

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Potensi Dampak Lingkungan dari Produk Berbahan *Polystyrene Foam* dengan Pendekatan *Life Cycle Assessment***” dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai bagian dari proses memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Setelah melewati berbagai tahap, skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, semangat, motivasi, dan dorongan dari berbagai pihak. Penulis sepatutnya menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya.
3. Ibu Rahmi Yuniarti, ST., MT. sebagai Sekretaris Jurusan atas kesediaannya dalam membimbing tahapan pembuatan skripsi ini.
4. Bapak Marudut Sirait, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing atas kesediaannya dalam meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan dan saran, serta arahan yang sangat berharga bagi penulis selama masa pengerjaan skripsi.
5. Bapak Rio Prasetyo, S.T., MT. sebagai Dosen Pembimbing Akademik atas masukan, bimbingan, serta arahan selama masa studi penulis di Jurusan Teknik Industri.
6. Bapak Ir. Purnomo Budi Santoso, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing KKN-P.
7. Bapak Arif Rahman, ST., MT. dan Bapak Wisnu Wijayanto, ST., M.Eng. selaku dosen pengamat Seminar Proposal Skripsi atas masukan dan saran yang diberikan.
8. Bapak Ir. Mochamad Choiri, MT. dan Ibu Ceria Farela Mada Tantrika, ST., MT. selaku dosen pengamat Seminar Hasil Skripsi atas masukan dan saran yang diberikan.
9. Bapak dan Ibu dosen, serta karyawan Jurusan Teknik Industri yang telah membagi ilmu akademik maupun non-akademik dan berbagai pengalaman hidup selama dalam dunia perkuliahan.
10. Asisten Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri periode tahun 2017 atas pelajaran, dukungan, dan kebersamaan selama menjabat sebagai asisten.
11. PMK Yehezkiel yang selalu memberikan dukungan secara emosional dan spiritual.

12. Seluruh mahasiswa angkatan 2014 Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya atas semangat dan kerja sama selama ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna karena keterbatasan ilmu dari penulis dan kendala-kendala yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di waktu yang akan datang. Harapannya tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk penelitian dan pengembangan yang lebih lanjut.

Malang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
RINGKASAN	xv
SUMMARY	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Rumusan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Batasan Masalah	6
1.7 Asumsi Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 <i>Polystyrene Foam</i>	8
2.2.1 Struktur dan Ikatan Kimia	8
2.2.2 Penggunaan <i>Polystyrene Foam</i>	9
2.3 <i>Life Cycle Assessment</i>	10
2.3.1 Varian <i>Life Cycle Assessment</i>	10
2.3.2 Fase Utama <i>Life Cycle Assessment</i>	11
2.3.2.1 Fase Pendefinisian Tujuan dan Ruang Lingkup	11
2.3.2.2 Fase Analisis Inventori	12
2.3.2.3 Fase Penilaian Dampak	13
2.3.2.4 Fase Interpretasi.....	14
2.4 SimaPro 8.2	14
2.5 <i>Cleaner Production</i>	14
2.6 <i>Waste Management</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Jenis Penelitian.....	21

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.3 Langkah-langkah Penelitian	21
3.3.1 Tahap Pendahuluan.....	21
3.3.2 Tahap Pengumpulan Data.....	22
3.3.3 Tahap Pengolahan Data (Pelaksanaan LCA)	22
3.3.4 Tahap Analisis dan Kesimpulan	23
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Produk Kemasan Berbahan PS <i>Foam</i>	25
4.1.1 Proses Produksi.....	26
4.1.2 Proses Distribusi	28
4.1.3 Siklus Akhir Hidup	29
4.2 Tujuan dan Ruang Lingkup LCA	29
4.3 <i>Life Cycle Inventory</i>	30
4.3.1 Proses Ekstraksi Butiran Plastik.....	30
4.3.2 Transportasi Resin <i>Polystyrene</i>	31
4.3.3 Proses Produksi	32
4.3.4 Distribusi Produk.....	35
4.3.5 <i>Disposal</i> dan <i>End-life Treatment</i>	36
4.3.6 Gabungan Proses	38
4.4 <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	39
4.4.1 <i>Network</i>	41
4.4.2 Penilaian Dampak	42
4.4.3 Perbandingan Nilai Dampak	56
4.4.3.1 Perbandingan Nilai Dampak Proses.....	56
4.4.3.2 Perbandingan Nilai Dampak Skenario <i>Disposal</i>	58
4.4.3.3 Perbandingan Nilai Dampak Siklus Hidup	60
4.5 <i>Life Cycle Interpretation</i>	60
4.5.1 Identifikasi dan Analisis Dampak Signifikan	61
4.5.2 Rekomendasi Perbaikan.....	64
4.5.2.1 Rekomendasi Perbaikan Proses.....	64
4.5.2.2 Rekomendasi Penanganan Limbah	65
BAB V PENUTUP.....	69
5.1 Kesimpulan	69

5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu dan Penelitian Saat ini	7
Tabel 4.1	Fasilitas Pendukung Proses Produksi	28
Tabel 4.2	Data Proses <i>Extrusion</i>	33
Tabel 4.3	Data Proses <i>Forming</i>	33
Tabel 4.4	Data Proses <i>Cutting</i>	34
Tabel 4.5	Kategori Dampak Metode ReCiPe <i>Midpoint</i>	40
Tabel 4.6	Potensi Kategori Dampak Terbesar	61
Tabel 4.7	Penataan Nilai Dampak	61
Tabel 4.8	Persen Kontribusi Tiap Proses.....	62
Tabel 4.9	Peringkat Kontribusi Tiap Proses	62
Tabel 4.10	Persen Kontribusi Skenario <i>Disposal</i>	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Grafik perkembangan urbanisasi di Indonesia.....	1
Gambar 1.2	Grafik pertambahan volume timbunan sampah plastik	2
Gambar 1.3	Produksi resin plastik.....	3
Gambar 1.4	Proses produksi PS <i>foam</i>	4
Gambar 2.1	Polistirena	8
Gambar 2.2	Varian LCA.....	10
Gambar 2.3	Tahap-tahap dalam LCA.....	12
Gambar 2.4	Elemen fase LCIA.....	13
Gambar 2.5	Bagan alir <i>waste</i>	16
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	24
Gambar 4.1	Produk boks makanan	25
Gambar 4.2	Produk boks pendingin	25
Gambar 4.3	Skema siklus hidup produk PS <i>foam</i>	26
Gambar 4.4	Gambaran mesin <i>extruder</i> plastik	27
Gambar 4.5	Skema lini mesin produksi.....	28
Gambar 4.6	Ekstraksi resin <i>polystyrene</i>	31
Gambar 4.7	Transportasi bahan baku	32
Gambar 4.8	Proses <i>extrusion</i>	33
Gambar 4.9	Proses <i>forming</i>	34
Gambar 4.10	Proses <i>cutting</i>	35
Gambar 4.11	Proses <i>packaging</i>	35
Gambar 4.12	Distribusi produk	36
Gambar 4.13	<i>Landfill</i>	37
Gambar 4.14	<i>Incineration</i>	38
Gambar 4.15	<i>Recycle</i>	38
Gambar 4.16	Gabungan proses	39
Gambar 4.17	Kalkulasi LCIA.....	41
Gambar 4.18	<i>Network</i>	42
Gambar 4.19	Karakterisasi nilai dampak proses ekstraksi	43
Gambar 4.20	Normalisasi nilai dampak proses ekstraksi	43
Gambar 4.21	Skor tunggal proses ekstraksi.....	44
Gambar 4.22	Karakterisasi nilai dampak transportasi bahan baku.....	44

Gambar 4.23	Normalisasi nilai dampak transportasi bahan baku	44
Gambar 4.24	Skor tunggal transportasi bahan baku.....	45
Gambar 4.25	Karakterisasi nilai dampak proses ekstrusi.....	46
Gambar 4.26	Normalisasi nilai dampak proses ekstrusi	46
Gambar 4.27	Skor tunggal proses ekstrusi	46
Gambar 4.28	Karakterisasi nilai dampak proses <i>forming</i>	47
Gambar 4.29	Normalisasi nilai dampak proses <i>forming</i>	47
Gambar 4.30	Skor tunggal proses <i>forming</i>	48
Gambar 4.31	Karakterisasi nilai dampak proses <i>cutting</i>	48
Gambar 4.32	Normalisasi nilai dampak proses <i>cutting</i>	49
Gambar 4.33	Skor tunggal proses <i>cutting</i>	49
Gambar 4.34	Karakterisasi nilai dampak proses <i>packaging</i>	50
Gambar 4.35	Normalisasi nilai dampak proses <i>packaging</i>	50
Gambar 4.36	Skor tunggal proses <i>packaging</i>	50
Gambar 4.37	Karakterisasi nilai dampak distribusi produk	51
Gambar 4.38	Normalisasi nilai dampak distribusi produk.....	51
Gambar 4.39	Skor tunggal distribusi produk	52
Gambar 4.40	Karakterisasi nilai dampak <i>incineration</i>	52
Gambar 4.41	Normalisasi nilai dampak <i>incineration</i>	53
Gambar 4.42	Skor tunggal <i>incineration</i>	53
Gambar 4.43	Karakterisasi nilai dampak <i>recycle</i>	54
Gambar 4.44	Normalisasi nilai dampak <i>recycle</i>	54
Gambar 4.45	Skor tunggal <i>recycle</i>	54
Gambar 4.46	Karakterisasi nilai dampak <i>landfill</i>	55
Gambar 4.47	Normalisasi nilai dampak <i>landfill</i>	55
Gambar 4.48	Skor tunggal <i>landfill</i>	56
Gambar 4.49	Perbandingan nilai karakterisasi proses.....	56
Gambar 4.50	Perbandingan nilai normalisasi proses	57
Gambar 4.51	Perbandingan skor tunggal proses	58
Gambar 4.52	Perbandingan nilai karakterisasi skenario <i>disposal</i>	58
Gambar 4.53	Perbandingan nilai normalisasi skenario <i>disposal</i>	59
Gambar 4.54	Perbandingan skor tunggal skenario <i>disposal</i>	59
Gambar 4.55	Perbandingan skor tunggal tahap siklus hidup	60
Gambar 4.56	Pembakaran bahan bakar fosil	63

Gambar 4.57 Perbandingan skor tunggal skenario daur ulang	65
Gambar 4.58 Insinerator	66
Gambar 4.59 <i>Compactor</i>	67

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	<i>Network</i>	73
Lampiran 2	Hasil Pembobotan (<i>Weighting</i>) Nilai Dampak	78
Lampiran 3	Hasil Penilaian Dampak.....	82

Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

Meylanya Christiany Guntur Noya, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Analisis Potensi Dampak Lingkungan dari Produk Kemasan Berbahan Polystyrene Foam dengan Pendekatan Life Cycle Assessment*, Dosen Pembimbing: Marudut Sirait, S.T., M.T.

Polystyrene merupakan plastik golongan 6 dalam klasifikasi plastik yang diproduksi dalam jumlah 122,8 ribu ton per tahunnya (PT. Citra Cendekia Indonesia, 2016). Sifat material *polystyrene* yang sulit terurai secara alamiah membuat penanganan limbah *polystyrene* yang sebatas pembuangan saja akan membebani alam dalam penguraianya. Selain sulit terurai, *polystyrene* juga berdampak negatif terhadap lingkungan karena proses pembuatannya hingga kini masih menggunakan *chloro fluoro carbon* (CFC) yang menjadi penyebab pemanasan global. Selain berbahaya bagi lingkungan, *polystyrene* juga berbahaya bagi kesehatan karena memiliki komponen benzena yang merupakan salah satu penyebab kanker. *Polystyrene* juga bersifat mikroplastik yang dapat dimakan oleh ikan dan kemudian dikonsumsi manusia. Dengan berbagai dampak dan bahaya yang dimiliki oleh produk berbahan PS *foam* ini, produk ini masih sangat digemari oleh berbagai kalangan sehingga masih terdapat banyak produsen dari produk tersebut. Selain itu, proses produksi dan distribusi produk ini menghasilkan berbagai jenis limbah, antara lain limbah sisa material PS *foam*, emisi gas seperti karbon dioksida dan karbon monoksida. *International Energy Agency* (IEA) pada tahun 2009 memprediksi bahwa jika tidak ada perubahan pada tren penggunaan transportasi, gas rumah kaca yang akan dihasilkan pada tahun 2050 akan naik sebesar 113% dari tahun 2007. Untuk merespons permasalahan akibat produk kemasan PS *foam* tersebut, maka perlu dilakukan kajian untuk mengidentifikasi dampak lingkungan dan bagaimana solusi untuk menangani dampak tersebut.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk mengukur dampak lingkungan dari suatu produk mencakup siklus hidup produk mulai dari awal siklusnya hingga akhir siklus atau *disposal* dengan bantuan perangkat lunak SimaPro 8.2 dengan mengacu pada metode ReCiPe *Endpoint* (*Hierarchist*). Data yang digunakan berasal dari salah satu perusahaan *polystyrene foam* yang terletak di Pasuruan, Jawa Timur. Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan tujuan dan ruang lingkup dari LCA. Setelah itu, data-data terkait *supplier*, proses produksi, proses distribusi, dan penanganan limbah dikumpulkan untuk dinilai kontribusinya terhadap indikator dampak lingkungan tertentu. Nilai dampak hasil kalkulasi melalui proses karakterisasi, normalisasi, dan pembobotan untuk kemudian dianalisis. Hasil analisis digunakan sebagai acuan pada pemberian rekomendasi perbaikan terhadap proses produksi maupun penanganan limbah dengan mengacu pada konsep *Cleaner Production* dan *Waste Management*.

Penelitian ini menunjukkan bahwa tahap produksi memberikan dampak terbesar dengan nilai 647 pt, kemudian diikuti oleh tahap ekstraksi (165,88 pt) dan *disposal* (48,13 pt) dari siklus hidup produk kemasan *polystyrene foam*. Potensi dampak lingkungan terbesar terdapat pada kategori dampak *particulate matter formation*, *fossil depletion*, dan *climate change (human health)*. Rekomendasi yang diberikan terkait proses produksi adalah dengan menggunakan mesin yang memiliki daya lebih kecil dan/atau kapasitas lebih besar, sementara untuk tahap *disposal*, rekomendasi yang diberikan adalah pembakaran sampah dengan insinerator khusus, menerapkan *open-loop recycling*, mengadakan sarana pengumpulan sampah, serta menerapkan prinsip 3R.

Kata Kunci: *Life Cycle Assessment, Cleaner Production, Waste Management, Analisis Cradle-to-Grave, Polystyrene Foam*

Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

Meylanya Christiany Guntur Noya, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, June 2018, *Analysis of Potential Environmental Impact of Polystyrene Foam Based Packaging Products Using Life Cycle Assessment*, Academic Supervisor: Marudut Sirait, S.T., M.T.

Polystyrene is a grade 6 plastic in plastic classification produced in the amount of 122.8 thousand tons per year. The non-biodegradable nature of polystyrene makes its disposal a problem to the environment. In addition to that, polystyrene also has a negative impact on the environment because the manufacturing process is still using chloro fluoro carbon (CFC), which is the main cause of global warming. Moreover, polystyrene is also harmful to human health due to its benzene component which is a potential cause of cancer. Polystyrene is also microplastic which means it can break down and be eaten by fish, then consumed by humans. With the various impacts and dangers of this product, it is still very popular in the industry that it is manufactured in large scale. Additionally, the production and distribution process of this product creates various types of waste, such as waste of *polystyrene* foam material, gas emissions such as carbon dioxide and carbon monoxide. The International Energy Agency (IEA) in 2009 predicts that if there is no change in trends in transportation usage, greenhouse gases to be generated by 2050 will increase by 113% from 2007. To respond to these problems, a study was conducted to identify the potential environmental impacts and give recommendations based on the analysis.

In this research, Life Cycle Assessment (LCA) approach is used to measure environmental impact of the product. The LCA involves the product life cycle from the beginning of the cycle to the end of the cycle or its disposal phase with the help of SimaPro 8.2 using the ReCiPe Endpoint (Hierarchist) method. The data used in this research are collected from a polystyrene foam company located in Pasuruan, East Java. The first step is to define the goals and scope of the LCA. Subsequently, data related to suppliers, production processes, distribution processes, and waste management are collected to assess their contributions to certain environmental impact indicators. The value of the impact calculation resulted through the process of characterization, normalization, and weighting are later used for analysis. The results of the analysis are used as a reference on the provision of recommendations on improvements to the production process and waste management in accordance to the Cleaner Production and Waste Management concept.

This study shows that the production stage has the greatest impact with a value of 647 pt, followed by the extraction stage (165.88 pt) and disposal (48.13 pt) of the life cycle of polystyrene foam packaging product. The greatest potential environmental impacts are in the impact category of particulate matter formation, fossil depletion, and climate change (human health). The recommendations to the production process are to use a machine that has less power and/or greater capacity, while for the disposal stage, it is recommended to use special incinerators, conduct open-loop recycling, provide garbage collection facilities, and apply 3R principle.

Keywords: Life Cycle Assessment, Cleaner Production, Waste Management, Cradle-to-Grave Analysis, Polystyrene Foam

Halaman ini sengaja dikosongkan