	Pt	23.5	18.82
<i>Carcinogens</i>	Pt	2.08	2.08
<i>Resp. organics</i>	Pt	0.00761	0.00761
<i>Resp. inorganics</i>	Pt	6.28	6.28
<i>Climate change</i>	Pt	11.3	6.57
<i>Radiation</i>	Pt	0.00374	0.00418
<i>Ozone layer</i>	Pt	0.000173	0.00022
<i>Ecotoxicity</i>	Pt	0.512	0.512
<i>Acidification/ Eutrophication</i>	Pt	1.15	1.15
<i>Land use</i>	Pt	0.28	0.275
<i>Minerals</i>	Pt	0.205	0.204
<i>Fossil fuels</i>	Pt	2.28	1.74

Terjadi penurunan dampak lingkungan yang timbul dari keadaan produk gula eksisting dengan skenario yaitu pemanfaatan ampas menjadi bioetanol. Pemanfaatan ampas ini memberikan efek berupa penurunan dari 23.5 Pt/ton gula menjadi 18.82 Pt/ton gula. Terjadi penurunan yang cukup signifikan pada kategori dampak terbesar yaitu *climate change*. Perubahan dampak *climate change* yaitu dari angka 11.3 Pt/ton gula menjadi 6.57 Pt/ton gula.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran dari pengerjaan penelitian.

6.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil *life cycle assessment* dengan menggunakan software Simapro menunjukkan bahwa proses produksi pabrik gula Madukismo berdampak pada lingkungan sebesar 23.5 Pt. Kategori dampak yang menjadi penyumbang terbesar ke lingkungan yaitu kategori *climate change* (perubahan iklim) sebesar 11.3 Pt. Penyumbang terbesar adanya kategori dampak berupa *climate change* adalah stasiun masakan.
2. Rekomendasi perbaikan yaitu pemanfaatan ampas tebu menjadi bioetanol, dan pemanfaatan blotong menjadi biobriket. Pemanfaatan ampas tebu akan mengurangi dampak sebesar 19% dari 23.5 Pt menjadi 18.82 Pt. Sedangkan pemanfaatan blotong menjadi biobriket akan mengurangi dampak sebesar 11% yaitu dari 23.5 Pt menjadi 20.8 Pt.

6.2 Saran

Berikut ini merupakan saran perbaikan untuk penelitian berikutnya:

1. Dilakukan penelitian dengan cakupan yang lebih luas seperti *cradle to grave*.
2. Dilakukan perhitungan terhadap biaya dan keuntungan yang ditimbulkan setelah terjadi proses perbaikan.

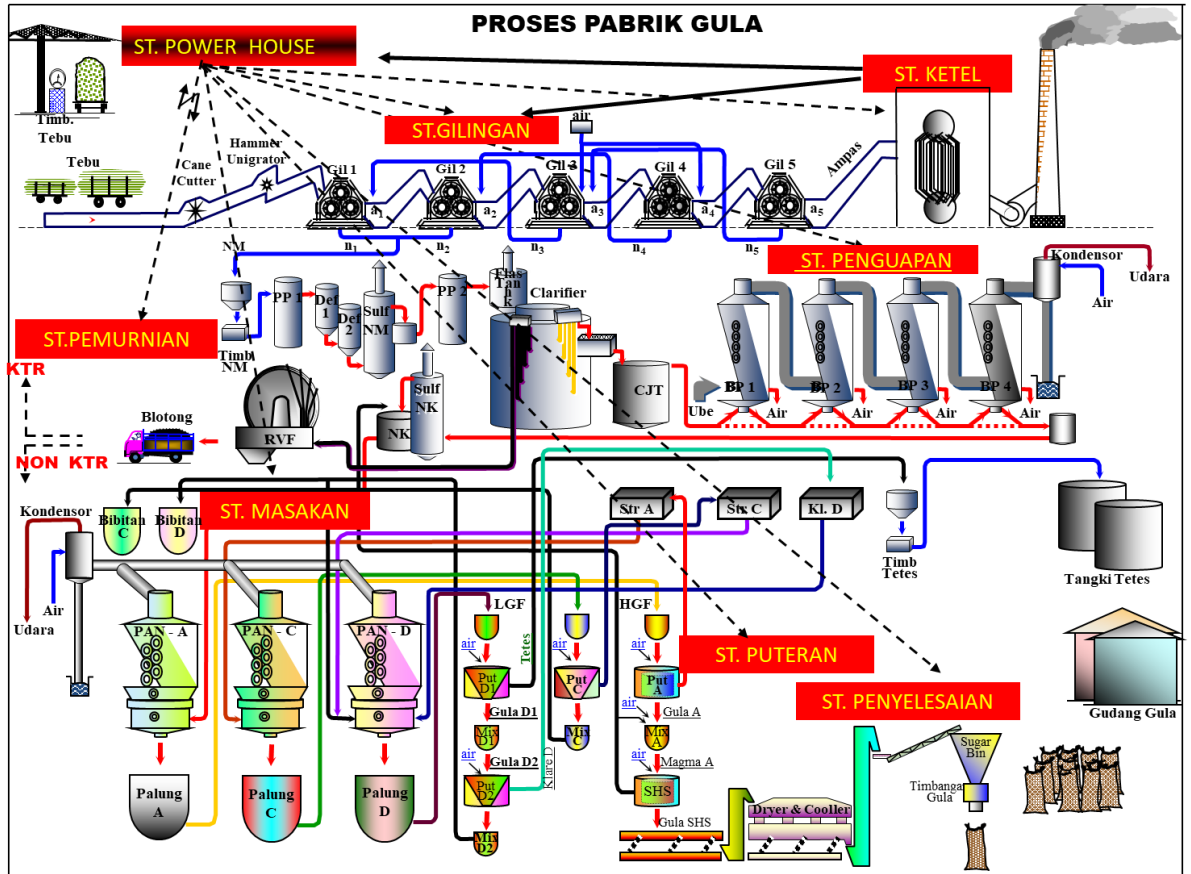
(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Agrirafinasi Organization. (t.thn.). Dipetik Maret 30, 2018, dari <http://www.agrirafinasi.org/tentang-gula/membuat-gula>
- Agroindustri. (2017, Mei 2). Beginilah Proses Pengolahan Tebu Menjadi Gula.
- Azapagic, A. (1996). *Environmental System Analysis: The Application of Linier Programming to Life Cycle Assessment*. Centre for Environmental Strategy, University of Survey.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). *SNI 19-14001-2005*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. Dipetik Maret 16, 2018, dari <http://sni.com>
- BPS. (2017, Maret). *Epublikasi*. Diambil kembali dari pertanian.go.id: <http://epublikasi.setjen.pertanian.go.id/arsip-perstatistikan/163-statistik/statistik-konsumsi/531-statistik-konsumsi-pangan-tahun-2017>
- Darmanto, E. (2014). Penerapan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process) untuk Menentukan Kualitas Gula Tumbu. *Jurnal Simetris*, 75-82.
- Fava, J. (1993). A Conceptual Framework for Life Cycle Impact Assessment. (hal. 160). Pensacola: Society of Environmental Toxicology and Chemistry and SETAC Foundation for Environmental Education.
- Hambali, E., Mujdalifah, S., & Armansyah. (2008). Dalam *Teknologi Bioenergi* (hal. 45-46). Jakarta Selatan: PT AgroMedia Pustaka.
- Humairah. (2011, Desember 2). Diambil kembali dari Himpunan Pemerhati Lingkungan Hidup Indonesia Web site: <http://www.hpli.org/isu.php>
- International Organization for Standardization. (1997). *Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Ismiyanto, A. (t.thn.). Dipetik April 17, 2018, dari TribunJogja Website: <http://jogja.tribunnews.com/2016/06/08/bupati-bantul-segera-selesaikan-kasus-limbah-madukismo-secepatnya>
- Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral. (2016). *Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi*. Jakarta: Pusat Data dan Teknologi Informasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Industri dan Perdagangan. (1998). *Keputusan Menteri Industri dan Perdagangan No. 115/MPP/Kep/1998*. Jakarta: Kementerian Industri dan Perdagangan.

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2017, Desember). Diambil kembali dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Website: <http://proper.menlh.go.id>
- Lestari, R. L. (2013). *Life Cycle Assessment of Sugar from Sugarcane. A Case Study in Indonesia*. Thailand: Asian Institute of Technology.
- Majumder, M. (2015). *Multi-criteria Decision Making*. SpringerBriefs in Water and Technology.
- PROPER. (2015). Diambil kembali dari Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER) Web site: <http://proper.menlh.go.id>
- Renouf, M., & Allsopp, P. (2013). *Development of a Streamlined Life Cycle Assessment (LCA) Tool for Assessing the Environmental Benefits of Progressive Sugarcane Growing*. Australia: The University of Queensland.
- Santoso, B. (t.thn.). Proses Pembuatan Gula dari Tebu pada PG X.
- Soetrisno, Rijanto, & Suwandari, A. (1997). *Pengantar Ilmu Pertanian*. Jember: Fakultas Pertanian Universitas Jember.
- Starostka, M., & Patyk. (2015). New Products Design Decision Making Support by Simapro Software on the Base of Defective Products Management. *ScienceDirect*, 1066-1074.
- Statistik Pertanian*. (2018, 3 13). Diambil kembali dari Epublikasi Pertanian: <http://epublikasi.setjen.pertanian.go.id/download/file/390-statistik-pertanian-2017>
- Statistik, B. P. (2017, Maret). *Epublikasi*. Diambil kembali dari <http://epublikasi.setjen.pertanian.go.id/arsip-perstatistikan/163-statistik/statistik-konsumsi/531-statistik-konsumsi-pangan-tahun-2017>
- Sulistiyono. (2014). Pemanasan Global dan Hubungannya dengan Penggunaan Bahan Bakar Fosil. *Forum Teknologi, Vol II(02)*, 4. Dipetik April 18, 2018, dari <http://pusdiklatmigas,esdm.go.id>
- U.S Environmental Protection Agency (EPA). (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. Ohio: Scientific Applications International Corporation (SAIC).
- Yani, M., & Purwaningsih. (2012). Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment) pada Pabrik Gula Tebu. *E-Jurnal Agroindustri Indonesia*, 60-67.

LAMPIRAN



BIODATA PENULIS



Roslina Ar'fatunisa' dilahirkan pada tanggal 12 Desember 1996 dari pasangan Bapak Darori dan Ibu Sri Hastuti. Penulis lahir di Klaten, merupakan anak empat dari enam bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari TK ABA Karanganom tahun 2000-2002 , MIN Karanganom tahun 2002-2008 , SMP N 1 Karanganom tahun 2008-2011, SMA N 1 Karanganom tahun 2011-2014, dan melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Industri ITS di tahun 2014-2018. Pada masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan meliputi Latihan Kepemimpinan Mahasiswa Tingkat Dasar Teknik Industri ITS, *staff* Departemen Dalam Negeri BEM FTI ITS 2015/2016. Selain itu, penulis pernah mengikuti *Mobility Student Program* di Universiti Teknikal Malaysia Melaka selama periode satu semester. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktek di PT Aneka Gas Industri SIER. Berikut adalah alamat *email* penulis rarfatunisa@gmail.com.