



**ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PADA SIKLUS HIDUP LACIDI
PERUSAHAAN MEBEL KAYU DENGAN IMPLEMENTASI LIFE
CYCLE ASSESSMENT**

SKRIPSI

TEKNIK INDUSTRI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



RENANTA SALMA MARDIANA

NIM. 135060707111066

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PADA SIKLUS HIDUP LACI DI PERUSAHAAN MEBEL KAYU DENGAN IMPLEMENTASI *LIFE* *CYCLE ASSESSMENT*

SKRIPSI

TEKNIK INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

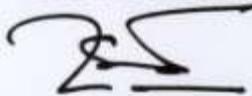


RENANTA SALMA MARDIANA

NIM. 135060707111066

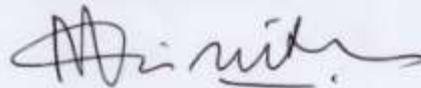
Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 01 Agustus 2017

Dosen Pembimbing I



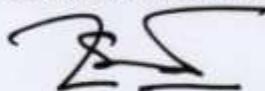
Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730819 199903 1 002

Dosen Pembimbing II



Marudut Sirait, ST., MT.
NIP. 19730316 200604 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri



Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19730819 199903 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 1 Agustus 2017

Mahasiswa



Renanta Salma Mardiana
NIM. 135060707111066



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Analisis Dampak Lingkungan pada Siklus Hidup Laci di Perusahaan Mebel Kayu dengan Implementasi *Life Cycle Assessment*”**. Tidak lupa shalawat serta salam saya haturkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW.

Tugas akhir ini disusun sebagai bagian dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Setelah menyelesaikan berbagai tahapan dan kesulitan yang dihadapi, terutama keterbatasan kemampuan penulis, tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat adanya bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, terutama kepada

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan kesabaran tanpa henti dari awal penulis memasuki dunia perkuliahan sampai dengan penulis dapat menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat, saran serta bimbingan untuk kesempurnaan skripsi ini.
3. Bapak Arif Rahman, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus Dosen Pembimbing Akademik atas masukan serta bimbingan selamamasa studi penulis.
4. Bapak Marudut Sirait, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberikan masukan, arahan, motivasi, serta ilmu yang sangat berharga bagi penulis hingga selesainya tugas akhir ini.
5. Ibu Rahmi Yuniarti, ST., MT. selaku Kepala Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri atas masukan, motivasi, ilmu serta bimbingan selama masa studi penulis.
6. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar di Jurusan Teknik Industri yang telah dengan ikhlas memberikan banyak sekali ilmunya kepada penulis.
7. Bapak Farid selaku Kepala Bagian Produksi dan Ibu Wulan selaku pihak HRD di Perusahaan Furnitur Kayu serta seluruh karyawan di perusahaan atas bantuan informasi dan motivasi yang diberikan kepada penulis.



8. Orang tuaku tersayang dan tercinta, Bapak Mahatma Sajadi Rahadityato dan Ibu Siti Mardiasuti Rinawati, atas doa-doa yang tidak pernah berhenti, kasih sayang, pengorbanan, kesabaran, perhatian yang sangat luar biasa, pelajaran, pendidikan, prinsip yang telah diberikan, dukungan materil dan perjuangan yang tidak pernah kenal lelah demi memberikan yang terbaik kepada penulis.
9. Mbahti dan Mbahkung serta seluuah keluargaku atas seluruh doa, semangat, motivasi, pelajaran dan dukungan yang tidak pernah berhenti kepada penulis.
10. Adikku Muhammad Shidqi Rahidtyo atas doa, semangat, kasih sayang serta menjadi motivasi agar penulis cepat lulus.
11. Bapak dan Ibu karyawan di Jurusan Teknik Industri khususnya bagian *recording* yang telah banyak membantu dalam proses administrasi selama masa studi hingga proses administrasi untuk tugas akhir.
12. Sahabat-sahabatku dari waktu mahasiswa baru Nadhilah Hidayah, Triana Yunitasari, Harizka Dwi, Mega Rahmadani, dan Vina Rahma atas kesabaran, motivasi, dukungan serta bantuan yang telah diberikan selama masa studi kuliah.
13. Sahabat-sahabatku Armelynda Beverly, Siti Astrid, Sherenia Yuanggra, Ega, Yudha, Aris, Yogas, Fadio, atas semangat dan dukungan kepada penulis.
14. Keluarga Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri 2013 Rima, Firma Nurfida, Fadilia Rinarwastu, Nadhilah Hidayah, Tamara Adriana, Dino Ari, dan Alfian Danu, serta keluarga LSAI 2014 atas kerjasama, semangat, motivasi dan dukungan kepada penulis.
15. Teman-teman Teknik Industri 2013 atas pengalaman, doa, semangat, bantuan dan kerjasama selama masa studi penulis.
16. Segenap pihak yang telah mendukung terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
Dalam setiap usaha yang dilakukan tidak pernah luput dari kesalahan. Oleh sebab itu, segala kritik dan saran sangat diharapkan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan memenuhi sebagian kebutuhan referensi.

Malang, Juli 2017.

Penulis

**DAFTAR ISI**

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	5
1.3 Rumusan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Batasan Masalah.....	6
1.7 Asumsi.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Penelitian Terdahulu.....	11
2.2 Mebel.....	11
2.3 <i>Green Manufacturing</i>	11
2.4 <i>Life Cycle Assessment</i>	12
2.4.1 Tahap Amatan dalam <i>Life Cycle Assessment</i>	14
2.4.2 Ruang Lingkup dalam <i>Life Cycle Assessment</i>	15
2.4.3 Fase Pelaksanaan <i>Life Cycle Assessment</i>	16
2.4.3.1 Tujuan dan Ruang Lingkup.....	16
2.4.3.2 <i>Life Cycle Inventory (LCI)</i>	17
2.4.3.3 <i>Life Cycle Impact Assessment (LCIA)</i>	17
2.4.3.4 <i>Life Cycle Interpretation</i>	18
2.5 SIMAPRO 8.....	19
2.6 <i>Cleaner Production</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Jenis Penelitian.....	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.3 Pengumpulan Data.....	21
3.4 Langkah-Langkah Penelitian.....	22
3.4.1 Tahap Pendahuluan.....	22
3.4.2 Tahap Pengolahan Data.....	23
3.4.3 Tahap Analisa dan Kesimpulan.....	24
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	24



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Gambaran Umum Perusahaan.....	27
4.1.1 Sejarah Perusahaan.....	27
4.1.2 Visi dan Misi.....	28
4.1.3 Budaya Kerja Perusahaan.....	28
4.1.4 Struktur Organisasi.....	29
4.1.5 Manajemen Personalia.....	29
4.1.6 Produk Brighton NS Cinnamon.....	30
4.1.7 Proses Produksi.....	30
4.1.7.1 Proses Pengolahan.....	30
4.1.7.2 Mesin yang Digunakan.....	33
4.2 Tujuan dan Ruang Lingkup Amatan <i>Life Cycle Assessment</i>	33
4.3 <i>Life Cycle Inventory</i>	34
4.3.1 Proses Ekstraksi Bahan Baku Kayu Solid.....	34
4.3.2 Transportasi dan Distribusi.....	36
4.3.3 Proses Produksi.....	39
4.4 <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	47
4.4.1 <i>Network</i>	49
4.4.2 <i>Impact Assessment</i>	50
4.4.2.1 Perbandingan Hasil Seluruh Proses.....	65
4.5 <i>Life Cycle Interpretation</i>	67
4.5.1 Analisis Damak Tertinggi.....	67
4.5.2 Rekomendasi Perbaikan.....	69
BAB V PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Penggunaan Energi di Indonesia Tahun 2007-2015 Berdasarkan Sektor (Dalam BOE).....	1
Tabel 1.2	Permintaan Produk Brighton Tahun 2016.....	4
Tabel 2.1	Penelitian Terdahulu.....	10
Tabel 2.2	Tindakan Pengurangan Limbah Berbahaya yang Sering Dilakukan.....	12
Tabel 2.3	Dokumen ISO untuk <i>Life Cycle Assessment</i>	14
Tabel 4.1	Mesin untuk Proses Produksi Brighton NS Cinnamon.....	33
Tabel 4.2	Data Jarak Transportasi di Perusahaan Furnitur Kayu.....	37
Tabel 4.3	<i>Input dan Output</i> Proses Kiln Dry.....	40
Tabel 4.4	<i>Input dan Output</i> Proses Pengolahan Kayu <i>Solid</i>	42
Tabel 4.5	<i>Input dan Output</i> Proses Pengolahan Kayu Panel.....	43
Tabel 4.6	<i>Input dan Output</i> Proses <i>Assembly</i>	45
Tabel 4.7	<i>Input dan Output</i> Proses <i>Finishing</i>	46
Tabel 4.8	<i>Input dan Output</i> Proses <i>Packaging</i>	46
Tabel 4.9	Penjelasan Kategori Dampak.....	48
Tabel 4.10	Rekapitulasi Kategori Dampak Tertinggi dan Penyebabnya.....	67
Tabel 4.11	Rekomendasi Perbaikan untuk Siklus Hidup Brighton NS Cinnamon.....	74

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Grafik nilai <i>output</i> pada sektor industri furnitur	2
Gambar 1.2	Laci Brighton NS Cinnamon	3
Gambar 1.3	Proses Produksi di perusahaan furnitur kayu	3
Gambar 2.1	Input dan <i>output</i> tiap tahap siklus hidup	13
Gambar 2.2	Ruang lingkup <i>life cycle assessment</i>	16
Gambar 2.3	Langkah-langkah dalam LCA	16
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 4.1	Struktur organisasi perusahaan furnitur kayu	29
Gambar 4.2	Area pabrik yang terdapat pada perusahaan <i>furniture</i>	32
Gambar 4.3	Diagram alir proses ekstraksi kayu solid	36
Gambar 4.4	<i>Input</i> proses ekstraksi bahan baku	36
Gambar 4.5	Diagram alir proses transportasi dan distribusi	37
Gambar 4.6	<i>Input</i> proses transportasi <i>supply</i> kayu mahoni	38
Gambar 4.7	<i>Input</i> proses transportasi <i>supply</i> kayu meranti	38
Gambar 4.8	<i>Input</i> proses transportasi <i>supply</i> kayu panel	38
Gambar 4.9	<i>Input</i> proses distribusi produk jadi	38
Gambar 4.10	<i>Input</i> proses transportasi dan distribusi	39
Gambar 4.11	<i>Input</i> dan <i>output</i> untuk kayu hasil <i>kiln dry</i>	41
Gambar 4.12	<i>Input</i> dan <i>output</i> untuk komponen <i>solid</i>	42
Gambar 4.13	<i>Input</i> dan <i>output</i> untuk komponen panel	44
Gambar 4.14	<i>Input</i> dan <i>output</i> untuk hasil <i>assembly</i>	45
Gambar 4.15	<i>Input</i> dan <i>output</i> untuk hasil <i>finishing</i>	46
Gambar 4.16	<i>Input</i> untuk hasil <i>packaging</i>	47
Gambar 4.17	<i>Input</i> untuk proses produksi Brighton NS Cinnamon	47
Gambar 4.18	<i>Input</i> seluruh proses Brighton NS Cinnamon	48
Gambar 4.19	Proses pembuatan <i>network</i> untuk proses ekstraksi bahan baku	49
Gambar 4.20	<i>Network</i> Brighton NS Cinnamon	50
Gambar 4.21	Hasil <i>characterization</i> proses ekstraksi	51
Gambar 4.22	Hasil <i>weighting</i> proses ekstraksi	51
Gambar 4.23	Hasil <i>single score</i> proses ekstraksi	52
Gambar 4.24	Perbandingan Katergori Dampak pada Proses Ekstraksi	52
Gambar 4.25	Hasil <i>characterization</i> proses transportasi dan distribusi	52
Gambar 4.26	Hasil <i>weighting</i> proses transportasi dan distribusi	53
Gambar 4.27	Hasil <i>single score</i> proses transportasi dan distribusi	53
Gambar 4.28	Perbandingan katergori dampak pada proses transportasi dan distribusi	54
Gambar 4.29	Hasil <i>characterization</i> proses <i>kiln dry</i>	54
Gambar 4.30	Hasil <i>weighting</i> proses <i>kiln dry</i>	54
Gambar 4.31	Hasil <i>single score</i> proses <i>kiln dry</i>	55
Gambar 4.32	Perbandingan katergori dampak pada <i>kiln dry</i>	55
Gambar 4.33	Hasil <i>characterization</i> proses komponen kayu <i>solid</i>	56
Gambar 4.34	Hasil <i>weighting</i> proses komponen kayu <i>solid</i>	56



Gambar 4.35	Hasil <i>single score</i> proses komponen kayu <i>solid</i>	56
Gambar 4.36	Perbandingan kategori dampak pada proses pengolahan komponen kayu <i>solid</i>	57
Gambar 4.37	Hasil <i>characterization</i> proses komponen kayu panel.....	57
Gambar 4.38	Hasil <i>weighting</i> proses komponen kayu panel.....	58
Gambar 4.39	Hasil <i>single score</i> proses komponen kayu panel.....	58
Gambar 4.40	Perbandingan kategori dampak pada komponen kayu panel.....	58
Gambar 4.41	Hasil <i>characterization</i> proses <i>assembly</i>	59
Gambar 4.42	Hasil <i>weighting</i> proses <i>assembly</i>	59
Gambar 4.43	Hasil <i>single solid</i> proses <i>assembly</i>	59
Gambar 4.44	Perbandingan kategori dampak pada <i>assembly</i>	60
Gambar 4.45	Hasil <i>characterization</i> proses <i>finishing</i>	60
Gambar 4.46	Hasil <i>weighting</i> proses <i>finishing</i>	60
Gambar 4.47	Hasil <i>single score</i> proses <i>finishing</i>	61
Gambar 4.48	Perbandingan kategori dampak pada <i>finishing</i>	61
Gambar 4.49	Hasil <i>characterization</i> proses <i>packaging</i>	62
Gambar 4.50	Hasil <i>weighting</i> proses <i>packaging</i>	62
Gambar 4.51	Hasil <i>single score</i> pada proses <i>packaging</i>	62
Gambar 4.52	Perbandingan kategori dampak pada <i>packaging</i>	63
Gambar 4.53	Hasil <i>characterization</i> proses produksi.....	63
Gambar 4.54	Hasil <i>weighting</i> proses produksi.....	64
Gambar 4.55	Hasil <i>single score</i> proses produksi.....	64
Gambar 4.56	Perbandingan kategori dampak pada proses produksi.....	64
Gambar 4.57	Hasil <i>characterization</i> perbandingan seluruh proses.....	65
Gambar 4.58	Hasil <i>weighting</i> perbandingan seluruh proses.....	66
Gambar 4.59	Hasil <i>single score</i> perbandingan seluruh proses.....	66
Gambar 4.60	Hasil <i>weighting</i> dan <i>single score</i> komparasi seluruh proses.....	67
Gambar 4.61	Presentase kontribusi dampak pembuatan kayu panel.....	68
Gambar 4.62	Presentase kontribusi dampak <i>kiln dry</i>	68
Gambar 4.63	Presentase kontribusi dampak pembuatan kayu <i>solid</i>	69
Gambar 4.64	Perbandingan dampak UF resin dan MUF resin.....	71
Gambar 4.65	Langkah pembuatan MDF.....	72
Gambar 4.66	Hasil <i>weighting kiln dry</i> setelah tidak melakukan pembakaran MDF.....	73
Gambar 4.67	Hasil <i>single score kiln dry</i> setelah tidak melakukan pembakaran MDF.....	73



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Kebutuhan Bahan Baku.....	79
Lampiran 2	Neraca Penggunaan Air.....	80
Lampiran 3	Hasil <i>Network</i>	81
Lampiran 4	Hasil <i>Normalization</i>	87
Lampiran 5	Hasil <i>Characterization</i>	90

RINGKASAN

Renanta Salma Mardiana, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2017, *Analisis Dampak Lingkungan pada Siklus Hidup Laci di Perusahaan Mebel Kayu dengan Implementasi Life Cycle Assessment*, Pembimbing: Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph. D. dan Marudut Sirait, ST., MT.

Perusahaan furnitur kayu yang akan diteliti adalah perusahaan yang terletak di Pasuruan dan memproduksi mebel-mebel kayu. Penelitian ini dilakukan pada Februari hingga Juli 2017. Salah satu produk yang di produksi adalah laci Brighton NS Cinnamon yang dalam setahunnya memiliki jumlah permintaan mencapai 3703 unit pada tahun 2016. Di sepanjang siklus hidup laci Brighton NS Cinnamon, terdapat limbah yang dihasilkan oleh setiap prosesnya. Akan tetapi, perusahaan furnitur kayu belum pernah melakukan pengukuran khusus terhadap dampak yang dihasilkan oleh siklus hidup laci Brighton NS Cinnamon terhadap lingkungan. Oleh sebab itu, perlu dilakukan evaluasi terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan selama siklus hidup laci Brighton NS Cinnamon.

Metode yang digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan menggunakan *software* Simapro 8. Terdapat 4 langkah yang harus dilakukan di LCA. Langkah pertama adalah menentukan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi potensi dampak lingkungan dari setiap siklus hidup dari laci Brighton NS Cinnamon yang memiliki unit fungsional berat 37 kg selama 5 tahun. Ruang lingkup amatannya adalah dari *cradle-to-gate*, yaitu proses ekstraksi bahan baku utama, supply dan distribusi bahan baku, proses produksi laci dan distribusi produk jadi. Tahap selanjutnya adalah *Life Cycle Inventory*(LCI), yaitu mengumpulkan data *input* dan *output* dari masing-masing proses dan memasukkannya ke dalam *software* Simapro. Data-data yang dimasukkan disesuaikan dengan data yang ada di *software*. Selanjutnya dilakukan penilaian dampak, atau disebut dengan tahap *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA). Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah EDIP 2003. Setelah diketahui dampak yang terjadi, dilakukan pemberian rekomendasi perbaikan berdasarkan strategi *cleaner production*.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa proses yang memberikan dampak tertinggi adalah proses manufaktur, diikuti oleh proses *supply* dan distribusi serta proses ekstraksi dengan nilai masing-masing 1,82 Pt ,0,0827 Pt dan 0,00441 Pt . Di dalam proses manufaktur terdapat 6 proses, yaitu *kiln dry*, pembuatan komponen kayu solid, pembuatan komponen kayu panel, *assembly*, *finishing* dan *packaging*. Proses manufaktur yang memiliki dampak tertinggi adalah proses pembuatan komponen panel bernilai 1,11 Pt dengan dampak tertinggi *acidification* yang disebabkan oleh penggunaan listrik. Kemudian dampak tertinggi kedua adalah *kiln dry* sebesar 0,624 Pt dengan dampak tertinggi pada *human toxicity water* dan kemudian proses pembuatan komponen kayu *solid* yang memiliki nilai 0,187 Pt dengan dampak tertinggi yang terjadi adalah *acidification*. Setelah itu, diberikan rekomendasi perbaikan berdasarkan 3 strategi *cleaner production*. Untuk strategi pertama adalah substitusi material, terdapat 2 rekomendasi yaitu mengganti *Urea-Formaldehyde* (UF) resin menjadi *Melamine* UF resin dan mengganti alkyd paint menjadi bahan yang memiliki sedikit *Volatile Organic Compound* (VOC). Untuk strategi kedua adalah modifikasi proses yaitu dengan tidak membakar *Medium Density Fibre* (MDF) dan *Particle Board* (PB) tapi menyimpannya untuk dijadikan MDF baru. Untuk strategi terakhir adalah penggantian teknologi, yaitu dengan menggunakan *boiler* sebagai sumber energi listrik yang bisa diperbaharui.

Kata Kunci: *Life Cycle Assessment*, *Cleaner Production*, Simapro, Furnitur Kayu.

SUMMARY

Renanta Salma Mardiana, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2017, *Environmental Impact Analysis in Life Cycle of Drawer On A Furniture Compay using Life Cycle Assessment Approach*
Lecturer: Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph. D. dan Marudut Sirait, ST., MT.

This research was held on a furniture company which was located in Pasuruan, East Java and was conducted on February to July 2017. One of the products produced in this company is Brighton NS Cinnamon. On 2016, Brighton NS Cinnamon had a demand rate up to 3703 units. However, during the life cycle, Brighton NS Cinnamon generated some wastes in each stage. Moreover, the company has never done a measurement on the environmental impact specifically for the life cycle of Brighton NS Cinnamon. Therefore, an analysis on the environment impact caused by the life cycle of Brighton NS Cinnamon needs to be done.

In order to analyse environmental impact of Brighton NS Cinnamon product, Life Cycle Assessment (LCA) is utilized by using Simapro 8 *software*. There are 4 steps in conducting the LCA, the first step is to identify the goal and scope of this research. The goal of this research is to identify the potential environmental impact along each stage of the life cycle. The scope is cradle-to-gate with 3 main stages in this life cycle, which are extraction of raw materials process, supply and distribution process, and production process. The next step is Life Cycle Inventory (LCI), where the inputs and outputs of each process is calculated and inserted into Simparo. The third stage is to conduct the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) stage, which is to assess the environmental impact. The EDIP 2003 method was used to express environmental impact. Once the potential impacts are identified, cleaner production strategies were recommended in order to reduce the largest impact.

The result of this research showed the highest contribution is the manufacturing process followed by supply and distribution process and extraction process, with a score of 1,82 Pt (95,28%), 0,0827 Pt (4,33%) and 0,00441 Pt (0,23%) respectively. The manufacturing process consists of 6 processes, namely kiln dry, making of solid component, making of panel component, assembly, finishing and packaging. According to the results of Simapro 8, the manufacturing process which had the highest impacts are the making of panel component with a score of 1,11 Pt and causes acidification with it's excessive use of electricity. It was followed by kiln dry with a score of 0,624 Pt and causes human toxicity water. Meanwhile the third highest contributor was the making of solid component which scores 0,187 Pt and causes acidification. The recommendations given were based on three cleaner production strategies. The first strategy was material substitution, which contains 2 recommendation which were substituting Urea-Formaldehyde (UF) resin into Melamine UF resin and changing alkyd paint into materials which contains less Volatile organic Compound (VOC). The second strategy was to modify the process by saving panel woods (Medium Density Fibre and Particle Board) for later panel production and not as wood fuels. The last strategy was to change the technology by using the boiler as a renewable source of electricity.

Keywords: Life Cycle Assessment, Cleaner Production, Simapro, Wood Furniture, Environmental Impact



BAB I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini akan dijelaskan mengenai latar belakang dilakukannya penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian.

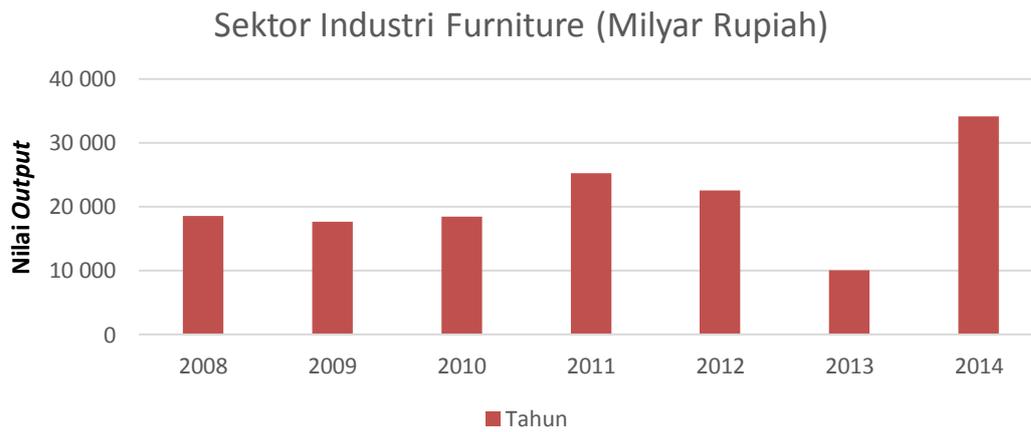
1.1 Latar Belakang

Di zaman modern ini, perkembangan industri di Indonesia semakin meningkat. Hal tersebut memberikan dampak baik terhadap perekonomian di Indonesia. Namun, di lain pihak hal tersebut juga memberi dampak pada lingkungan akibat buangan industri maupun eksploitasi sumber daya yang semakin intensif dalam pengembangan industri. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2016), sektor industri merupakan salah satu pengguna energi terbesar ketiga setelah rumah tangga dan transportasi. Selain itu, penggunaan energi di sektor industri terus meningkat. Hal tersebut ditunjukkan oleh Tabel 1.1, dimana pada tahun 2014 konsumsi energi oleh sektor industri adalah sebesar 257 juta *Barrel of Oil Equivalent* (BOE), sedangkan pada tahun 2015 konsumsi energi oleh sektor industri adalah sebesar 274 juta BOE. Selain proses produksi di industri, penggunaan transportasi juga merupakan pengguna energi terbesar. Selain penggunaan energi yang sangat besar, distribusi yang menggunakan transportasi juga dapat menyebabkan polusi. Oleh sebab itu, untuk proses distribusi menggunakan transportasi yang tepat perlu diterapkan oleh perusahaan agar mengurangi dampak ke lingkungan. Tingginya konsumsi energi menyebabkan banyaknya masalah lingkungan yang timbul dari penggunaan energi yang berlebih seperti emisi gas rumah kaca, asidifikasi, *global warming*, semakin menipisnya bahan bakar fosil dan lain sebagainya.

Tabel 1.1
Penggunaan Energi di Indonesia Tahun 2007-2015 Berdasarkan Sektor (Dalam BOE)

Tahun	Sektor						Total Konsumsi Energi
	Industri	Rumah Tangga	Komersial	Transportasi	Lainnya	Utilisasi Non-energi	
2007	300.675.120	319.333.000	27.896.499	179.144.177	24.912.051	64.759.190	916.720.038
2008	309.872.959	316.802.419	29.273.897	196.941.689	25.855.949	73.847.298	952.594.312
2009	297.271.113	317.055.653	30.848.294	224.883.086	27.186.782	84.096.756	981.341.686
2010	355.412.885	310.548.074	33.122.376	255.568.629	28.743.347	84.146.777	1.067.542.087
2011	359.809.663	323.355.711	35.225.915	277.404.656	24.816.386	98.284.711	1.118.897.043
2012	376.159.363	349.084.289	35.200.167	308.235.640	25.055.850	111.081.769	1.204.817.077
2013	365.887.894	360.016.142	37.308.106	323.304.451	23.255.126	94.531.056	1.204.302.774
2014	257.337.423	369.893.470	38.112.729	334.202.726	20.157.451	99.424.786	1.119.168.585
2015	274.901.401	373.786.746	38.187.888	329.411.317	16.950.371	106.631.582	1.139.869.306

Sumber: Kementerian ESDM (2016)



Gambar 1.1 Grafik nilai *output* pada sektor industri furnitur
Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS)

Salah satu sektor industri yang saat ini sedang berkembang dengan pesat adalah industri furnitur kayu. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai *output* pada Gambar 1.1, yaitu nilai keluaran yang dihasilkan dari proses kegiatan industri yang terdiri dari barang yang dihasilkan, tenaga listrik yang dijual, selisih nilai stok barang setengah jadi, dan sebagainya. Meningkatnya nilai *output* disebabkan karena permintaan terhadap produk kerajinan dan mebel buatan semakin meningkat dengan pesat. Hal ini disebabkan karena terdapat peningkatan kualitas dan sosialisasi pengrajin di Indonesia. Peningkatan permintaan tersebut, menurut Kementerian Perindustrian, menyebabkan pertumbuhan industri mebel mencapai tujuh persen pada tahun 2014. Akan tetapi peningkatan permintaan pada industri furnitur kayu dapat menyebabkan peningkatan pada limbah yang dihasilkan pada proses produksi. Hal ini dikarenakan hanya sekitar 50% dari sebuah batang kayu yang dapat dipergunakan. Hampir seluruh bagian dari proses produksi kayu berkontribusi terhadap produksi limbah dengan jumlah yang berbeda (Mintarsih, 2006).

Selain banyaknya limbah yang dihasilkan, pembuatan *furnitur* kayu juga dapat menyebabkan kerusakan hutan karena banyaknya pohon yang ditebang apabila tidak ditanggulangi dengan penanaman pohon kembali.

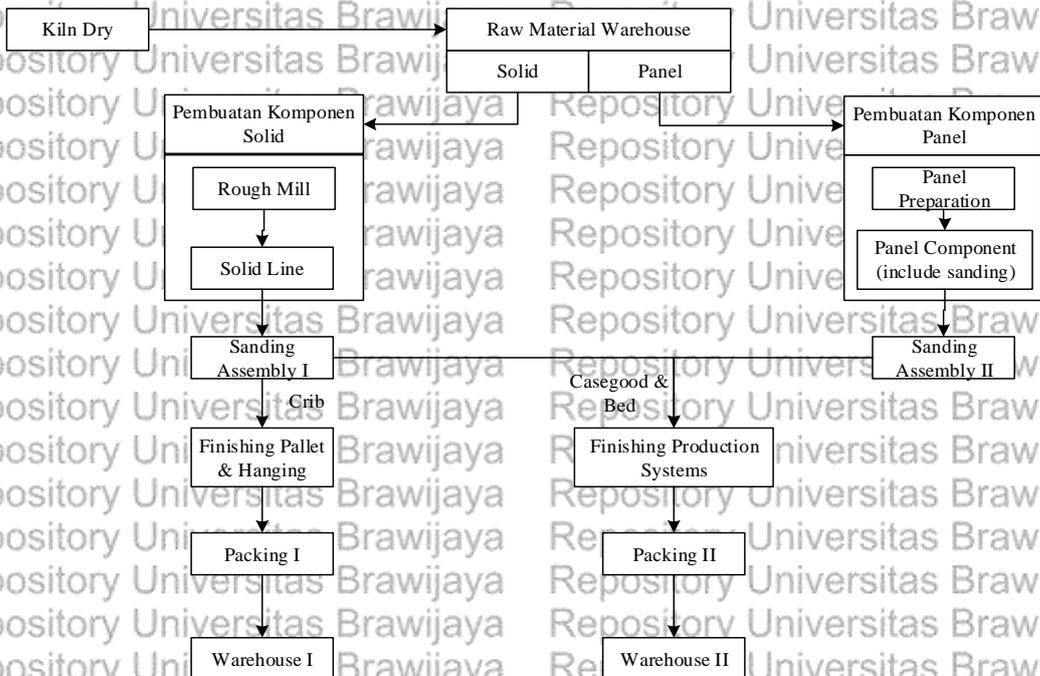
Perusahaan yang akan diteliti merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi furnitur kayu. Perusahaan furnitur kayu memiliki pabrik seluas 11 ha dan berlokasi di Pasuruan, Jawa Timur. Perusahaan furnitur kayu ini merupakan perusahaan *make to order* (MTO), namun terdapat beberapa jenis produk yang selalu diproduksi oleh perusahaan ini.

Salah satu nama lini produk yang sering dipesan oleh konsumen adalah Brighton. Brighton adalah lini produk di bidang furnitur kamar tidur dan memiliki beberapa jenis produk seperti lemari, laci, kasur dan kaca. Produk yang akan diteliti adalah Brighton NS Cinnamon atau sama dengan laci. Hal ini disebabkan karena permintaan dari Brighton NS

Cinnamon adalah permintaan yang paling banyak. Tabel 1.2 menunjukkan permintaan dari produk-produk Brighton. Gambar 1.2 merupakan produk laci Brighton yang diproduksi oleh perusahaan furnitur kayu ini dengan nama MFI Brighton NS Cinnamon. Proses produksi dari semua produk yang dihasilkan oleh perusahaan ini akan melalui beberapa tahap yaitu *kiln dry*; pengolahan komponen kayu solid yang terdiri dari *rough mill*, *solid line*; pengolahan komponen kayu panel yang terdiri dari *panel preparation* dan *panel component*; *sanding* dan *assembly*; *finishing* dan *packaging* seperti pada Gambar 1.3.



Gambar 1.2 Laci Brighton NS Cinnamon
Sumber: Perusahaan Furnitur Kayu



Gambar 1.3 Proses Produksi di perusahaan furnitur kayu
Sumber: Perusahaan Furnitur Kayu

Tabel 1.2
Permintaan Produk Brighton Tahun 2016

No.	Nama Produk	Unit	No.	Nama Produk	Unit
1	Brighton SLG FL HB Cinnamon	113	19	Brighton STRG QN/EK SR Cinnamon	160
2	Brighton SLG FL LP FL FB Cinnamon	116	20	Brighton STRG 4 DRW Cinnamon	216
3	Brighton SLG QN HB Cinnamon	1220	21	Brighton SLG TW HB Cinnamon	24
4	Brighton SLG LP QN FB Cinnamon	1103	22	Brighton SLG LP TW FB Cinnamon	29
5	Brighton SLG QN SR Cinnamon	15	23	Brighton SLG TW SR01 Cinnamon	31
6	Brighton SLG CK HB Cinnamon	280	24	Brighton SLG FL SR01 Cinnamon	104
7	Brighton SLG LP CK FB Cinnamon	227	25	Brighton SLG QN SR01 Cinnamon	1192
8	Brighton SLG EK HB Cinnamon	801	26	Brighton SLG CK SR01 Cinnamon	250
9	Brighton SLG LP EK FB Cinnamon	724	27	Brighton SLG EK SR01 Cinnamon	721
10	Brighton SLG EK SR Cinnamon	29	28	Brighton STRG QN FB Cinnamon	109
11	Brighton NS Cinnamon	3703	29	Brighton STRG FL FB Cinnamon	10
12	Brighton 7 DRW CHEST Cinnamon	998	30	Brighton STRG TW/FL Cinnamon	10
13	Brighton 9 DRW DRESSER Cinnamon	1837	31	Brighton STRG CK FB Cinnamon	38
14	Brighton DRESSER MIRROR Cinnamon	1480	32	Brighton STRG CK SR Cinnamon	40
15	Brighton ARMOIRE HUTCH Cinnamon	51	33	Brighton STRG EK FB Cinnamon	52
16	Brighton ARMOIRE HUTCH Cinnamon	51	34	Brighton STRG NS PWRO Cinnamon	480
17	Brighton MEDIA CHEST Cinnamon	28		Grand Total	16261
18	Brighton MEDIA CONSOLE Cinnamon	18			

Sumber: Data Perusahaan Furnitur Kayu (2016)

Selain menghasilkan laci Brighton NS Cinnamon, proses manufaktur Brighton NS Cinnamon menghasilkan beberapa jenis limbah. Limbah yang dihasilkan dari proses *kiln dry* adalah berupa abu hasil pembakaran. Limbah yang dihasilkan oleh pengolahan komponen kayu solid adalah serbuk kayu sedangkan untuk pengolahan komponen kayu panel adalah sisa kayu panel dari pemotongan. Limbah dari proses *sanding* dan *assembly* berupa serbuk kayu sedangkan limbah *finishing* berupa *sludge*.

Produk-produk Brighton akan dikirimkan ke Los Angeles, Amerika Serikat. Pengirimannya dilakukan melalui *sea freight* (laut) dengan container dari pelabuhan Tanjung Perak. Sebelum dilakukan pengiriman menggunakan kapal, dilakukan pengiriman

menggunakan truk ke pelabuhan di Surabaya. Seluruh kegiatan distribusi tersebut menyebabkan terjadinya limbah yang dihasilkan oleh proses distribusi produk laci Brighton NS Cinnamon, terutama limbah udara berupa CO₂ dan gas rumah kaca (*green house gas*) lainnya. Pada tahun 2009, *International Energy Agency* (IEA) memprediksi bahwa jika tidak ada perubahan pada trend penggunaan transportasi, gas rumah kaca yang akan dihasilkan pada tahun 2050 akan naik sebesar 113% dari tahun 2007.

Saat ini perusahaan furnitur kayu belum memiliki sertifikasi ISO 14001 yaitu tentang sistem manajemen lingkungan. Hal ini dikarenakan perusahaan furnitur kayu belum pernah melakukan pengukuran mengenai dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses produksi serta distribusinya. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini untuk menilai potensi dampak terhadap lingkungan selama siklus hidup produk laci Brighton.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Klöpffer (2008) dan Iritani (2014), serta beberapa peneliti lainnya, *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah salah satu metode untuk mengukur dampak lingkungan. LCA adalah proses mengevaluasi dampak yang akan ditimbulkan oleh produk terhadap lingkungan di sepanjang hidup produk, sehingga efisiensi penggunaan sumberdaya alam dapat ditingkatkan. Menurut ISO 14040, LCA didefinisikan sebagai evaluasi dari *input*, *output*, dan dampak lingkungan yang potensial dari sistem siklus hidup suatu produk. LCA telah banyak digunakan dikarenakan cara dalam menangani penilaian dampak dan kualitas data yang terintegrasi (Klöpffer, 2008).

Setelah LCA dilakukan, dapat diketahui dampak lingkungan yang paling besar dan setelah itu dapat diambil tindakan yang tepat untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi.

Pendekatan LCA dapat dibantu menggunakan *software* SIMAPRO 8.

Setelah diketahui dampak dari proses produksi, akan dicari alternatif perbaikan melalui pencarian studi literatur dan *brainstorming* dengan perusahaan. Diharapkan alternatif tersebut dapat mengurangi penggunaan energi dan limbah yang dihasilkan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang ada:

1. Adanya limbah yang dihasilkan oleh produksi laci Brighton pada perusahaan furnitur kayu.
2. Adanya limbah yang dihasilkan oleh distribusi laci Brighton pada perusahaan furnitur kayu.



6

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang ada sebagai berikut:

1. Apa saja potensi dampak yang dihasilkan oleh produksi dan distribusi laci Brighton NS Cinnamon?
2. Berapa nilai dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi dan distribusi laci Brighton NS Cinnamon menggunakan *software* SIMAPRO 8 ?
3. Bagaimana rekomendasi untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari produksi dan distribusi laci Brighton NS Cinnamon?

1.4 Tujuan Penelitian

Beberapa tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi dan distribusi laci Brighton NS Cinnamon.
2. Mengetahui seberapa besar dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi dan distribusi laci Brighton NS Cinnamon menggunakan *software* SIMAPRO 8.
3. Mengetahui rekomendasi terbaik untuk solusi pengurangan dampak lingkungan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat mengetahui proses yang memberikan dampak terbesar terhadap lingkungan
2. Mengurangi dampak lingkungan dan *waste* dari perusahaan furnitur kayu.
3. Membantu perusahaan untuk mendapatkan sertifikasi ISO 14001 mengenai manajemen sistem lingkungan.

1.6 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus dan tidak keluar dari topik yang dibahas maka ditentukan beberapa batasan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Penelitian dilakukan dari mulai *cradle to gate* yaitu pada proses ekstraksi sampai dengan distribusi produk laci Brighton NS Cinnamon.
2. Proses ekstraksi dari kayu panel tidak diperhitungkan.
3. Proses perbaikan hanya sampai tahap usulan saja, tidak sampai melakukan implementasi.



4. *Life-Cycle Inventory* dan *Life-Cycle Impact Assessment* disesuaikan dengan database pada software SIMAPRO 8.

1.7 Asumsi

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Penggunaan energi pada proses ekstraksi didapatkan dari perhitungan software SIMAPRO 8.
2. Jarak yang digunakan adalah jarak antar kota yang didapatkan melalui internet.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai beberapa teori yang mendukung dalam penelitian yang dilakukan. Teori-teori yang diuraikan hanya yang berkaitan dengan pokok permasalahan yang dibahas. Sehingga perhitungan, analisis dan pembahasan dapat dilakukan secara teoritis dan benar.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memaparkan beberapa konsep relevan yang berhubungan dengan penelitian ini. Berikut ini adalah penelitian sebelumnya mengenai LCA:

1. Iritani(2014) melakukan penelitian pada lemari yang terbuat dari *medium density particle board* di Brazil. Tujuan dari jurnal ini adalah untuk menganalisis strategi yang *sustainable* dengan menilai *envronmental performance* dari produk lemari yang terbuat dari *medium density particle board* dengan menggunakan teknik LCA. Siklus hidup yang diteliti adalah tipe *cradle-to-gate* yang terdiri dari 3 tahap utama, yaitu *supply* bahan baku, manufaktur lemari, dan distribusi lemari. Hasil dari penelitian ini adalah dampak lingkungan yang paling signifikan terjadi pada tahap *supply* bahan baku dan distribusi lemari, dan dampak yang paling relevan adalah kategori toksisitas manusia, pemanasan global dan *acidification*, dengan total 68% dari keseluruhan dampak. Untuk mengatasi hal tersebut, terdapat 2 strategi yang ditawarkan: mengoptimalkan sistem transportasi dan menggunakan bahan baku alternatif untuk manufaktur *medium density particle board*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa menggunakan 100% kayu bekas lebih ramah lingkungan dibandingkan *virgin wood*, karena terdapat minimasi golbal dari dampak-dampak yang potensial.
2. Putri (2014) melakukan penelitian terhadap aktivitas *supply chain* produk susu yang diproduksi oleh KUD Batu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh limbah dari aktivitas *supply chain* produk susu. Ruang lingkup dari penelitian ini adalah ekstraksi bahan baku susu sampai dengan distribusi produk jadi. Berdasarkan hasil LCA, aktivitas *supply chain* susu KUD Batu memiliki total dampak sebesar 11,1 kPt dengan komtribusi dampak tertinggi pada proses ekstraksi bahan baku susu sebesar 8,5 kPt. Kemudian didapatkan 3 usulan alternatif yaitu memberikan subsidi alat konversi biogas kepada

peternak, bekerjasama dengan perusahaan pupuk, dan mengganti kemasan botol menjadi botol kaca. Berdasarkan pendekatan ANP didapatkan alternatif strategi terbaik menggunakan kriteria *Benefit, Opportunity, Cost, Risk* (BOCR) yaitu alternatif 1 yaitu memberikan subsidi alat konversi biogas kepada para peternak.

3. Suryadarmawan (2014) melakukan penelitian terhadap batik cabut pada Griya Batik Gress Tenan Lawenan. Penelitian ini dilakukan karena pada proses pembuatan batik, bahan baku dan bahan baku penunjang mengandung unsur kimia yang memiliki potensi bahaya terhadap lingkungan. Metode yang digunakan untuk menilai tingkat *eco-efficiency* pada produk ini adalah metode *life cycle assessment* dan *life cycle cost*. *Eco-efficiency* merupakan perinsip gabungan antara konsep efisiensi ekonomi dan efisiensi sumber daya lingkungan. Dari hasil perhitungan, dapat diketahui masing-masing *score life cycle cost* (SLCC) adalah sebesar 4095,15 point dan Rp146.437.138,29 untuk 3120 potong kain batik cabut, sehingga diperoleh nilai *eco-efficiency* sebesar 36173,11. Usulan perbaikan yang diberikan adalah mengganti zat pewarna sintetis menjadi zat pewarna alam, dan mengkonversi penggunaan kayu menjadi LPG. Kedua usulan tersebut dapat mengurangi dampak lingkungan sebanyak 6,65%.

Rangkuman penelitian terdahulu dan perbandingan dengan penelitian saat ini terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Penelitian Terdahulu

Karakteristik Penelitian	Peneliti			
	Iritani (2014)	Putri (2014)	Suryadarmawan (2014)	Penelitian Saat Ini
Objek Penelitian	Lemari yang terbuat dari <i>medium density particle board</i> di Brazil	Susu KUD Batu	Batik	Laci
Tujuan	Menganalisis strategi <i>sustainable</i> dengan menilai performansi lingkungan dari lemari yang terbuat dari <i>medium density particle board</i>	Melakukan evaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan <i>supply chain</i> produk susu.	Mengetahui nilai dampak lingkungan pada produksi batik serta mengajukan usulan perbaikan.	Mengetahui dampak lingkungan dari produksi laci dan memberikan usulan perbaikan yang dipilih menggunakan metode ANP untuk mengurangi dampak.
Metode Penelitian	LCA	LCA dan ANP	LCA, LCC dan Eco-Efficiency	LCA dan Cleaner Production
Hasil Penelitian	Dampak lingkungan yang paling signifikan terjadi pada tahap <i>supply</i> bahan baku dan distribusi lemari. Pengurangan dampak lingkungan dilakukan dengan mengganti rute perjalanan serta mengganti bahan	Aktivitas <i>supply chain</i> susu KUD Batu memiliki nilai dampak 11,1 kPt dengan kontribusi terbesar dari proses ekstraksi bahan baku susu segar sebesar 8,5 kPt. Pengurangan dampak dilakukan dengan	Hasil <i>score life cycle assessment</i> dan <i>score life cycle cost</i> sebesar 4049,15 point dan Rp146.437.138,29, sehingga <i>eco-efficiency</i> sebesar 36173,11. Dari perbaikan yang diberikan didapatkan pengurangan sebesar 6,65%	

	baku.	memberi alat konversi biogas pada peternak.	
--	-------	---	--

2.2 Mebel

Mebel atau dalam bahasa inggris *furniture*, berasal dari bahasa Perancis aitu *meubel* yang berarti dapat dipindahkan (*mobile*). Mebel adalah sebuah alat yang digunakan untuk mendukung tubuh manusia, menyimpan atau menampilkan barang, dan membagi ruangan (partisi)(Postell, 2007). Mebel dapat dikategorikan sesuai dengan kegunaan sosial, yaitu *healthcare*, *hospitality*, kantor, rekreasi, agama, hunian, toko, dan penyimpanan. Secara umum, mebel berfungsi untuk mendukung aktivitas manusia, seperti duduk, tidur, bekerja, dan sebagainya. Selain itu, mebel juga berfungsi untuk memberikan kenyamanan dan keindahan bagi pengguna mebel. Terdapat beberapa jenis mebel sesuai dengan fungsinya (Widiatmoko, 2015), yaitu:

- a. Mebel untuk mendukung tubuh manusia dalam kegiatan sehari-hari seperti tidur duduk dan istirahat. Contoh mebel jenis ini adalah tempat tidur, kursi, sofa, kursi roda dan sebagainya.
- b. Mebel untuk mendukung aktivitas manusia seperti aktivitas makan, membaca buku, dan bekerja dengan komputer. Contoh dari mebel jenis ini adalah meja tulis, meja kerja, meja makan dan *workstation*.
- c. Mebel untuk menyimpan barang. Contoh dari mebel jenis ini adalah lemari baju, laci kerja, etalase dan sebagainya.
- d. Mebel untuk mendefinisikan ruang atau mempartisi ruangan. Contohnya pada sebuah kantor, mebel dapat digunakan untuk membagi ruangan-ruangan agar lebih teratur dan efisien serta memungkinkan pekerja untuk memiliki privasi.

2.3 Green Manufacturing

Green manufacturing adalah suatu proses produksi yang menggunakan input dengan dampak lingkungan yang relatif rendah, sangat efisien, dan menghasilkan sedikit bahkan tidak ada limbah atau polusi (Atlas dan Florida, 1998). Menurut pusat Green Manufacturing di Universitas Alabama, tujuan dari *green manufacturing* adalah untuk mencegah polusi dan menyimpan energi melalui penemuan dan pengembangan ilmu baru yang mengurangi dan menghilangkan penggunaan senyawa berbahaya pada desain manufaktur, dan aplikasi produk atau proses kimiawi. Proses manufaktur mempergunakan energi yang sangat banyak dikarenakan diperlukan pembakaran berbagai macam sumber daya alam, seperti bara dan gas, sedangkan pembakaran juga menyebabkan polusi udara. *Green*

manufacturing bisa memberikan dampak ke beberapa hal (Porter dan Van der Linde, 1995), yaitu:

1. Harga bahan baku yang lebih rendah. Contohnya, bahan baku akan murah jika menggunakan limbah daur ulang, daripada menggunakan bahan baku *virgin*.
2. Efisiensi produksi meningkat. *Green manufacturing* bisa menyebabkan pengurangan penggunaan energi dan air.
3. Pengeluaran kesehatan lingkungan dan pekerja berkurang. Dengan menerapkan *green manufacturing* dapat mengurangi hambatan potensial.

4. *Image* perusahaan membaik. Penerapan *green manufacturing* dapat meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap dampak lingkungan yang disebabkan oleh perusahaan.

Hampir seluruh studi *green manufacturing* akan mempelajari dua hal: *Supply* dari energi yang lebih ramah lingkungan dan menghemat energi melali teknologi baru; dan memperpanjang siklus hidup dari polutan dan limbah, dan meningkatkan efisiensi produksi melalui proses-proses baru. Tabel 2.2 menunjukkan sepuluh tindakan pengurang limbah yang sangat sering dilakukan dari 81.547 aktivitas pengurang limbah yang ada.

Tabel 2.2
Tindakan Pengurangan Limbah Berbahaya yang Sering Dilakukan

Persentase dari semua Kegiatan (%)	Jenis Kegiatan
8,9	Meningkatkan penjadwalan perbaikan, <i>recordkeeping</i> dan prosedur
8,0	Mengubah cara beroperasi (tanpa mengubah alat)
7,1	Mengganti bahan baku
6,5	Mengurangi aktivitas sumber daya (tidak spesifik)
5,1	Menghentikan pencampuran limbah berbahaya dan tidak berbahaya
4,8	Memodifikasi alat, layout atau <i>piping</i>
4,6	Memodifikasi proses lainnya
4,4	Memperbaiki kontrol pada operasi
4,1	Memastikan material tidak berada pada <i>inventory</i> diluar <i>shelf-life</i>
4,1	Mengganti pembersih air

Sumber: US. Environmental Protection Agency Biennial Reporting System (1995)

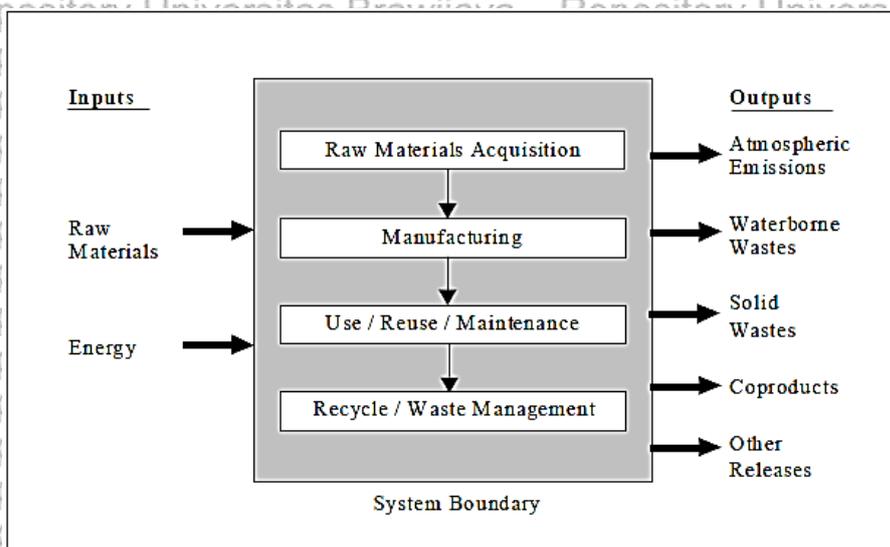
2.4 Life Cycle Assessment

Dalam ISO 14001, *life cycle assessment* adalah kompilasi dan evaluasi *input*, *output* dan dampak lingkungan yang potensial dari sistem produk di seluruh siklus hidupnya.

Sedangkan menurut Curran (1996), penilaian daur hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) adalah suatu metode pengukuran dampak suatu produk tertentu terhadap ekosistem yang dilakukan dengan mengidentifikasi, mengukur, menganalisis, dan menakar besarnya

konsumsi energi, bahan baku, emisi serta faktor-faktor lainnya yang berkaitan dengan produk tersebut sepanjang siklus hidupnya.

Siklus hidup dari suatu produk dimulai dari proses ekstraksi bahan baku dari alam, proses manufaktur di pabrik, proses penggunaan produk oleh konsumen hingga produk menjadi limbah dan dibuang ke alam. Masing-masing tahap pada siklus hidup tersebut akan mengkonsumsi sumber daya dan menghasilkan emisi atau limbah. Sumber daya yang digunakan biasa disebut *input* sistem, sedangkan limbah dan emisi yang dihasilkan disebut dengan *output* dari sistem produksi. Gambar 2.1 menunjukkan *input* dan *output* dari suatu siklus hidup suatu produk.



Gambar 2.1 Input dan output tiap tahap siklus hidup
Sumber: Scientific Applications International Corporation [SIAC] (2016)

Life cycle assessment telah ada sejak tahun 1960an. Metode ini disebutkan dalam salah satu publikasi pertama Harold Smith untuk Konferensi Energi Dunia pada 1963. Pada tahun 1969, sebuah penelitian dilakukan di perusahaan Coca-Cola. Penelitian tersebut menjadi dasar dari metode *life cycle inventory analysis*. Perusahaan-perusahaan di Amerika Serikat serta Eropa juga ikut melakukan penelitian berbasis *life cycle inventory analysis* pada awal tahun 1970. Namun pada tahun 1975 hingga awal tahun 1980, ketertarikan terhadap ilmu ini menurun dikarenakan semakin menurunnya dampak dari krisis minyak. Pada tahun 1988, isu mengenai *solid waste* mulai bermunculan, sehingga metode LCA mulai sering digunakan kembali. Pada tahun 1989, Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) menjadi salah satu badan internasional pertama yang bertindak sebagai organisasi yang menaungi untuk hal-hal yang terkait dengan LCA.

Selain SETAC, badan internasional yang menaungi LCA adalah ISO (*International Organization of Standardization*). ISO adalah organisasi swasta yang bertujuan untuk membakukan berbagai spesifikasi untuk produk, jasa dan sistem, agar kualitas, keselamatan dan efisiensi dapat terjamin. Salah satu program utama dari ISO adalah ISO 14000, yang berkaitan dengan Pengelolaan Sistem Lingkungan Hidup, serta serangkaian standar yang berkaitan dengan LCA. Tabel 2.3 adalah perkembangan dokumen ISO yang berkaitan dengan LCA.

Tabel 2.3
Dokumen ISO untuk *Life Cycle Assessment*

Nomor	Judul	Tahun
14040	<i>Principle and framework</i>	1996, 2000
14041	<i>Goal and scope definition and inventory analysis</i>	1998
14042	<i>Life cycle impact assessment</i>	2000
14043	<i>Life cycle interpretations</i>	2000
14044	<i>Requirements and guidelines</i>	2006
14047	<i>Examples of application of ISO 14042</i>	2003
14048	<i>Data documentation format</i>	2001
14049	<i>Examples of application of ISO 14041</i>	2000

Sumber: Curran (2012)

Berikut ini adalah beberapa manfaat yang bisa didapatkan dari LCA (Megasari *et al*, 2008):

1. Perbaikan produk: Dengan metode LCA, pembuat produk dapat mengidentifikasi pilihan biaya yang paling efisien dan efektif bagi pengurang dampak lingkungan dari produk atau jasa. Perbaikan ini mampu membuat produk lebih diinginkan oleh konsumen.
2. Perbaikan proses: LCA dapat digunakan untuk mengevaluasi operasi atau proses produksi perusahaan. LCA dapat menawarkan pilihan untuk perbaikan efisiensi seperti meminimalkan penggunaan sumber daya dan limbah, dan memperbaiki kualitas proses.
3. Perencanaan strategis: LCA dapat digunakan sebagai salah satu acuan untuk perencanaan strategis. Jika peraturan mengenai lingkungan dan harapan lingkungan meningkat, akan mengakibatkan peningkatan tekanan terhadap perusahaan untuk memperbaiki kinerja operasinya.

2.4.1 Tahap Amatan dalam *Life Cycle Assessment*

Tahap amatan dalam LCA dapat dibagi menjadi empat macam (*Scientific Applications International Corporation*, 2006):

a. Ekstraksi *Raw Material*

Siklus hidup suatu produk dimulai dari perpindahan *raw material* dan sumber energi dari bumi. Memotong pohon dan menambang material yang tidak dapat diperbaharui termasuk salah satu contoh ekstraksi bahan baku. Selain itu, transportasi bahan-bahan baku tersebut, mulai dari tempat pengambilan ke proses pengolahannya termasuk ke dalam tahap ini.

b. *Material Processing* dan Manufaktur

Banyak proses yang terlibat dalam produksi. Selama proses ini, bahan baku diubah menjadi suatu produk, hingga selanjutnya sampai ke tangan konsumen. Proses manufaktur terdiri dari 3 bagian yaitu *material manufacture*, *product fabrication*, dan *filling packaging*. Tahap ini adalah tahap utama dari analisa siklus hidup.

c. *Use/ Reuse/ Maintenance*

Tahap ini melibatkan cara penggunaan, *reuse* dan *maintenance* yang dilakukan oleh konsumen, serta seluruh aktivitas yang berhubungan dengan waktu guna produk. Di dalam tahap ini, perhitungan kebutuhan energi dan buangan *environmental* dari penyimpanan dan konsumsi produk juga termasuk. Apabila produk memerlukan *recondition*, maka perbaikan atau servis untuk mempertahankan performansi juga termasuk ke dalam tahap ini. Saat konsumen sudah tidak memerlukan produk, produk ini akan dibuang atau di daur ulang.

d. *Recycle/Waste Management*

Tahap ini memperhitungkan kebutuhan energi dan *waste* ke lingkungan yang berhubungan dengan disposisi produk dan material.

2.4.2 Ruang Lingkup dalam *Life Cycle Assessment*

Ruang lingkup pada LCA dapat dibagi menjadi empat macam yaitu *cradle to grave*, *cradle to gate*, *gate to gate*, *cradle to cradle* (Hermawan, 2013):

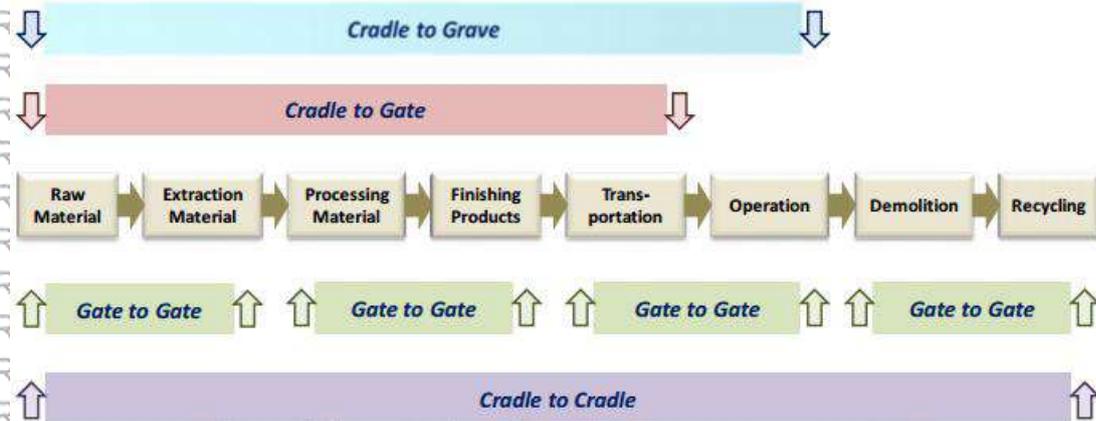
a. *Cradle to grave*, ruang lingkup ini dimulai dari ekstraksi *raw material* sampai dengan kembalinya seluruh material ke bumi.

b. *Cradle to gate*, ruang lingkup pada analisis daur hidup dimulai dari ekstraksi *raw material* sampai ke gerbang perusahaan (*gate*), atau sebelum produk didistribusikan ke konsumen. Fase *use* dan *disposal* dari produk dihilangkan pada tahap ini.

c. *Gate to gate* merupakan ruang lingkup pada analisis daur hidup yang terpendek karena hanya meninjau pada proses yang memiliki nilai tambah dalam aliran proses.

d. *Cradle to cradle* merupakan bagian dari analisis daur hidup yang menunjukkan ruang lingkup dari *raw material* sampai pada daur ulang material.

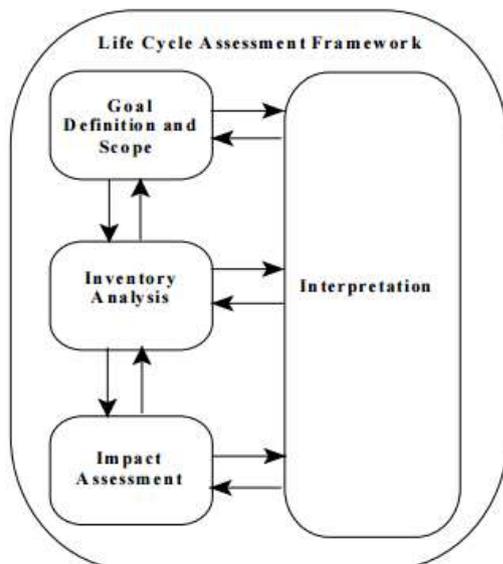
Gambar 2.2 menunjukkan ruang lingkup yang dapat dinilai pada *life cycle assessment*.



Gambar 2.2 Ruang lingkup *life cycle assessment*
Sumber: Hermawan (2013)

2.4.3 Fase Pelaksanaan *Life Cycle Assessment*

Berdasarkan ISO 14040 terdapat 4 fase pada pelaksanaan *life cycle assessment*, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, *life cycle inventory (LCI)*, *life cycle impact assessment (LCIA)* dan *impact assessment*. Gambar 2.3 Menunjukkan hubungan dari masing-masing langkah.



Gambar 2.3 Langkah-langkah dalam LCA
Sumber: ISO 14001

2.4.3.1 Tujuan dan Ruang Lingkup

Fase pertama yang harus dilakukan dalam melakukan LCA adalah mendefinisikan tujuan dan metode, termasuk dampak lingkungan siklus hidup ke dalam proses pengambilan keputusan. Hal ini perlu dilakukan untuk mengidentifikasi kegiatan yang diperkirakan dapat menimbulkan dampak penting terhadap lingkungan.

Pada tahap ini, dilakukan pendefinisian *functional unit*. Unit fungsional adalah suatu ukuran dari fungsi yang dimiliki oleh sistem yang dipelajari dan memberikan referensi input dan *output* mana yang bisa direlasikan. Unit fungsional memungkinkan perbandingan antara dua sistem yang berbeda. Contohnya, unit fungsional dari suatu sistem pengecatan adalah unit permukaan yang terlindungi selama 10 tahun. Perbandingan dampak lingkungan antara 2 sistem pengecatan dengan unit fungsional yang sama dapat dilakukan.

2.4.3.2 Life Cycle Inventory (LCI)

Pada fase *inventory analysis* dilakukan pengumpulan data dan perhitungan prosedur untuk mengkuantifikasi *input* dan *output* yang bersangkutan pada suatu proses produksi.

Input dari suatu proses produksi salah satunya meliputi kebutuhan energi dan bahan baku, sedangkan *output* meliputi emisi atmosfer, limbah padat, dan limbah lainnya. Dalam fase ini, dijelaskan pula mengenai sistem produksi dan unit proses penyusunannya. Hasil dari LCI adalah suatu daftar yang berisi jumlah polusi yang dihasilkan ke lingkungan dan jumlah energi dan materi yang dikonsumsi. Dalam dokumen EPA pada tahun 1993 dan 1995 mengenai *life cycle assessment*, diberikan kerangka untuk melakukan analisis persediaan dan menilai kualitas data yang digunakan serta hasilnya. Dari kedua dokumen tersebut, disebutkan terdapat 4 langkah dalam melakukan *life cycle inventory*, yaitu:

- a. Membuat diagram alir dari proses yang sedang dievaluasi.
- b. Membuat rencana pengumpulan data.
- c. Mengumpulkan data.
- d. Mengevaluasi dan melaporkan hasil.

2.4.3.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Life Cycle Impact Assessment adalah fase ketiga dari LCA yang melakukan evaluasi terhadap potensi dampak terhadap kesehatan manusia dan lingkungan dari sumber daya lingkungan dan limbah yang telah diidentifikasi di tahap LCI. LCIA bertujuan untuk menghubungkan antara produk dan proses dengan dampak lingkungan potensialnya.

Berikut ini adalah tahap-tahap untuk melakukan LCIA:

- a. **Pemilihan dan Pendefinisian Kategori Dampak:** Identifikasi kategori dampak lingkungan yang relevan, contohnya *global warming, acidification, terrestrial toxicity*.
- b. **Classification:** identifikasi hasil LCI dengan kategori dampak yang sesuai, contohnya mengklasifikasikan emisi karbon dioksida dengan pemanasan global.
- c. **Characterization:** memodelkan dampak LCI dalam kategori dampak menggunakan faktor konversi berbasis ilmu pengetahuan. Contohnya, pemodelan dampak potensial dari karbon dioksida dan metana pada pemanasan global. *Characterization* merupakan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori *impact*. Nilai kontribusi relatif dari substansi dapat diketahui dengan mengalikan substansi yang berkontribusi pada kategori *impact* dengan *characterization factors*.
- d. **Normalization:** menggambarkan dampak potensial dalam cara yang dapat dibandingkan (misalnya membandingkan dampak pemanasan global karbon dioksida dan metana untuk dua pilihan). Nilai normalisasi dapat diketahui dengan cara membagi nilai *characterization* dengan nilai "normal", sehingga semua *impact category* memiliki unit yang sama dan bisa dibandingkan.
- e. **Grouping:** menyortir atau memberikan peringkat kepada indikator (misalnya menyortir indikator berdasarkan lokasi: lokal, regional, dan global).
- f. **Weighting:** memberikan penekanan pada dampak potensial yang paling penting. Nilai perbandingan berdasarkan pembobotan antar kategori didapatkan dengan cara mengalikan nilai *impact* dengan faktor *weighting*.
- g. **Evaluasi dan pelaporan hasil LCIA.**

ISO mengembangkan sebuah standar untuk melakukan penilaian dampak yang berjudul ISO 14042, yang menyebutkan bahwa 3 langkah pertama, yaitu pemilihan kategori, klasifikasi dan karakterisasi, adalah langkah utama untuk melakukan LCIA. Sedangkan langkah-langkah lainnya bersifat opsional, tergantung pada tujuan dan lingkup penelitian.

2.4.3.4 Life Cycle Interpretation

Life Cycle Interpretation adalah teknik yang sistematis untuk mengidentifikasi, mengukur, memeriksa, dan mengevaluasi informasi dari hasil LCI dan LCIA, dan mengkomunikasikannya secara efektif. Fase ini adalah fase terakhir dari proses LCA (Curran, 2006). ISO telah menetapkan dua tujuan interpretasi siklus hidup:

a. Menganalisis hasil, mencapai kesimpulan, menjelaskan batasan, dan memberikan rekomendasi berdasarkan temuan dari fase-fase sebelumnya, serta melaporkan hasil interpretasi siklus hidup secara transparan.

b. Memberikan presentasi yang mudah dipahami, lengkap, dan konsisten dari hasil studi LCA, sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup penelitian. (ISO 1998b).

Tujuan melaksanakan LCA adalah untuk lebih menginformasikan para pengambil keputusan dengan menyediakan jenis informasi tertentu yang biasanya tidak dipertimbangkan, dengan perspektif siklus hidup dari dampak lingkungan dan kesehatan manusia yang terkait dengan setiap produk atau proses. Namun, LCA tidak memperhitungkan performansi, biaya, atau politik dan sosial. Oleh karena itu, dianjurkan bahwa LCA dihubungkan dengan parameter lainnya.

Pada ISO 14044 (2006) terdapat langkah-langkah standar untuk melakukan interpretasi LCA. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk melakukan interpretasi siklus hidup dalam ISO 14044:

1. Identifikasi masalah signifikan berdasarkan LCI dan LCIA.
2. Evaluasi yang mempertimbangkan kelengkapan, sensitivitas, dan cek konsistensi.
3. Kesimpulan, rekomendasi, dan pelaporan.

2.5 SIMAPRO 8

SIMAPRO 8 adalah sebuah *software* yang digunakan untuk mengumpulkan, menganalisa dan memonitor data kinerja *sustainability* produk dan jasa perusahaan. Software ini dapat diaplikasikan untuk pelaporan *sustainability*, karbon dan *footprinting* air, desain produk, menghasilkan deklarasi produk lingkungan dan juga menentukan indikator kinerja utama. SIMAPRO 8 dapat digunakan untuk mengumpulkan data, menganalisa data dan mengawasi *life cycle* dari produk dari mulai ekstraksi bahan baku, *supply chain*, distribusi, penggunaan sampai dengan akhir siklus hidup produk dengan menggunakan database yang telah ada.

SIMAPRO 8 adalah salah satu perangkat *life cycle assessment* terkemuka serta dengan reputasi 25 tahun di industri dan akademisi pada lebih dari 80 negara. Keuntungan menggunakan SIMAPRO 8 antara lain adalah:

1. Dapat memodelkan dan menganalisis siklus hidup yang kompleks dengan cara yang sistematis dan transparan.
2. Dapat mengukur dampak lingkungan dari produk dan jasa di semua tahapan siklus hidup.

3. Dapat mengidentifikasi *hotspot* di setiap link dari *supply chain*, dari mulai ekstraksi bahan baku hingga pembuangan.

Penggunaan program ini sudah sesuai dengan ISO 14040 mengenai LCA, sehingga penggunaan program ini lebih akurat untuk menganalisis LCA. Akan tetapi, program ini memiliki kelemahan, yaitu *database* yang digunakan hanya terbatas pada wilayah Amerika Serikat dan Eropa.

2.6 *Cleaner Production*

Cleaner production (CP) adalah sebuah strategi bisnis preventif yang dirancang untuk menghemat sumber daya, mengurangi risiko pada manusia dan lingkungan dan mempromosikan efisiensi yang lebih melalui teknik dan teknologi produksi yang lebih baik. Selain untuk memperbaiki lingkungan, keselamatan dan kesehatan, teknik *cleaner production* juga memberikan kesempatan untuk mengurangi biaya operasi dan meningkatkan kualitas produksi.

Perusahaan bisa mendapatkan keuntungan dari *cleaner production* melalui penggunaan *input* dan permesinan yang lebih efektif, kualitas barang yang lebih tinggi yang menyebabkan harga yang lebih tinggi serta biaya pembuangan limbah yang lebih kecil. Perbaikan standar keselamatan juga dapat membantu perusahaan untuk menghindari kecelakaan yang memakan biaya tinggi dan absensi pekerja. Metode *cleaner production* terdiri dari hal-hal berikut (U.S. Agency International Development [USAID], 2009):

1. Manajemen rumah tangga yang baik

Memberikan tindakan dan operasional yang sesuai agar tidak terjadi kebocoran (*leaks*) dan kelebihan muatan (*spills*).

2. Substitusi *Input*

Mensubstitusikan *input* material yang digunakan saat ini dengan material yang lebih ramah lingkungan, bisa diperbaharui, atau yang memiliki ketahanan yang lebih panjang.

3. Kontrol Proses yang Lebih Baik

Mengubah prosedur operasional, instruksi penggunaan alat serta tempat penyimpanan data agar dapat menjalankan proses dengan lebih efisien

4. Modifikasi Alat

Memodifikasi proses dan alat agar lebih efisien dalam penggunaan energi dan sumber daya serta memiliki limbah yang lebih kecil.

5. Pergantian Teknologi





Upgrade alat dan permesinan menjadi alat yang lebih hemat energi dan menghasilkan limbah dan emisi yang lebih sedikit saat produksi.

6. *On-site Recovery/Reuse*

Menggunakan sisa material dari suatu proses agar bermanfaat pada proses lain di perusahaan tersebut.

7. *Modifikasi Produk*

Memodifikasi produk agar meminimasi dampak lingkungan pada saat dan setelah pembuangan serta saat produksi.



BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah tahap yang harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum melakukan penyelesaian masalah yang sedang dibahas. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian agar proses penelitian dapat terarah, terstruktur dan sistematis. Pada bab ini juga akan dibahas mengenai metode penelitian, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian, metode pengumpulan data serta langkah-langkah penelitian.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk jenis penelitian deskriptif. Menurut Arikunto (2006) penelitian deskriptif adalah penelitian yang dimaksudkan untuk mengumpulkan informasi mengenai status suatu gejala yang ada, yaitu keadaan gejala menurut apa adanya pada saat penelitian. Penelitian ini akan membahas mengenai dampak lingkungan yang terjadi akibat dari siklus hidup laci Brighton NS. Cinnamon berdasarkan data-data yang ada serta menentukan seberapa besar dampak yang diberikan.

3.2 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di sebuah perusahaan furnitur kayu yang terletak di Pasuruan, Jawa Timur. Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Februari hingga Juli 2017.

3.3 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang didapat secara tidak langsung dari objek penelitian. Biasanya data sekunder berupa dokumen, *file*, arsip atau catatan-catatan perusahaan atau instansi.

Berikut adalah data-data yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Jenis limbah yang dihasilkan pada kegiatan produksi dan distribusi
2. Data jarak tempuh pada kegiatan transportasi
3. Data produksi bulanan
4. Data *input* dan *output* tiap proses
5. Data proses produksi

6. Data penggunaan listrik dan energi
7. Data distributor
8. Data penggunaan transportasi
9. Data penggunaan alat transportasi dan kapasitas alat transportasi
10. Database SIMAPRO 8, yaitu termasuk ecoinvent v3, Agri-footprint, US LCI, ELCD, EU and Danish Input Output, Industry data v.2 and Swiss Input Output.

Sedangkan metode pengumpulan data adalah sebagai berikut:

1. Wawancara

Wawancara merupakan metode pengumpulan data dengan cara berkomunikasi langsung dengan pihak-pihak yang berhubungan langsung dengan obyek yang diteliti. Pihak yang diwawancarai antara lain kepala bagian produksi dan beberapa staf karyawan di perusahaan furnitur kayu. Pertanyaan yang diajukan terkait mengenai proses-proses dari produksi laci Brighton NS Cinnamon dan siklus hidup dari produk.

2. Dokumentasi Perusahaan

Dokumentasi perusahaan merupakan metode pengumpulan data yang berasal dari arsip, dokumen, atau catatan yang dimiliki perusahaan. Dokumen ini digunakan sebagai pelengkap atau penunjang dalam penelitian.

3.4 Langkah-Langkah Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat penjelasan mengenai tahapan penelitian, yaitu tahap pendahuluan, tahap pengolahan data dan tahap analisa dan pembahasan.

3.4.1 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Observasi lapangan

Langkah awal yang perlu dilakukan adalah melakukan pengamatan langsung ke tempat penelitian untuk mendapatkan gambaran dari kondisi sebenarnya dari objek yang akan diteliti. Hal ini akan bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas tentang objek penelitiannya. Dari hasil studi lapangan ini, peneliti dapat mengetahui permasalahan yang terjadi pada perusahaan tersebut.

2. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti. Sumber literatur berasal dari



buku, jurnal, dan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan *Life-Cycle Assessment* (LCA).

3. Identifikasi masalah

Identifikasi masalah dilakukan dengan tujuan mencari permasalahan yang terjadi.

Setelah melakukan studi lapangan dan mendapat gambaran jelas permasalahan yang ada maka peneliti dapat melakukan identifikasi masalah dengan dibantu pembimbing lapangan untuk mendapatkan informasi tambahan.

4. Perumusan tujuan penelitian

Setelah mengetahui permasalahan yang akan diteliti, tahap selanjutnya adalah menetapkan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian yaitu mengevaluasi dampak lingkungan dari proses produksi dan distribusi laci Brighton NS Cinnamon.

3.4.2 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data merupakan pelaksanaan *Life-Cycle Assessment* (LCA) produk laci. Pelaksanaan LCA melalui empat tahap yaitu (ISO 14040):

1. Menentukan tujuan dan lingkup LCA

Pada tahap ini, dilakukan penentuan tujuan, ruang lingkup dari LCA, yaitu *cradle to gate*, dan pendefinisian *functional unit*.

2. Perhitungan *Life-Cycle Inventory* (LCI)

Pada perhitungan LCI, dilakukan perhitungan untuk mengkuantifikasi *input* dan *output* pada suatu proses produksi. Terdapat 4 langkah yang dapat dilakukan yaitu:

- a. Membuat diagram alir dari proses yang sedang dievaluasi.
- b. Membuat rencana pengumpulan data.
- c. Mengumpulkan data.

d. Mengevaluasi dan melaporkan hasil.

3. Melakukan *Life Cycle Impact Analysis* (LCIA)

Dalam tahap LCIA, dilakukan evaluasi terhadap potensi dampak yang dapat terjadi.

Tahap-tahap dalam melakukan LCIA adalah sebagai berikut:

- a. Pemilihan dan Pendefinisian Kategori Dampak
- b. *Classification*
- c. *Characterization*
- d. *Normalization*
- e. *Grouping*
- f. *Weighting*

g. Evaluasi

4. Melakukan *Life Cycle Interpretation*

Pada tahap *Life Cycle Interpretation*, dilakukan analisis hasil dan kesimpulan.

Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan *software* SIMAPRO 8, LCI dan LCIA disesuaikan dengan *database* yang terdapat pada SIMAPRO 8. Dari *software* SIMAPRO 8, akan didapatkan bobot *impact* dari kegiatan produksi dan distribusi sehingga diketahui kegiatan mana yang berdampak terbesar terhadap lingkungan. Selanjutnya alternatif-alternatif perbaikan akan dirumuskan melalui *brainstorming*

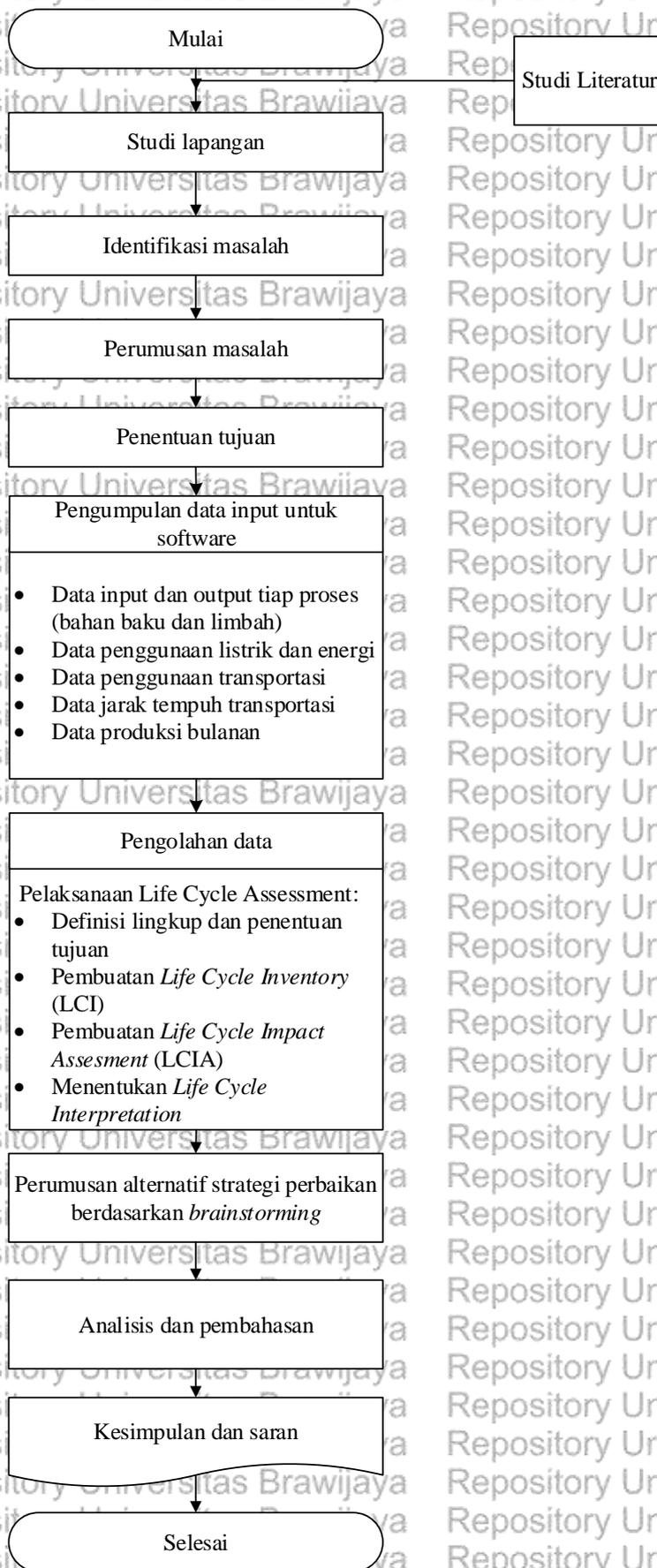
3.4.3 Tahap Analisa dan Kesimpulan

Pada tahap analisa akan dijelaskan hasil pengolahan data pada SIMAPRO 8 dan kemudian menentukan usulan perbaikan yang kemudian disusun menjadi alternatif-alternatif perbaikan sehingga dapat terpilih alternatif terbaik yang akan diterapkan pada perusahaan untuk mencapai tujuan.

Tahap akhir dari penelitian ini adalah penarikan kesimpulan dan memberikan saran terhadap seluruh proses penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan harus dapat menjawab poin pokok yang terdapat pada rumusan masalah. Sedangkan saran yang diberikan sebagai rekomendasi terhadap perusahaan dan penelitian yang sejenis yang mungkin dilakukan di masa yang akan datang.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian digambarkan dalam diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Penelitian tahap awal meliputi studi lapangan dan studi pustaka dan diakhiri pada tahap kesimpulan dan saran.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, dijelaskan mengenai gambaran umum perusahaan furnitur kayu dan data-data yang dikumpulkan. Selanjutnya, data-data yang telah terkumpul tersebut diolah menggunakan teori-teori yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, sehingga didapatkan hasil penelitian yang menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya.

4.1. Gambaran Umum Perusahaan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai profil dari perusahaan, visi dan misi dari perusahaan serta struktur organisasi yang ada di perusahaan.

4.1.1 Sejarah Perusahaan

Perusahaan yang diteliti adalah perusahaan Penanaman Modal Dalam Negeri (PMDN) yang bergerak di industri mebel kayu. Penanaman Modal Dalam Negeri (PMDN) adalah kegiatan menanam modal untuk melakukan usaha di wilayah negara Republik Indonesia yang dilakukan oleh penanam modal dalam negeri dengan menggunakan modal dalam negeri. Perusahaan furnitur kayu didirikan pada awal Desember 1989 di Pasuruan, Jawa Timur dengan luas lahan sebesar 5,4 hektar.

Pada tahun 24 Maret 2006 perusahaan ini mendapatkan ISO 9001:2008 dalam sistem manajemen mutu. Hal tersebut menunjukkan bahwa produk mebel yang dihasilkan oleh perusahaan furnitur kayu telah memenuhi persyaratan internasional dalam hal penjaminan mutu. Selain itu, perusahaan furnitur kayu juga mendapatkan sertifikasi *Indonesian Legal Wood BRIK-VLK-0158* serta *JPMA Certified*.

Visi perusahaan adalah menjadi salah satu *market leader* dalam industri *furniture* di Indonesia, sedangkan misinya adalah menciptakan *furniture* berkualitas tinggi dengan desain yang *reliable* serta menciptakan produk yang baik untuk memuaskan pelanggan. Saat ini, perusahaan *furnituree* ini merupakan salah satu perusahaan terbesar di wilayah Jawa Timur dengan luas lahan sebesar 11 hektar dan kapasitas produksi 150 *container* per bulan. Dalam pengoperasiannya, pabrik ini *menggunakan* mesin-mesin yang berasal dari Jerman, Italia dan Taiwan sehingga dapat menghasilkan produk berkualitas tinggi.

Perusahaan produsen *furniture* kayu ini merupakan perusahaan yang memiliki jenis perusahaan *make to order* dengan 21 jenis varian produk

Dalam usaha untuk memenuhi kepuasan pelanggan, pada tanggal 15 Juli 2014 perusahaan memperkejakan karyawan sebanyak 1798 yang terdiri dari karyawan tetap dan *outsourcing* dengan latar belakang pendidikan yang beragam dari mulai jenjang SD hingga S2.

Fasilitas yang tersedia di perusahaan furnitur kayu adalah sebagai berikut:

1. Kantin
2. Mess
3. Lahan Parkir
4. Musholla
5. Sepeda keliling untuk *mobile* keliling lapangan
6. Klinik
7. Koperasi
8. ATM
9. Lapangan/Gedung serbaguna

4.1.2 Visi dan Misi

Visi dari perusahaan furnitur kayu adalah sebagai berikut:

“Menjadi salah satu *market leader* dalam industri *furniture*”

Sedangkan misi dari perusahaan adalah sebagai berikut:

Menciptakan *furniture* berkualitas tinggi dengan desain yang *reliable* serta menciptakan produk yang baik untuk memuaskan pelanggan.

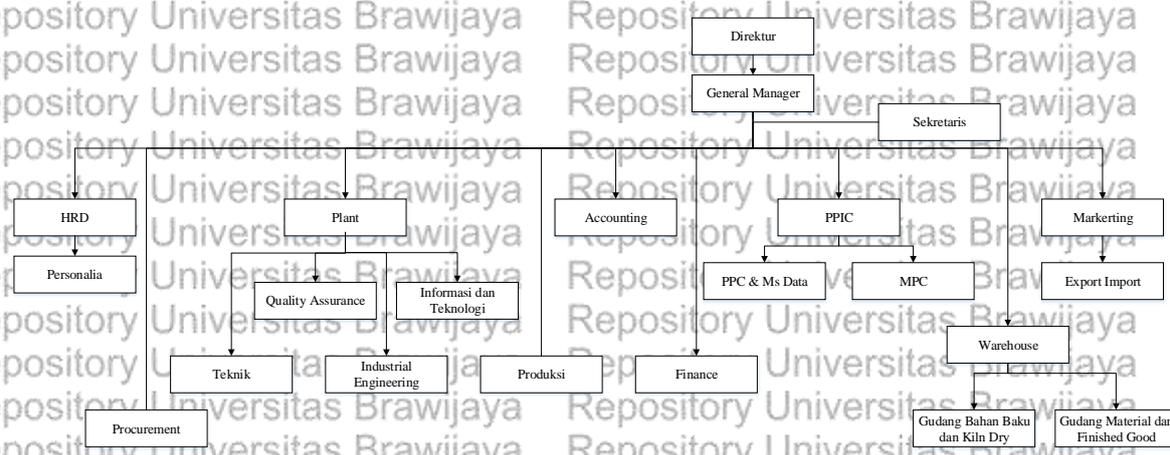
4.1.3 Budaya Kerja Perusahaan

Budaya kerja di perusahaan furnitur kayu tertuang dalam “PANCA KRIDA” antara lain:

1. Kedisiplinan
2. Kerjasama
3. Sadar Biaya
4. Pelayanan Bermutu
5. Semangat Belajar

4.1.4 Struktur Organisasi

Pada struktur organisasi di perusahaan furnitur kayu, pemegang jabatan tertinggi adalah direktur. Di bawah direktur, terdapat *general manager* yang membawahi 9 departemen dan dibantu oleh sekretaris. Sembilan departemen tersebut adalah Departemen *Human Resource and Development*, Departemen *Procurement*, Departemen *Plant*, Departemen *Produksi*, Departemen *PPIC*, Departemen *Warehouse*, Departemen *Marketing*. Masing-masing departemen dipimpin oleh manager. Beberapa manager membawahi sub-departemen yang dipimpin oleh asisten manager. Di bawah sub-departemen, terdapat beberapa bidang yang dipimpin oleh supervisor. Masing-masing bidang memiliki tugas serta wewenang dalam proses pelaksanaan produksi, pengawasan produksi, maupun mengkoordinir proses yang ada di perusahaan. Gambar 4.1 merupakan struktur organisasi dari perusahaan.



Gambar 4.1 Struktur organisasi perusahaan furnitur kayu

Sumber: Perusahaan furnitur kayu

4.1.5 Manajemen Personalia

Waktu operasi dari pabrik dari perusahaan adalah sebagai berikut:

Dalam 1 hari : 7 jam

Dalam 1 minggu : 6 hari kerja

Dalam 1 bulan : 22 hari

Sedangkan untuk pembagian shift tenaga kerja dibagi menjadi 2 shift, yaitu sebagai berikut:

Shift 1 : 07.00 – 15.00

Shift 2 : 22.00 – 06.00

4.1.6 Produk Brighton NS Cinnamon

Brighton NS Cinnamon adalah laci yang terdapat pada koleksi Brighton Cinnamon yang diproduksi oleh perusahaan furnitur kayu. Brighton Cinnamon sendiri merupakan koleksi *furniture* kamar tidur yang terdiri dari tempat tidur, lemari, laci dan tempat penyimpanan. Produk-produk Brighton Cinnamon dibuat menggunakan bahan baku kayu mahony dan *cherry veneer*. Laci Brighton NS Cinnamon memiliki volume sebesar 45,72 x 63,5 x 68,58 cm. Gambar 1.2 merupakan gambar dari laci Brighton NS Cinnamon.

4.1.7 Proses Produksi

Proses produksi adalah suatu teknik yang merubah *input* menjadi *output* sehingga dapat menghasilkan barang atau jasa yang memiliki nilai tambah. Pada perusahaan furnitur kayu, proses produksi yang dilakukan adalah mengubah kayu, sebagai bahan baku utama, menjadi *furniture* dengan melakukan pengolahan dan beberapa pemrosesan serta menambahkan material tambahan seperti *thinner*, *coating* dan sebagainya.

4.1.7.1 Proses Pengolahan

Secara umum, proses produksi yang terjadi pada perusahaan furnitur kayu terbagi menjadi enam proses. Bahan baku yang berbentuk kayu *solid* akan melewati lini *kiln dry*, *rough mill*, dan *solid component*. Sedangkan bahan baku yang berbentuk panel akan melewati lini *kiln dry*, *panel preparation* dan *panel component*. Setelah diproses pada lini-lini tersebut, semua komponen akan digabungkan pada lini *sanding* dan *assembling*, dan kemudian masuk ke lini *finishing* dan *packaging*. Gambar 1.3 menunjukkan alur proses produksi di perusahaan furnitur kayu. Untuk gambar pada masing-masing proses dapat dilihat pada Gambar 4.2. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing proses.

1. *Kiln dry*

Pada tahap ini, bahan baku kayu *solid* yang baru datang akan dikeringkan di *kiln dry*, yaitu sebuah ruangan dengan pemanas untuk meninggikan suhu ruangan. Pada perusahaan furnitur kayu ini terdapat 12 kamar untuk proses *kiln dry*. Kayu yang akan digunakan harus memiliki kadar air yang rendah sehingga ketika kayu sudah menjadi mebel, kayu tidak mengalami penyusutan. Alat yang digunakan untuk melakukan *kiln dry* adalah *boiler*. Selanjutnya, kayu yang berbentuk *solid* akan dipindahkan ke proses

pengolahan kayu solid. Sedangkan kayu panel yang baru datang akan dipindahkan ke proses pengolahan kayu panel.

2. Pengolahan Komponen Kayu Solid

Pada proses ini terdapat dua lini produksi, yaitu lini *rough mill* dan *solid component* (komponen solid). Kayu *solid* yang masuk pada akan dilakukan *rough mill*, atau pembentukan kasar. Pada proses ini, dilakukan pemotongan, pengetaman kasar (*planer*), pembentukan dan rekomposisi (*compose*) dari *solid lumber* (batang).

Pengetaman adalah proses dimana batang kayu dihaluskan menjadi bentuk balok. Sedangkan proses *composing* adalah proses dimana kayu yang sudah diproses di pengetaman akan digabung menjadi satu untuk menghasilkan kayu yang lebih besar.

Hasil dari lini proses ini adalah bentuk dasar komponen *solid* sebelum nantinya komponen-komponen tersebut akan di bentuk di lini komponen *solid*. Pada lini ini, material yang akan dibentuk menjadi kotak biasa akan melewati beberapa proses yaitu *moulding*, *double end tenoner*, dan bor. *Moulding* adalah proses yang sama pengetaman atau *planer*, akan tetapi pengetaman di *rough mill* adalah pengetaman kasar, sedangkan *moulding* adalah pengetaman yang lebih halus. Sedangkan *double end tenoner* adalah pengetaman untuk 2 sisi yang belum dilakukan pengetaman.

Apabila bentuk dari komponen *solid* adalah bundar, maka komponen *solid* akan melewati proses tambahan yaitu *band saw*, *shaper* dan *round tenoner*. Selanjutnya material akan dipindahkan ke lini *sanding and assembly*.

3. Pengolahan Komponen Kayu Panel

Pada proses pengolahan komponen kayu panel, terdapat 2 lini yang dilewati yaitu *panel preparation* dan *panel component* (komponen panel). Panel-panel yang telah melewati proses *klin dry* akan masuk ke *panel preparation*. Panel akan melewati proses pemotongan. Apabila panel tidak dilapisi oleh *veneer*, maka bentuk dari potongan sesuai dengan bentuk yang dibutuhkan. Apabila panel dilapisi *veneer*, potongan akan diberikan *allowance* dengan rata-rata ukuran 10 mm untuk nantinya dilapisi *veneer*. Setelah itu panel akan melewati proses *press* untuk menempelkan *veneer* dan dipotong sesuai bentuk jadi. Setelah panel sudah dibentuk, panel akan masuk ke lini komponen panel. Pada lini ini, panel-panel akan dibor sesuai kebutuhan.

4. *Sanding* dan *Assembling*

Semua komponen yang telah dibentuk akan melewati proses *sanding*, yaitu proses pengamplasan atau penghalusan kayu. Setelah melewati proses *sanding*, semua kayu akan dirakit di proses *assembly*.

5. *Finishing line*

Pada *finishing line*, produk akan dibaluri dengan *thinner*, *body stain*, *top coat*, dan *sealer*. Proses pada lini ini digunakan untuk memberikan warna serta mengawetkan kayu.

6. *Packaging*

Lini terakhir sebelum produk dikirim ke konsumen adalah lini *packaging*. Pada lini ini, produk-produk akan dilengkapi dengan *hardware*, label produk, melalui inspeksi akhir dan dibersihkan dan kemudian dibungkus. Setelah produk selesai di *packaging*, produk akan dipindahkan ke gudang.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)





Gambar 4.2 Area pabrik yang terdapat pada perusahaan *furnituree* (a) gudang bahan baku (b) *rough mill* (c) *solid component* (d) *panel component* (e) *sanding line* (f) *assembly line* (g) *pallet finishing line* (h) *production system finishing line* (i) *packaging line* (j) *finished good warehouse*

Sumber: Perusahaan furnitur kayu

4.1.7.2 Mesin yang Digunakan

Dalam memproduksi produk Brighton NS Cinnamon dibutuhkan berbagai macam mesin mulai dari awal proses produksi sampai dengan akhir proses produksi dimana pada setiap mesin mempunyai fungsi, *power*, serta jumlah pemakaian per unit. Untuk data keseluruhan mesin dan alat yang akan digunakan pada proses produksi Brighton NS Cinnamon adalah seperti Tabel 4.1. Total dari pemakaian daya listrik didapatkan dengan cara menjumlahkan *power* yang dikalikan dengan jumlah pemakaian.

Tabel 4.1
Mesin untuk Proses Produksi Brighton NS Cinnamon

	Nama Mesin	Fungsi	<i>Power</i>	Jumlah pemakaian (per unit)	
<i>Kiln dry</i>	<i>Boiler</i>	Pengeringan Kayu	Solar		
	<i>Cut Off Saw</i>	Memotong kayu	2,2 kwh	25	
	<i>Double Planer</i>	Mengetam kayu	1,65 kwh	28	
	<i>Multi Rip Saw</i>	Memotong kayu	22 kwh	23	
	<i>Clam Carrier Moulding</i>	Komposisi kayu	8,5 kwh	9	
	<i>Moulding</i>	Komposisi kayu	8,5 kwh	17	
	<i>Double Cut and drill</i>	Memotong dan mengebor kayu	11 kwh	12	
	<i>Solid Component</i>	<i>Multi Horizontal drill</i>	Mengebor kayu	4,5 kwh	15
		<i>Double End Tenoner</i>	Mengetam kayu	28,8 kwh	3
		<i>Band Saw</i>	Memotong kayu	15,18 kwh	4
<i>Double Shaper</i>		Merubah bentuk kayu	22 kwh	14	
<i>Round Tenoner</i>		Mengetam kayu dalam bentuk	2,2 kwh	2	
<i>Wide Belt Sander</i>		Mengamplas kayu/penghalusan	18,62 kwh	16	
		Total		2640,86 kwh	
<i>Panel Component</i>	<i>Giben Saw</i>	Memotong kayu	12,67 kwh	12	
	<i>Calibrating</i>	Mengamplas veneer	56,62 kwh	7	
	<i>Hot Press</i>	Pengeleman veneer ke panel	5,5 kwh	5	
	<i>Double End Tenoner</i>	Mengetam kayu	28,8 kwh	12	
	<i>Wide Belt Cross Sander</i>	Mengamplas kayu/penghalusan	15,94 kwh	6	
	<i>CNC Router</i>	Menggrafir kayu	2,2 kwh	1	
	<i>Curve Bander</i>	Membengkokkan kayu	0,75 kwh	1	

<i>Double Profile Sander</i>	Mengamplas kayu/ penghalusan	56,62 kwh	1
Mesin potong <i>veneer</i>	Memotong <i>veneer</i>	11,2 kwh	18
Mesin jahit <i>veneer</i>	Menjahit <i>veneer</i>	13,5 kwh	10
Total		1499,69 kwh	

Sumber: Perusahaan furnitur kayu

4.2 Tujuan dan Ruang Lingkup Amatan *Life Cycle Assessment*

Tahap pertama adalah menentukan tujuan, yaitu mengidentifikasi potensi dampak lingkungan dari setiap siklus hidup dari laci Brighton NS Cinnamon. Tahap selanjutnya adalah menentukan ruang lingkup dari penelitian ini. Dalam menentukan ruang lingkup, perlu ditentukan unit fungsional dan sistem produksi dari laci Brighton NS Cinnamon.

Menurut ISO 14040, unit fungsional harus merepresentasikan aspek kuantitatif dan kualitatif dari laci. Sehingga untuk aspek kualitatif, laci dapat digunakan untuk menyimpan barang-barang pribadi di lingkungan kamar tidur. Dan untuk aspek kuantitatifnya laci Brighton NS Cinnamon memiliki berat sebesar 37 kg dan dapat digunakan selama 5 tahun tanpa penggantian *sparepart* atau perbaikan. Sehingga *functional unit* dari laci Brighton NS Cinnamon adalah berat 37 kg selama 5 tahun.

Tahap yang akan diamati, menurut perspektif *cradle-to-gate*, hal ini dikarenakan fase pemakaian (*use*) dan pembuang (*disposal*) pada mebel tidak memberikan dampak lingkungan yang terlalu signifikan. Terdapat 4 tahap siklus hidup, yaitu proses ekstraksi bahan baku utama, supply bahan baku, proses produksi laci dan distribusi produk jadi.

4.3 *Life Cycle Inventory*

Life cycle inventory adalah suatu daftar yang berisi jumlah polusi yang dihasilkan ke lingkungan dan jumlah energi dan materi yang dikonsumsi. Pada tahap ini, dilakukan perhitungan jumlah *input* dan *output* dari setiap proses. *Input* terdiri dari seluruh bahan material dan energi yang digunakan pada sebuah proses, sedangkan *output* terdiri dari seluruh hasil dari sebuah proses, baik berupa produk maupun emisi atau *waste*. Data *input* dan *output* bisa didapatkan dari hasil pengamatan di lapangan, data historis maupun dari referensi penelitian terdahulu.

Data-data *input* dan *output* akan dimasukkan ke dalam *software* SIMAPRO 8. *Software* SIMAPRO membantu melakukan analisis terhadap aspek-aspek lingkungan secara sistematis terhadap aspek-aspek lingkungan dari sistem amatan sehingga dapat diketahui dampak lingkungan yang dihasilkan oleh sistem tersebut. Data-data yang ada

harus disesuaikan dengan *database* yang terdapat di dalam *software* SIMAPRO 8 agar hasilnya dapat mendekati kondisi yang sebenarnya pada objek yang diamati.

4.3.1 Proses Ekstraksi Bahan Baku Kayu *Solid*

Pada proses ini, bahan baku yang akan dianalisis ekstraksinya adalah bahan baku kayu *solid*. Pada tahap ini tidak dilakukan perhitungan kayu panel karena kayu panel membutuhkan proses produksi yang panjang dan disupply dari perusahaan penghasil kayu panel, sedangkan kayu *solid* didapatkan langsung dari hutan. Perusahaan furnitur kayu tidak memproduksi bahan baku kayu *solid* serta panel dan selalu melakukan supply bahan baku tersebut dari pihak eksternal. Hal ini juga menyebabkan tidak dapat dilakukan perhitungan emisi dari ekstraksi bahan baku kayu *solid*.

Menurut data yang terdapat pada SIMAPRO 8, pohon yang memiliki berat 1,25 ton dapat digunakan untuk membuat 1 ton kayu, sisa 0,25 ton kayu akan dianggap sebagai *wood waste*. Pemotongan pohon digunakan menggunakan *chain saw* yang memiliki *production rate* sebesar 25 ton/jam. Dengan asumsi satu pohon memiliki berat 1,25 ton, maka untuk memotong 1 pohon dibutuhkan waktu 3 menit penggunaan *chain saw*.

Untuk memproduksi NS Brighton Cinnamon, kayu *solid* yang digunakan ada 2 jenis, yaitu kayu meranti dan kayu mahoni. Jumlah kayu yang dibutuhkan adalah 0,042 m³ kayu mahoni dan 0,001 m³ kayu meranti. Agar satuan yang digunakan dapat sesuai dengan *software* SIMAPRO 8, maka jumlah kayu tersebut akan dikonversikan ke dalam kg dengan cara mengalikan volume kayu dengan massa jenis kayu. Massa jenis kayu mahoni adalah sekitar 750 kg/ m³, sedangkan massa jenis dari kayu meranti adalah sekitar 710 kg/m³. Maka diperkirakan jumlah kayu yang dibutuhkan untuk memproduksi laci Brighton NS Cinnamon adalah:

$$\text{Massa Kayu Mahoni} : 0,042 \text{ m}^3 \times 750 \text{ kg/m}^3 = 31,5 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Massa Kayu Meranti} : 0,001 \text{ m}^3 \times 710 \text{ kg/m}^3 = 0,71 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Total Kebutuhan Kayu Solid} = 32,21 \text{ kg/unit}$$

Berdasarkan data yang didapatkan dari SIMAPRO, untuk memproduksi 1 ton kayu, dibutuhkan kayu seberat 1,25 ton. Sehingga untuk memproduksi 32,21 kg kayu dibutuhkan 27,1375 kg, sedangkan waste dari proses ekstraksi ini adalah sisa kayu yang tidak digunakan berupa batang dan ranting. Perhitungan kebutuhan kayu serta *waste* dari proses ekstraksi kayu *solid* adalah sebagai berikut.

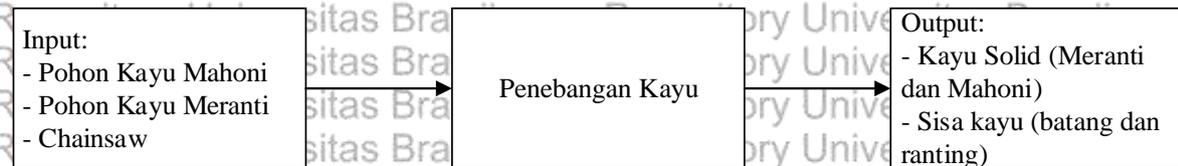
$$\text{Kebutuhan kayu} : \frac{1,25 \times 1000 \text{ kg}}{1 \times 1000 \text{ kg}} \times 32,21 \text{ kg} = 40,2625 \text{ kg}$$

Waste: $27,1375 \text{ kg} - 21,71 \text{ kg} = 5,4275 \text{ kg}$

Dan untuk memotong $27,1375 \text{ kg}$ kayu, dibutuhkan waktu pemakaian *chainsaw* sebagai berikut:

Waktu pemakaian *chainsaw*: $\frac{27,1375 \text{ kg}}{25000 \text{ kg/jam}} \times 60 \text{ menit} = 0,06513 \text{ menit}$

Gambar 4.3 menunjukkan diagram alir penebangan pohon. Sedangkan *input* pada *software* SIMAPRO 8 untuk proses ekstraksi bahan baku kayu *solid* ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Diagram alir proses ekstraksi kayu solid

Products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
Kayu solid	21,71	kg	Mass	100 %	not defined	Wood	

Inputs							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD *2 or 2*SDMin	Max	Comment
Wood, unspecified, standing kg		27,1375	kg	Undefined			
Chainsawing, debarking, HE, FC/ANA		0,06513	jam	Undefined			

Output							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD *2 or 2*SDMin	Max	Comment
Wood waste		5,4275	kg	Undefined			

Gambar 4.4 Input proses ekstraksi bahan baku

4.3.2 Transportasi dan Distribusi

Terdapat 2 jenis bahan baku yang terbuat dari kayu, yaitu kayu *solid* dan kayu panel.

Bahan baku kayu *solid* yang digunakan dalam pembuatan laci Brighton NS Cinnamon adalah kayu mahoni dan meranti. Sedangkan panel yang digunakan adalah *medium density fibre* dan *particle board*.

Supply kayu mahoni dilakukan dari Tasikmalaya, dengan menggunakan truk yang berkapasitas sekitar 35 m^3 . Sedangkan kayu meranti dikirimkan dari Palu, Sulawesi Tengah dengan menggunakan kapal ke Surabaya, dan dilanjutkan dengan menggunakan truk berkapasitas 15 m^3 ke perusahaan.

Sedangkan untuk supply panel dilakukan dari Palembang menggunakan kapal menuju Surabaya. Dari Surabaya, panel-panel tersebut akan dikirimkan ke perusahaan menggunakan truk gandeng bermuatan. Jumlah panel yang digunakan untuk membuat

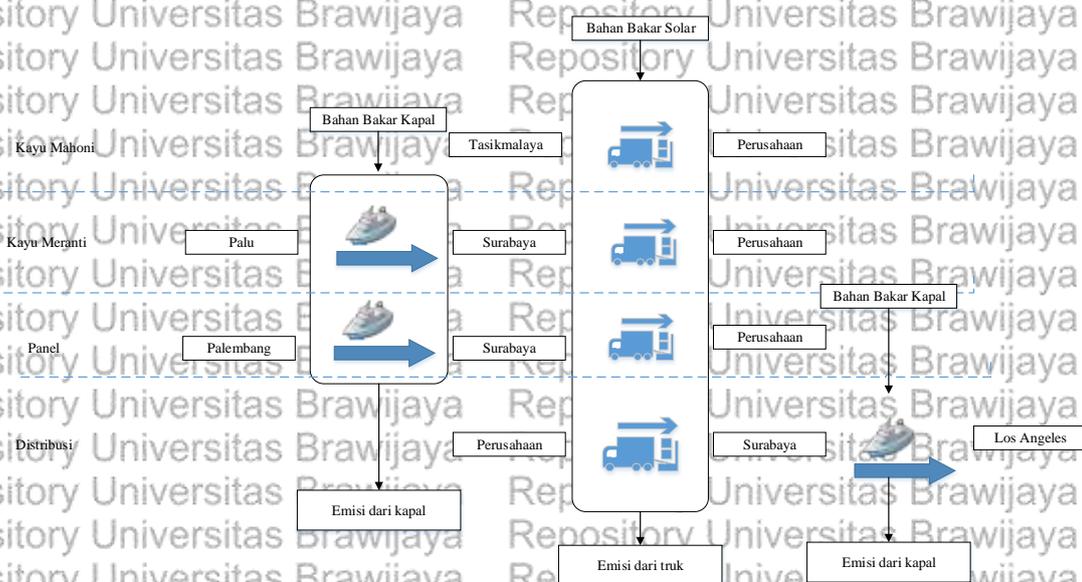
produk Brighton NS Cinnamon dalam sebuah unit adalah 24,322 kg dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Massa Kayu MDF} : 0,020699 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 700 \text{ kg/m}^3 = 14,489 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Massa Kayu PB} : 0,015128 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 650 \text{ kg/m}^3 = 9,833 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Total} : 14,489 + 9,833 \text{ kg/unit} = 24,322 \text{ kg/unit}$$

Sedangkan untuk pengiriman *sample* laci Brighton NS Cinnamon dapat dilakukan menggunakan 2 cara, melalui udara (*air freight*) dari Bandar Udara Juanda, Surabaya dan laut (*sea freight*), tergantung dari permintaan konsumen. Sedangkan untuk pengiriman *mass production* atau berjumlah lebih dari satu, pengiriman dilakukan menggunakan truk bermuatan 68 m³ melalui laut dari pelabuhan Tanjung Perak. Produk Brighton NS Cinnamon memiliki massa sebesar 37 kg dengan berat *packaging* 5 kg. Sehingga berat total dari satu buah Brighton NS Cinnamon adalah 42 kg. Diagram alir dari proses transportasi dan distribusi adalah seperti Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Diagram alir proses transportasi dan distribusi

Untuk *software* SIMAPRO 8, unit satuan yang diperlukan untuk menilai dampak transportasi adalah kgkm, sehingga perlu dilakukan konversi satuan dengan cara mengalikan beban angkut dengan jarak yang ditempuh. Sehingga perhitungan *input* kategori transportasi bahan baku dapat dilihat pada Tabel 4.2. Data tersebut kemudian dimasukkan ke Simapro 8 bersama dengan jenis kendaraan yang telah disesuaikan dengan *database* Simapro 8 seperti pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.

Untuk membandingkan seluruh proses transportasi dan distribusi, masing-masing proses dimasukkan ke *assembly* yang ada di SIMAPRO sehingga diperoleh *input* seperti Gambar

4.8. Berikut ini adalah contoh perhitungan konversi satuan tkm untuk transportasi kayu mahoni:

$$\text{Transportasi kayu mahoni: } \frac{21 \text{ kg}}{1000 \text{ ton}} \times 617,2 \text{ km} = 12,9612 \text{ tkm}$$

Tabel 4.2

Data Jarak Transportasi di Perusahaan Furnitur Kayu

Jenis Kayu	Asal	Tujuan	Jarak	Transportasi	Total tKm
Mahoni	Tasikmalaya	Perusahaan	617,2 km	Truk bermuatan 35 m ³	12,9612
Meranti	Palu	Surabaya	1670,1 km	Kapal	1,185771
	Surabaya	Perusahaan	43,5 km	Truk gandeng	0,030885
Panel	Palembang	Surabaya	1.361,6 km	Kapal	33,1168
	Surabaya	Perusahaan	43,5 km	Truk gandeng	1,058
Distribusi Produk Jadi	Perusahaan	Surabaya	43,5 km	Truk bermuatan 68 m ³	1,827
	Surabaya	Los Angeles	14001 km	Kapal laut	588,042

Products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Category	Comment
Transportasi Kayu Mahoni	12,9612	tkm	Transport	100 %	Transportasi Brighton	

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Known outputs to technosphere. Avoided products

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD ⁺ 2 or 2 ⁺ SDMin	Max	Comment
Transport, truck 10-20t, EURO 1, 100%NP, default/GLO energy	12,9612	tkm	Undefined			

Gambar 4.6 Input proses transportasi supply kayu mahoni

Products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Category	Comment
Transportasi Kayu Meranti	1,216656	tkm	Transport	100 %	Transportasi Brighton	

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Known outputs to technosphere. Avoided products

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD ⁺ 2 or 2 ⁺ SDMin	Max	Comment
Transport, freight, sea, transoceanic ship (GLO) market for Conseq, U	1,185771	tkm	Undefined			
Transport, combination truck, short-haul, diesel powered/tier/RNA	0,030885	tkm	Undefined			

Gambar 4.7 Input proses transportasi supply kayu meranti

Products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Category	Comment
Transportasi Kayu Panel	34,174802	tkm	Transport	100 %	Transportasi Brighton	

Known outputs to technosphere. Products and co-products

Known outputs to technosphere. Avoided products

Inputs

Known inputs from nature (resources)

Known inputs from technosphere (materials/fuels)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD ⁺ 2 or 2 ⁺ SDMin	Max	Comment
Transport, freight, sea, transoceanic ship (GLO) market for Conseq, U	33,116832	tkm	Undefined			
Transport, combination truck, short-haul, diesel powered/tier/RNA	1,05807	tkm	Undefined			

Gambar 4.8 Input proses transportasi supply kayu panel

Gambar 4.9 Input proses distribusi produk jadi

Gambar 4.10 Input proses transportasi dan distribusi

4.3.3 Proses Produksi

Untuk memproduksi laci Brighton NS Cinnamon, bahan baku yang awalnya tersimpan di akan melewati 8 lini proses sebelum akhirnya masuk ke gudang bahan jadi dan siap dikirim ke konsumen. Jumlah bahan yang diperlukan untuk membuat satu buah laci Brighton NS Cinnamon dapat dilihat pada Lampiran 1. Berikut ini adalah perhitungan *input* dan *output* dari setiap proses.

1. Kiln dry

Pada proses *kiln dry*, dilakukan pengeringan kayu *solid* menggunakan *boiler*. Pada proses pembuatan Brighton NS Cinnamon, jumlah kayu yang dikeringkan adalah 21,71 kg setiap unitnya. Bahan baku yang digunakan untuk *boiler* adalah air sebanyak 0,75 m³ setiap harinya dengan menggunakan bahan bakar solar sebanyak 2.695,67 liter. Kebutuhan air dapat dilihat di Lampiran 1. Akan tetapi dalam sekali pengeringan di *kiln dry*, kayu yang dikeringkan tidak hanya untuk produk Brighton NS Cinnamon, sehingga perlu dilakukan perhitungan persentase penggunaan *kiln dry* untuk produk Brighton NS Cinnamon. Untuk itu, perlu dilakukan perhitungan kapasitas produksi *kiln dry* secara keseluruhan. Dalam setahun, *kiln dry* di perusahaan furnitur kayu memiliki kapasitas produksi 158.400 m³. Dan dalam setahun, kayu untuk Brighton NS

Cinnamon memiliki berat 159,229 m³. Sehingga persentase penggunaan *kiln dry* untuk Brighton NS Cinnamon adalah 0,1005%. Selanjutnya untuk perhitungan air, solar dan *waste* akan dikalikan dengan persentase tersebut. Dalam proses *kiln dry* ini, *output* yang dikeluarkan adalah abu sebanyak 0,5 m³/hari. Selain solar dan air, kayu sisa dari proses pembuatan kayu solid dan panel juga merupakan *input* dari *kiln dry*. Kayu solid dan panel bekas digunakan sebagai bahan bakar di *boiler*. Tabel 4.3 adalah kebutuhan material pada *Kiln dry*. Sedangkan *input* pada SIMAPRO untuk proses *kiln dry* dapat dilihat pada Gambar 4.9.

a. *Input*

$$\text{Kayu} = 21 \text{ kg mahoni} + 0,71 \text{ kg meranti} = 21,71 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Kapasitas produksi Kiln dry} = \text{kapasitas produksi kiln dry/hari/ruangan} \times \text{jumlah ruangan} \times \text{jumlah hari/bulan} \times \text{jumlah bulan/tahun}$$

$$= 50 \text{ m}^3/\text{hari} \times 12 \text{ ruangan} \times 22 \text{ hari} \times 12 \text{ bulan}$$

$$= 158.400 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Persentase penggunaan KD untuk Brighton NS Cinnamon

$$= \frac{\text{Total Kayu} \times \text{jumlah unit/tahun}}{\text{Kapasitas Produksi KD/tahun}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,043 \text{ m}^3 \times 3703 \text{ unit/tahun}}{158.400} \times 100\%$$

$$= \frac{159,229 \text{ m}^3/\text{tahun}}{158.400 \text{ m}^3/\text{tahun}} \times 100\%$$

$$= 0,1005\%$$

$$\text{Rata-rata produksi Brighton NS Cinnamon per hari} = \frac{3703 \text{ unit}}{22 \text{ hari} \times 12 \text{ bulan}} \approx 14 \text{ unit}$$

$$\text{Air} = \frac{0,75 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,1005\%}{14 \text{ unit/hari}}$$

$$= 0,0000539 \text{ m}^3/\text{unit}$$

$$\text{Solar} = \frac{2.695,67 \text{ liter/hari} \times 0,001 \text{ m}^3 \times 0,82 \text{ kg/m}^3 \times 0,1005\%}{14 \text{ unit/hari}}$$

$$= 0,0001597 \text{ kg/unit}$$

b. *Output*

$$\text{Kayu Hasil Kiln dry} = 21,71 \text{ kg}$$

c. *Waste*

$$\text{Abu Pembakaran} = \frac{0,5 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,1005\% \times 641 \text{ kg/m}^3}{14 \text{ unit/hari}}$$

$$= 0,023013 \text{ kg/hari}$$

Tabel 4.3

Input dan Output Proses Kiln dry

Kategori	Material	Material pada	Jumlah
----------	----------	---------------	--------

		SIMAPRO	
<i>Input</i>	Air	<i>Water</i>	0,0000539 m ³
	Kayu	<i>Kayu Solid</i>	21,71 kg
	Solar	<i>Diesel</i>	0,0001597 kg
	Kayu panel bekas	<i>Wood fuel, MDF</i>	7,783 kg
	Kayu <i>solid</i> bekas	<i>Wood fuel, softwood</i>	5,2104 kg
<i>Output</i>	Kayu	Kayu Hasil <i>Kiln dry</i>	21,71 kg
<i>Waste</i>	Abu Pembakaran	<i>Waste Incinerator</i>	0,023013 kg

The screenshot displays the SIMAPRO software interface with the following sections:

- Products:** A table listing 'Known outputs to technosphere. Products and co-products' with columns for Name, Amount, Unit, Quantity, Allocation % Waste type, Category, and Comment. One entry is 'Kayu Hasil Kiln Dry' with an amount of 21,71 kg.
- Inputs:** A table listing 'Known inputs from nature (resources)' and 'Known inputs from technosphere (materials/fuels)'. The 'Known inputs from nature' section includes 'Water, unspecified natural origin, medium water stress' with an amount of 0,0000539 m³. The 'Known inputs from technosphere' section includes 'Kayu Solid' (21,71 kg), 'Diesel (Rustic) (market for | Corvus, U)' (0,0022 kg), 'Wood fuel, softwood, kiln dried, at planer mill, HE-tC/Ag/RNA' (5,2104 kg), and 'Wood waste, at HCP and Ag/RNA' (7,783 kg).
- Heat waste from:** A table listing 'Known inputs from technosphere (electricity/heat)' with columns for Name, Amount, Unit, Distribution, SO² or 2*SO² Mtr, Hcs, and Comment. One entry is 'Steam, from condenser' with an amount of 0,02177 kg.

Gambar 4.11 *Input* dan *output* untuk kayu hasil *kiln dry*

2. Pengolahan Kayu *Solid*

Dikarenakan banyaknya komponen serta sedikitnya waktu yang ada untuk penelitian, maka proses-proses di lini *rough mill* dan komponen *solid* digabung menjadi pengolahan kayu *solid*. Bahan baku dari proses pengolahan kayu *solid* adalah kayu *solid* sebanyak 0,16 kg/unit. Bahan-bahan tambahan yang digunakan pada proses pengolahan kayu adalah lem dan hardiner. Pada proses ini, kayu *solid* akan dipotong, dan di bentuk sesuai dengan bentuk yang diperlukan. Mesin-mesin yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan membutuhkan listrik sejumlah 2640,86 Kwh. Sisa dari pemotongan kayu dan serbuk-serbuk kayu akan digunakan untuk pembakaran di *boiler Kiln dry*. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, didapatkan bahwa pada lini *rough mill*, *waste* dari proses pengetaman adalah sekitar 20% dari jumlah kebutuhan kayu. Sedangkan pada lini komponen *solid*, *waste* yang dihasilkan adalah sekitar 15% dari kayu. Tabel 4.4 menunjukkan data *input* serta *output* pada proses pengolahan kayu *solid*. Dan Gambar 4.10 menunjukkan *input* pada SIMAPRO untuk proses pengolahan kayu *solid*. Pada tahap ini dibutuhkan *input* dan menghasilkan *output* sebagai berikut.

a. *Input*

Lem = 0,16 kg/unit

- Kayu *Solid* = 21,71 kg
- Hardiner* = 0,026 kg/unit
- Listrik = 2640,86 Kwh
- Pembakaran Kayu Serbuk = 6,59984 kg/unit

b. *Output*

Komponen *Solid* (setelah lini *rough mill*) = 21,71 kg x 80%

= 17,368 kg

Komponen *Solid* (setelah lini *solid component*) = 17,368 kg x 85%

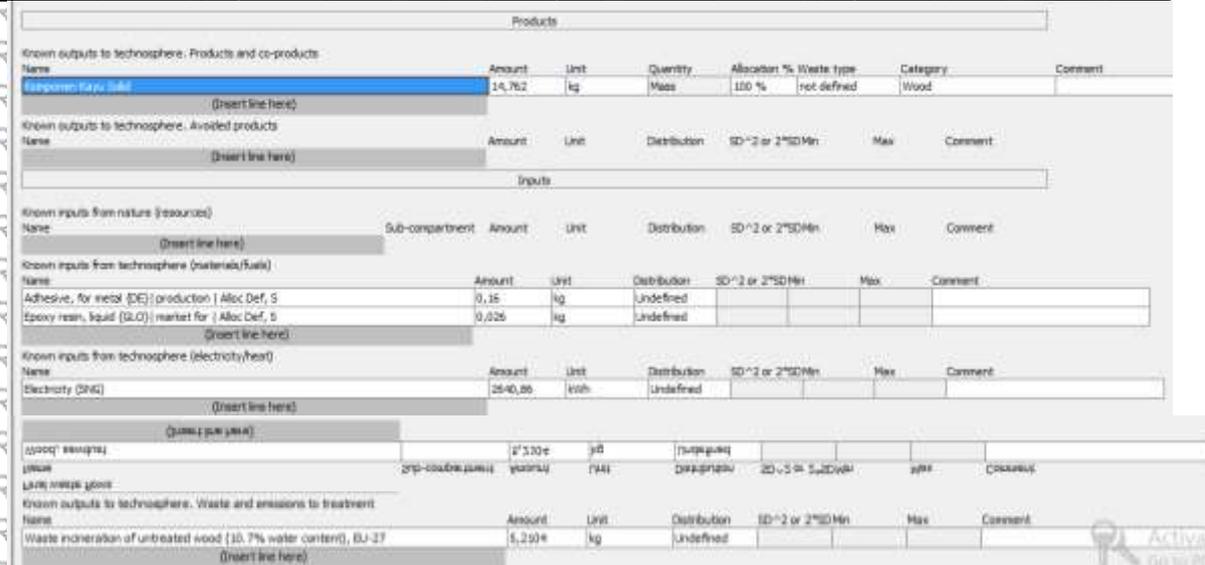
= 14,7628 kg

c. *Waste*

Serbuk Kayu = 21,71 - 14,762 kg = 6,9472 kg/unit

Tabel 4.4
Input dan Output Proses Pengolahan Kayu Solid

Kategori	Material	Material pada SIMAPRO 8	Jumlah
<i>Input</i>	Lem	<i>Adhesive</i>	0,16 kg
	Kayu	Kayu Hasil <i>Kiln dry</i>	21,71 kg
	<i>Hardiner</i>	<i>Epoxy Resin</i>	0,026 kg
	Listrik	<i>Electricity</i> (SNG)	2640,86 kwh
	Pembakaran Serbuk Kayu	<i>Waste incineration of untreated wood</i>	6,9472 kg
<i>Output Waste</i>	Komponen Kayu <i>Solid</i>	Komponen Kayu <i>Solid</i>	14,762 kg
	Serbuk Kayu	<i>Wood Sawdust</i>	6,9472 kg



Gambar 4.12 *Input dan output untuk komponen solid*

3. Pengolahan Kayu Panel

Pengolahan Kayu Panel adalah gabungan dari lini panel preparation dan komponen panel. Bahan baku utama dari proses pengolahan kayu panel ini adalah *Medium Desity*

Fibre (MDF) sebanyak $0,020699 \text{ m}^3$ dan *Particle Board* (PB) sebanyak $0,015128 \text{ m}^3$.

Untuk penyamaan unit pada Simapro, maka satuan unit dari MDF dan PB tersebut akan diubah menjadi Kg dengan cara mengalikan dengan massa jenis masing-masing. Massa jenis dari MDF adalah 700 kg/m^3 , sedangkan massa jenis dari PB adalah 650 kg/m^3 . Sehingga didapatkan total berat dari kayu panel adalah $24,322 \text{ kg/unit}$. Bahan-bahan tambahan lainnya yang digunakan pada proses pembuatan kayu panel adalah lem, UF resin, hardiner, dan veneer. Mesin-mesin yang digunakan pada proses ini dapat dilihat pada Tabel 4.1, dan dari penggunaan mesin-mesin tersebut diperlukan listrik sebesar $1499,69 \text{ Kwh}$. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, *waste* dari *limi panel preparation* adalah kayu panel bekas sebesar 20% dari kayu yang diproses sedangkan dari *lini panel component* sebesar 5%. Sisa kayu-kayu panel tersebut akan digunakan untuk *boiler kiln dry*. Tabel 4.5 menunjukkan data *input* serta *output* pada proses pengolahan kayu panel. Dan Gambar 4.11 menunjukkan *input* pada SIMAPRO untuk proses pengolahan kayu panel. Pada tahap ini dibutuhkan *input* dan menghasilkan *output* sebagai berikut.

a. *Input*

$$\text{Kayu MDF: } 0,020699 \text{ m}^3/\text{unit} \times 700 \text{ kg/m}^3 = 14,489 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Kayu PB: } 0,015128 \text{ m}^3/\text{unit} \times 650 \text{ kg/m}^3 = 9,833 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Total: } 14,489 + 9,833 = 24,322 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Lem} = 0,02 \text{ kg/unit}$$

$$\text{UF Resin} = 0,588 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Hardiner} = 0,002 \text{ kg/unit}$$

$$\text{Veneer} = 0,0186 \text{ m}^3/\text{unit}$$

$$\text{Listrik} = 1499,69 \text{ Kwh}$$

$$\text{Pembakaran sisa kayu} = 7,783 \text{ kg/unit}$$

b. *Output*

$$\text{Komponen Panel (setelah } \textit{panel preparation}) = 24,322 \text{ kg} \times 80\% = 19,4576 \text{ kg}$$

$$\text{Komponen Panel (setelah } \textit{panel component}) = 19,4576 \text{ kg} \times 95\% = 18,48472 \text{ kg}$$

c. *Waste*

$$\text{Sisa kayu} = 24,322 - 18,48472 \text{ kg} = 5,83728 \text{ kg/unit}$$

Tabel 4.5
Input dan Output Proses Pengolahan Kayu Panel

Kategori	Material	Material pada SIMAPRO	Jumlah
----------	----------	-----------------------	--------

Input	Medium Density Fibreboard (MDF)	Medium Density Fibreboard (MDF)	0,020699 m ³
	Particle Board	Particle Board	0,015128 m ³
	Lem	Adhesive	0,02 kg
	UF Resin	Urea formaldehyde Resin	0,588 kg
	Veneer	Sawlog and veneer log	0,0186 m ³
	Hardiner	Epoxy Resin	0,002 kg
	Listrik	Electricity (SNG)	1499,69 Kwh
Output Waste	Pembakaran Sisa Kayu	Waste incineration of wood products	7,783 kg
	Komponen Kayu Panel	Komponen Kayu Panel	18,48472 kg
	Sisa kayu	Wood Waste	5,83728 kg

Known outputs to technology. Products and co-products

Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
Komponen Kayu Panel	18,48472	kg		100 %	not defined	Wood	

Known inputs from nature (resources)

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ¹ 2 or 2 ¹ SDMin	Max	Comment
Medium density fibreboard (MDF) market for (Also Def, S		0,020699	m ³	Undefined			
Particleboard, average, softwood, particleboard resin/WMA		0,015128	m ³	Undefined			
Adhesive, for metal (Resin) production (Corona, U		0,02	kg	Undefined			
Urea formaldehyde resin (Resin) production (Corona, U		0,588	kg	Undefined			
Epoxy resin, liquid (Resin) production (Corona, U		0,002	kg	Undefined			
Sawlog and veneer log, softwood, measured as solid wood under bark (SE) softwood for		0,0186	m ³	Undefined			

Known inputs from technology (electricity/heat)

Name	Amount	Unit	Distribution	SD ¹ 2 or 2 ¹ SDMin	Max	Comment
Electricity (SNG)	1499,69	kwh	Undefined			

Final waste flows

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD ¹ 2 or 2 ¹ SDMin	Max	Comment
Wood waste		5,83728	kg	Undefined			

Known outputs to technology. Waste and emissions to treatment

Name	Amount	Unit	Distribution	SD ¹ 2 or 2 ¹ SDMin	Max	Comment
Waste incineration of wood products (OSB, particle board), EU-27	5,83728	kg	Undefined			

Gambar 4.13 Input dan output untuk komponen panel

4. Sanding dan Assembly

Pada tahap *sanding* dan *assembly*, semua komponen yang telah terbentuk diampelas dan kemudian dirakit menjadi sebuah laci. Bahan yang digunakan pada proses *assembly* adalah mur, baut dan beberapa *hardware* yang terbuat dari besi untuk berfungsi untuk menyambung satu kayu dengan kayu lainnya. Jenis-jenis *hardware* yang digunakan dalam proses *assembly* dapat dilihat pada Lampiran 1. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, proses pengamplasan dan *assembly* menghasilkan *waste* berupa serbuk kayu sebanyak kurang lebih 1% dari kayu. Sehingga didapatkan jumlah serbuk kayu dari proses *sanding* dan *assembly* adalah 0,371906 kg. Tabel 4.6 menunjukkan data *input* serta *output* pada proses *assembly*.

Dan Gambar 4.12 menunjukkan *input* pada SIMAPRO untuk *assembly*. Berikut ini adalah perhitungan dari kebutuhan *input* dan *output* yang dikeluarkan pada proses *assembly*.

a. Input

Mur dan Baut: 4,152 kg/unit

b. *Output*

Brighton NS Cinnamon setengah jadi: (besi+kayu solid+kayu panel) x 99%

$$= (4,152 + 14,7628 + 18,48472) \times 99\%$$

$$= 37,02552 \text{ kg}$$

c. *Waste*

$$\text{Serbuk kayu: } (4,152 + 14,02466 + 16,53896) - 37,02552 = 0,373995 \text{ kg}$$

Tabel 4.6

Input dan Output Proses Assembly

Kategori	Material	Material pada SIMAPRO	Jumlah
<i>Input</i>	Mur dan Baut (besi)	<i>Steel</i>	6,872 kg
<i>Output</i>	Produk NS Brighton Cinnamon	Produk Setengah Jadi	37,02552 kg
<i>Waste</i>	Serbuk kayu	<i>Wood Sawdust</i>	0,373995 kg

The screenshot shows the SIMAPRO software interface for documenting the assembly process. It features several sections: 'Products' with a table for known outputs to the technosphere; 'Inputs' with a table for known inputs from nature and technology; and 'Outputs' with a table for final waste flows. The 'Inputs' table shows 'Steel, low-alloyed (G.D.) market for Corseq, U' with an amount of 4.152 kg. The 'Outputs' table shows 'Wood, sawdust' with an amount of 0.373996 kg.

Gambar 4.14 *Input dan output untuk hasil assembly*

5. *Finishing*

Pada tahap *finishing*, laci Brighton NS Cinnamon yang sudah terbentuk diberi beberapa material tambahan yang dapat menambah ketahanan maupun estetika dari kayu. Pada proses *finishing*, ditambahkan sejumlah bahan seperti *thinner*, *coating*, *putty*, *sealer* dan juga air. Jumlah *thinner*, *coating*, *putty* dan *sealer* didapatkan dari data perusahaan dan dapat dilihat pada Lampiran 1. Sedangkan kebutuhan air dapat dilihat pada Lampiran 2. Pengaplikasian seluruh bahan tambahan menggunakan tangan dan kuas secara manual, sehingga tidak memerlukan energi listrik. Tabel 4.7

menunjukkan data *input* serta *output* pada proses *finishing*. Dan Gambar 4.13 menunjukkan *input* pada SIMAPRO untuk *finishing*.

a. *Input*

Thinner: 0,871 kg/unit

Coating: 0,726 kg/unit

Water-based putty: 0,254 kg/unit

Sealer: 0,358 kg/unit

Air: $2,25 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 2250 \text{ kg}$

b. *Output*

Brighton NS Cinnamon: 37,02552 kg/unit

c. *Waste*

Sludge: $0,730932 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 730,9325 \text{ kg}$

Tabel 4.7

Input dan Output Proses Finishing

Kategori	Material	Material pada SIMAPRO	Jumlah
<i>Input</i>	<i>Thinner</i>	<i>White Spirits</i>	0,871 kg
	<i>Coating</i>	<i>Alkyd Paint</i>	0,726 kg
	<i>Water-based Putty (wood filler)</i>	<i>Acrylic Filler</i>	0,254 kg
	<i>Air</i>	<i>Tap Water</i>	2250 kg
	<i>Sealer</i>	<i>Alkyd varnish</i>	0,358 kg
<i>Output</i>	Produk NS Brighton Cinnamon	Brighton NS Cinnamon	37,02552 kg
<i>Waste</i>	<i>Sludge</i>	<i>Sludge</i>	730,9325 kg

The screenshot displays the SIMAPRO interface for process finishing. It is divided into several sections: Products, Known outputs to technosphere, Known inputs from nature, Known inputs from technosphere (materials/fluids), and Known inputs from technosphere (electricity/heat). The 'Inputs' section lists various materials with their amounts and units. The 'Outputs' section lists Brighton NS Cinnamon and Sludge.

Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD*2 or 2*SDMin	Max	Comment
White spirit (RstH) production (Consaq, U)		0,871	kg	Undefined			
Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state (GLO) market for Alloc Def, 5		0,726	kg	Undefined			
Acrylic filler (GLO) market for Alloc Def, 5		0,254	kg	Undefined			
Tap water (CA-QC) market for Alloc Def, 5		2250	kg	Undefined			
Acrylic varnish, without water, in 57,5% solution state (GLO) market for Alloc Def, 5		0,358	kg	Undefined			
Brighton NS Cinnamon		37,02552	kg	Undefined			
Sludge		730,9325	kg	Undefined			

Gambar 4.15 *Input dan output* untuk hasil *finishing*

6. *Packaging*

Di tahap terakhir ini, produk Brighton NS Cinnamon yang telah jadi akan dibungkus untuk siap dikirim menggunakan *container*. Bahan yang digunakan pada proses *packaging* adalah karton yang memiliki berat 4,9336 kg dan dijadikan *input* dari

Simapro 8. Sedangkan *output* dari proses *packaging* adalah berat dari produk Brighton ditambah dengan berat karton menjadi 42,33312 kg/unit. Tabel 4.8 menunjukkan data *input* serta *output* pada proses *finishing*. Dan Gambar 4.14 menunjukkan *input* pada SIMAPRO untuk *finishing*.

Tabel 4.8
Input dan Output Proses Packaging

Kategori	Material	Material pada SIMAPRO	Jumlah
Input	Karton	Corrugated board box	4,9336 kg
Output	Produk NS Brighton Cinnamon siap kirim		42,33312 kg

The screenshot shows the SIMAPRO interface for the 'Packaging' process. The 'Name' field is filled with 'Packaging'. Below it, the 'Material/Assemblies' table lists 'Corrugated board box (SLO) market for corrugated board box' with an amount of 4,9336 kg. The 'Process' field is currently empty.

Gambar 4.16 Input untuk hasil packaging

Maka untuk menghitung *life cycle assessment* dari seluruh proses produksi, *life cycle inventory* nya adalah seperti pada Gambar 4.15.

The screenshot shows the SIMAPRO interface for the 'Brighton NS Cinnamon' process. The 'Name' field is filled with 'Brighton NS Cinnamon'. Below it, the 'Material/Assemblies' table lists several components: Packaging (1 kg), Cassia Seed Oil Dry (25,71 kg), Cassia Panel (28,48472 kg), Cassia Seed (14,763 kg), Finishing (1 kg), Assembly (1 kg), and Cassia Seed (1 kg). The 'Process' field is empty.

Gambar 4.17 Input untuk proses produksi Brighton NS Cinnamon

4.4 Life Cycle Impact Assessment

Life Cycle Impact Assessment bertujuan untuk menghubungkan antara produk dan proses dengan dampak lingkungan potensialnya. LCIA adalah fase ketiga dari LCA yang melakukan evaluasi terhadap potensi dampak terhadap kesehatan manusia dan lingkungan dari sumber daya lingkungan dan limbah yang telah diidentifikasi di tahap LCI. Metode

LCIA yang akan digunakan pada penelitian ini adalah EDIP 2003 (*Environment Design of Industrial Product*). Metodologi EDIP 2003 mewakili 19 kategori dampak yaitu seperti pada Tabel 4.9

Tabel 4.9
Penjelasan Kategori Dampak

No.	Kategori Dampak	Penjelasan
1.	<i>Global Warming</i>	Peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan. Penyebab suhu di bumi meningkat.
2.	<i>Ozone Depletion</i>	Peningkatan lapisan ozon pada tingkatan stratosfer. Penyebab dari peningkatan paparan UV B yang sampai ke permukaan bumi.
3.	<i>Ozone Formation (Vegetation)</i>	Pembentukan ozon yang disebabkan oleh vegetasi
4.	<i>Ozone Formation (Human)</i>	Pembentukan ozon yang disebabkan oleh kegiatan manusia.
5.	<i>Acidification</i>	Peningkatan kadar SO ₂ yang berdampak pada tanah, air tanah, air permukaan organisme, ekosistem dan material atau bangunan.
6.	<i>Terrestrial eutrophication</i>	Peningkatan kadar nutrisi yang berlebihan dan berdampak pada daratan.
7.	<i>Aquatic eutrophication (N)</i>	Peningkatan kadar nutrisi yang berlebihan yang berdampak pada air yang disebabkan oleh nitrogen
8.	<i>Aquatic eutrophication (P)</i>	Peningkatan kadar nutrisi yang berlebihan yang berdampak pada air yang disebabkan oleh fosfor
9.	<i>Human toxicity air</i>	Risiko dampak negatif terhadap manusia yang disebabkan oleh material yang berbahaya dan terdapat di udara.
10.	<i>Human toxicity water</i>	Risiko dampak negatif terhadap manusia yang disebabkan oleh material yang berbahaya dan terdapat di air.
11.	<i>Human toxicity soil</i>	Risiko dampak negatif terhadap manusia yang disebabkan oleh material yang berbahaya dan terdapat di tanah.
12.	<i>Ecotoxicity water chronic</i>	Dampak negatif terhadap lingkungan air yang disebabkan oleh emisi dari material berbahaya yang berdampak pada waktu yang cukup lama (berbulan-bulan atau bertahun-tahun)
13.	<i>Ecotoxicity water acute</i>	Dampak negatif terhadap lingkungan air yang disebabkan oleh emisi dari material berbahaya yang berdampak pada waktu yang cukup singkat (kurang dari satu bulan)
14.	<i>Ecotoxicity soil chronic</i>	Dampak negatif akut terhadap lingkungan tanah yang disebabkan oleh emisi dari material beracun
15.	<i>Hazardous waste</i>	Limbah beracun yang disebabkan oleh material berbahaya
16.	<i>Slags/sheds</i>	Limbah padat berupa abu.
17.	<i>Bulk waste</i>	Jenis-jenis limbah berukuran terlalu besar untuk diterima oleh pengolahan sampah kecil.
18.	<i>Radioactive water</i>	Limbah yang mengandung bahan radioaktif
19.	<i>Resource (all)</i>	Penggunaan sumber daya.

Sumber: Hauschild (2005)

Pada penelitian ini, ketiga proses utama, yaitu ekstraksi, transportasi dan produksi akan dibandingkan secara bersamaan. Dampak yang diperhitungkan adalah dampak dari tiap proses. Pada SIMAPRO, *input* dari keseluruhan proses adalah seperti pada Gambar 4.16.

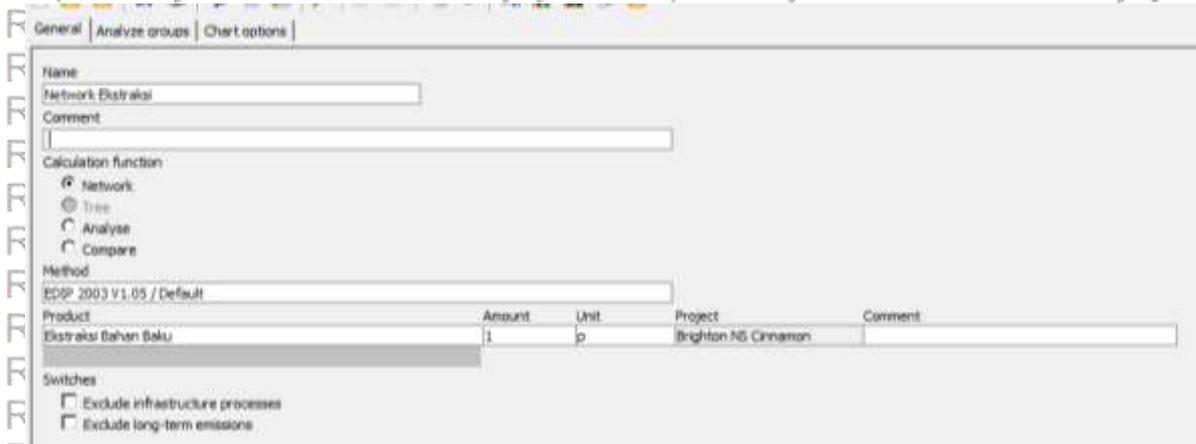
Material/Assemblies	Amount	Unit	Distribution	ID-1 or 2/30Min	Max	Comment
Ekstraksi Bahan Baku	1	p	Undefined			
Transportasi dan Distribusi	1	p	Undefined			
Proses Produksi	1	p	Undefined			

Gambar 4.18 Input seluruh proses Brighton NS Cinnamon

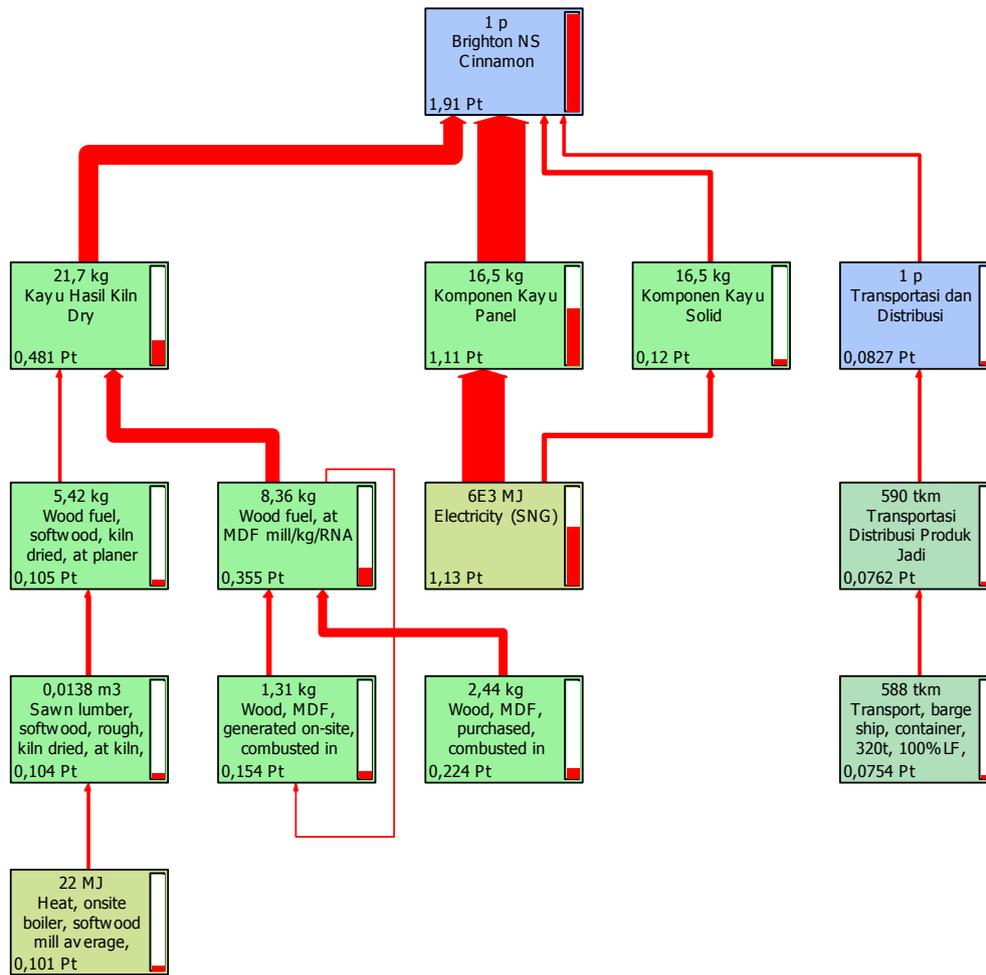
4.4.1 Network

Network akan menyajikan semua aliran proses serta aliran energi dan material dari tiap prosesnya. Gambar 4.17 adalah proses pembuatan *network* pada SIMAPRO dan Gambar 4.14 adalah *network* dari seluruh proses yang diamati pada produksi Brighton NS Cinnamon. Gambar *network* untuk proses lainnya dapat dilihat pada Lampiran 3.

Pada Gambar 4.18 Dapat dilihat bahwa dampak yang ditimbulkan oleh produk Brighton NS Cinnamon adalah 1,91 Pt. Garis ke atas menunjukkan proses energi, dan material yang menyusun produk Brighton NS Cinnamon, sedangkan panah ke bawah menunjukkan *output* yang dikeluarkan. Pada *network* ini tidak terlihat panah kebawah. Ketebalan dari panah menunjukkan besar kontribusi dampak terhadap siklus hidup produk. Pada *network* tersebut, proses yang memberikan dampak terbesar adalah proses pembuatan komponen kayu panel, yang disebabkan oleh penggunaan listrik. Proses pembuatan kayu panel memberikan dampak dengan nilai sebesar 1,11 Pt. Proses yang memberikan dampak terbesar kedua adalah proses *kiln dry*, yaitu sebesar 0,481 Pt. Pada *network* tersebut tidak terdapat tanda panah kebawah karena beberapa proses tidak terlihat. Hal ini dikarenakan proses-proses tersebut memiliki nilai dampak yang lebih kecil dibandingkan dengan proses yang terlihat.



Gambar 4.19 Proses pembuatan network untuk proses ekstraksi bahan baku

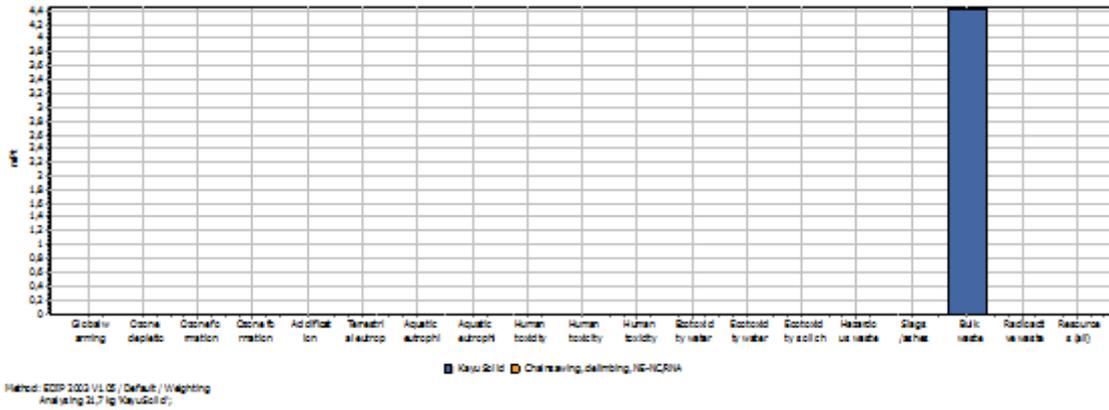


Gambar 4.20 Network Brighton NS Cinnamon

4.4.2 Impact Assessment

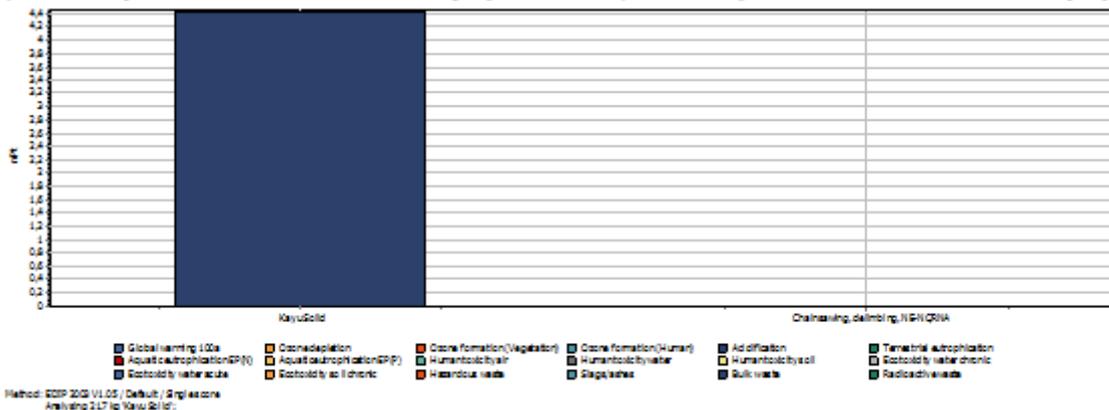
Tahap selanjutnya dalam *life cycle impact assessment* adalah menilai dampak berdasarkan EDIP 2003. EDIP 2003 adalah kelanjutan dari EDIP 1997 yaitu metode yang digunakan untuk menganalisis produk hasil industri dan mencakup penilaian terhadap kategori dampak yang berhubungan dengan emisi. Pada EDIP 2003, kategori yang dinilai

bahan baku adalah *bulk waste*. Hal ini dikarenakan sisa pemotongan dari batang kayu cukup banyak.



Gambar 4.22 Hasil *weighting* proses ekstraksi

Gambar 4.23 menunjukkan *output single score* pada proses ekstraksi bahan baku. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa total akumulasi dampak yang dihasilkan oleh kayu *solid* sangat besar. Berdasarkan Gambar 4.24, kayu *solid* menghasilkan total dampak sebesar 4,43 mPt, dengan dampak terbesar pada *bulk waste* yaitu sebesar 4,42 mPt. Hal ini juga dikarenakan kayu *solid* menghasilkan sisa kayu yang cukup banyak tidak terpakai ketika proses ekstraksi.

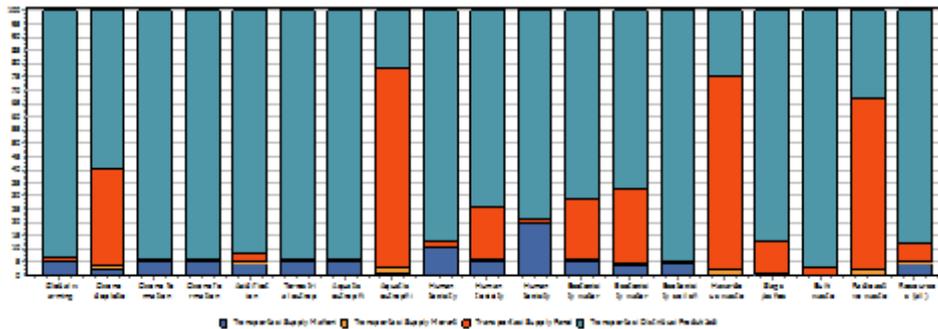


Gambar 4.23 Hasil *single score* proses ekstraksi

Sel	Impact category /	Unit	Total	Kayu Solid	Chainsawing, delimiting,
	Total	mPt	4,43	4,42	0,00196
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming 100a	mPt	9,21E-5	x	9,21E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone depletion	mPt	9,08E-8	x	9,08E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Vegetation)	mPt	0,000392	x	0,000392
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Human)	mPt	0,000565	x	0,000565
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification	mPt	0,000285	x	0,000285
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial eutrophication	mPt	0,000206	x	0,000206
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(N)	mPt	0,000149	x	0,000149
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(P)	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity air	mPt	0,00011	x	0,00011
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity water	mPt	3,5E-5	x	3,5E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity soil	mPt	0,00013	x	0,00013
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water chronic	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water acute	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity soil chronic	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Hazardous waste	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Slags/ashes	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Bulk waste	mPt	4,42	4,42	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Radioactive waste	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources (all)	mPt	x	x	x

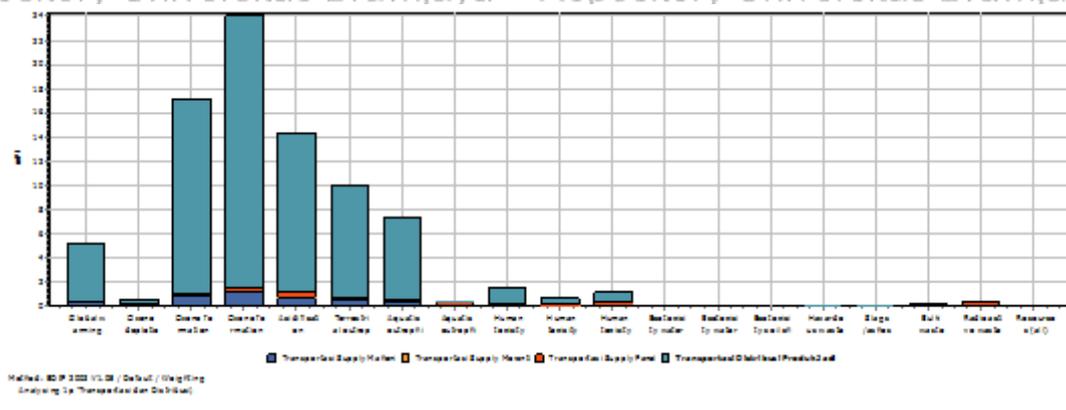
Gambar 4.24 Perbandingan Kategori Dampak pada Proses Ekstraksi

2.5. *Impact Assessment* Transportasi dan Distribusi



Gambar 4.25 Hasil *characterization* proses transportasi dan distribusi

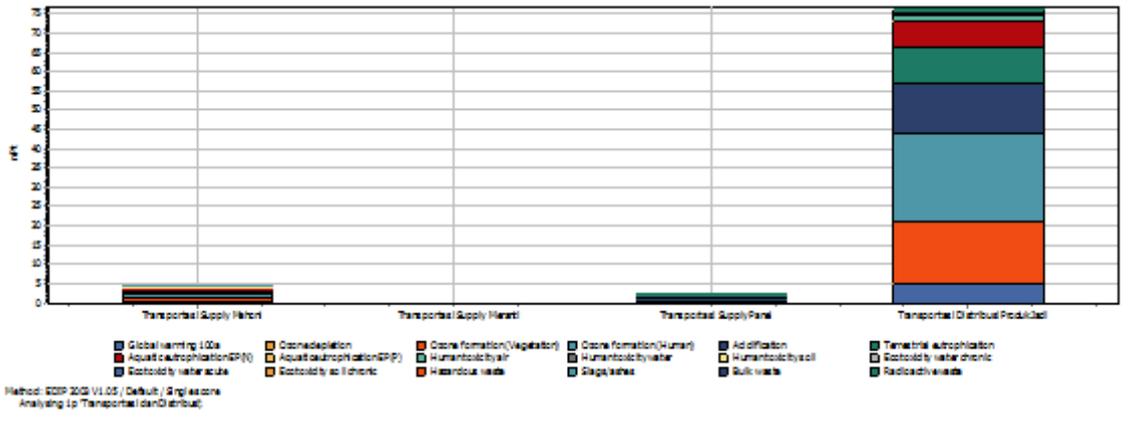
Gambar 4.25 menunjukkan hasil *characterization* dari proses transportasi dan distribusi. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semua kategori dampak bernilai 100% dan pasti terjadi. Dan transportasi distribusi barang jadi juga terlihat menyebabkan dampak yang lebih banyak dibandingkan dengan transportasi lainnya.



Gambar 4.26 Hasil *weighting* proses transportasi dan distribusi

Dan dapat dilihat pada Gambar 4.26 yang merupakan hasil *impact weighting* bahwa dampak terbesar dari proses transportasi dan distribusi adalah *ozone formation by human*. Hal ini dikarenakan emisi udara berupa gas buang yang dihasilkan oleh

kendaraan bermotor cukup banyak dan transportasi adalah salah satu aktivitas yang dilakukan oleh manusia.



Gambar 4.27 Hasil single score proses transportasi dan distribusi

Gambar 4.27 menunjukkan *output single score* pada proses transportasi dan distribusi.

Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa total akumulasi dampak terbesar dihasilkan oleh distribusi produk jadi. Berdasarkan Gambar 4.28, distribusi produk jadi menghasilkan total dampak sebesar 76,2 mPt, dengan dampak terbesar pada *ozone formation* yaitu sebesar 22,6 mPt. Hal ini dikarenakan transportasi distribusi produk jadi memiliki jarak yang paling jauh yaitu dari Pasuruan ke Los Angeles. Selain itu, penggunaan kapal laut yang menggunakan motor juga dapat menghasilkan gas buang berupa NO_x , SO_x dan CO_2 yang dapat menyebabkan pembentukan *ozone*.

Sel	Impact category	Unit	Total	Transportasi Supply Murni	Transportasi Supply Meranti	Transportasi Supply Panel	Transportasi Distribusi Produk
	Total	mPt	82,7	4,3	0,0769	2,18	76,2
	Global warming 100a	mPt	5,16	0,27	0,00243	0,0709	4,82
	Ozone depletion	mPt	0,517	0,012	0,00674	0,188	0,31
	Ozone formation (Vegetation)	mPt	17,1	0,847	0,00755	0,217	16
	Ozone formation (Human)	mPt	24,1	1,2	0,0107	0,506	22,6
	Acidification	mPt	14,3	0,696	0,0157	0,443	13,2
	Terrestrial eutrophication	mPt	9,98	0,491	0,00448	0,128	9,35
	Aquatic eutrophication EP(N)	mPt	7,38	0,364	0,0033	0,0948	6,92
	Aquatic eutrophication EP(P)	mPt	0,407	0,00263	0,0109	0,505	0,0879
	Human toxicity air	mPt	1,48	0,162	0,000949	0,0277	1,29
	Human toxicity water	mPt	0,604	0,0325	0,00429	0,121	0,447
	Human toxicity soil	mPt	1,17	0,226	0,000872	0,0255	0,914
	Ecotoxicity water chronic	mPt	0	0	0	0	0
	Ecotoxicity water acute	mPt	x	x	x	x	x
	Ecotoxicity soil chronic	mPt	0	0	0	0	0
	Hazardous waste	mPt	0,000315	x	8,28E-6	0,000229	7,72E-5
	Sage/kese	mPt	0,00182	7,59E-6	7,72E-6	0,000216	0,00159
	Bulk waste	mPt	0,186	x	0,000196	0,00548	0,181
	Radioactive waste	mPt	0,379	x	0,00875	0,244	0,126
	Resources (all)	mPt	x	x	x	x	x

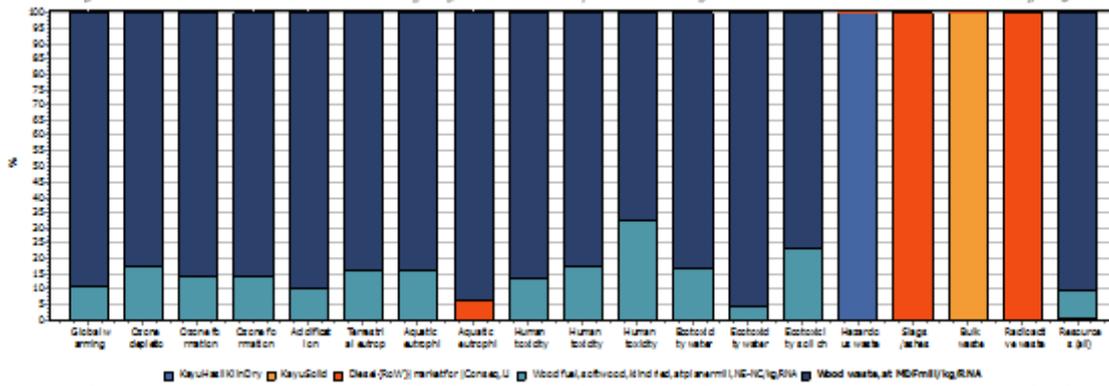
Gambar 4.28 Perbandingan kategori dampak pada proses transportasi dan distribusi

3. Impact Assessment Proses Produksi

Berikut ini adalah hasil *impact assessment* dari proses produksi.

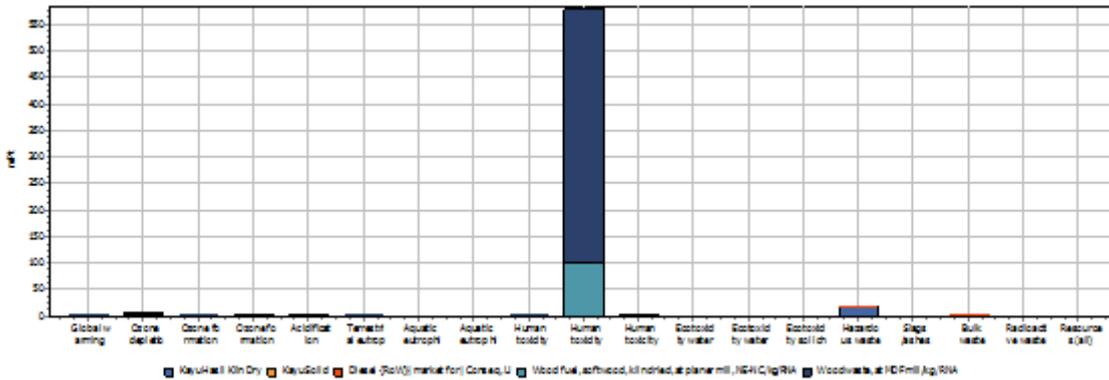
a. Kiln dry

Gambar 4.29 menunjukkan hasil *characterization* dari proses *kiln dry*. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semua kategori dampak bernilai 100% dan pasti terjadi.



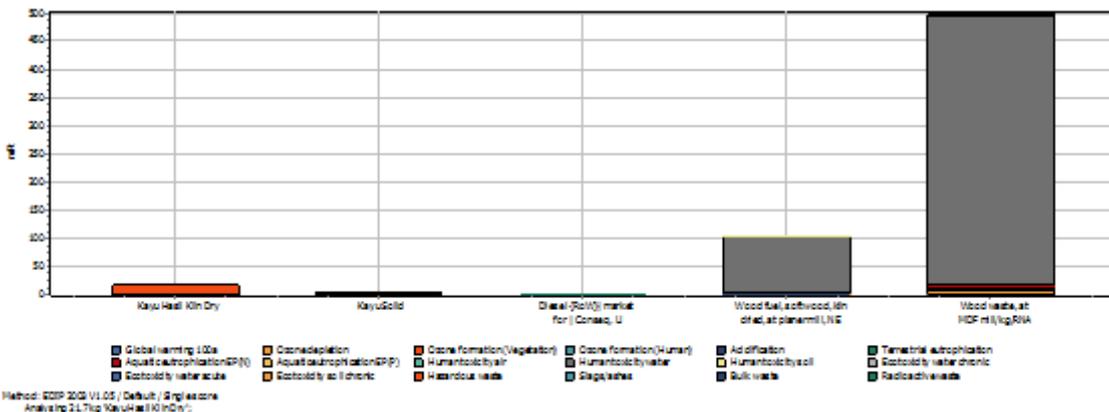
Gambar 4.29 Hasil characterization proses kiln dry

Dapat dilihat pada Gambar 4.28 yang merupakan hasil *impact weighting* bahwa dampak terbesar dari proses *kiln dry* adalah *human toxicity water*. Hal ini dikarenakan *wood fuel* MDF menyebabkan emisi yang berbahaya bagi pengairan manusia.



Gambar 4.30 Hasil weighting proses kiln dry

Gambar 4.31 menunjukkan *output single score* pada proses produksi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa total akumulasi dampak terbesar dihasilkan oleh *wood fuel at MDF*. Berdasarkan Gambar 4.32, *wood fuel at MDF* menghasilkan total dampak sebesar 498 mPt, dengan dampak terbesar pada *human toxicity water* yaitu sebesar 477 mPt.



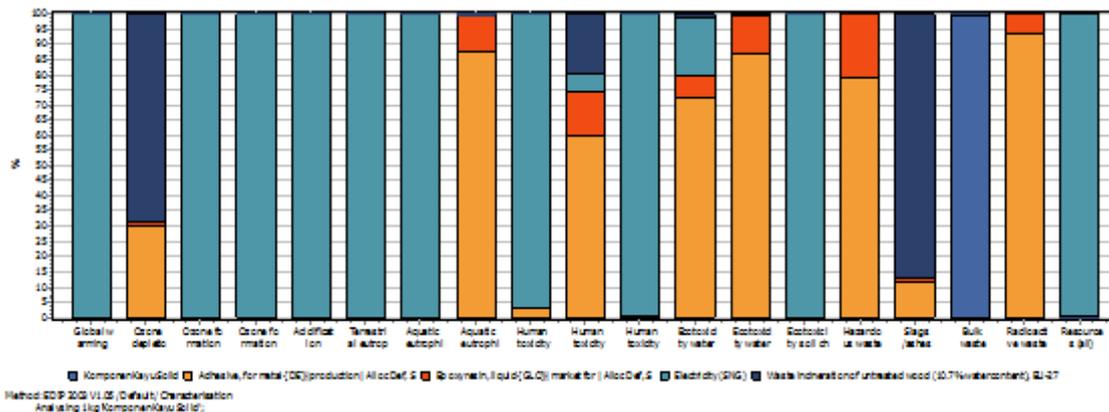
Gambar 4.31 Hasil single score proses kiln dry

Impact category	Unit	Total	Kayu Hasil KBN Dry	Kayu Solid	Diesel (ROW) market for 1	Wood fuel, softwood, kWh	Wood waste, at MDF mill/fin
Total	mpf	634	17,1	4,43	0,02	105	490
Global warming 100a	mpf	1,26	*	8,23E-5	0,000216	0,149	1,21
Ozone depletion	mpf	5,85	*	8,08E-8	0,00472	1,04	4,83
Ozone formation (Vegetation)	mpf	2,11	*	0,000392	0,000286	0,303	1,81
Ozone formation (Human)	mpf	3,02	*	0,000965	0,000425	0,494	2,99
Acidification	mpf	4,93	*	0,000385	0,000915	0,494	4,44
Terrestrial eutrophication	mpf	1	*	0,000306	0,000132	0,162	0,84
Aquatic eutrophication (EPO)	mpf	0,726	*	0,000149	0,000129	0,117	0,606
Aquatic eutrophication (EPP)	mpf	0,0034	*	*	0,00025	*	0,0772
Human toxicity air	mpf	1,32	*	0,00011	0,000283	0,192	1,14
Human toxicity water	mpf	379	*	3,3E-5	0,00177	160	477
Human toxicity soil	mpf	4,7	*	0,00013	0,000132	1,92	3,18
Soil toxicity water chronic	mpf	0	*	*	*	*	0
Soil toxicity water acute	mpf	0	*	*	*	*	0
Soil toxicity soil chronic	mpf	*	*	*	*	*	*
Hazardous waste	mpf	17,1	17,1	*	5,9E-6	*	*
Slags/ashes	mpf	4,9E-6	*	*	4,9E-6	*	*
Sulf waste	mpf	4,42	*	4,42	3,94E-5	*	*
Radioactive waste	mpf	0,00965	*	*	0,00965	*	*
Resources (all)	mpf	*	*	*	*	*	*

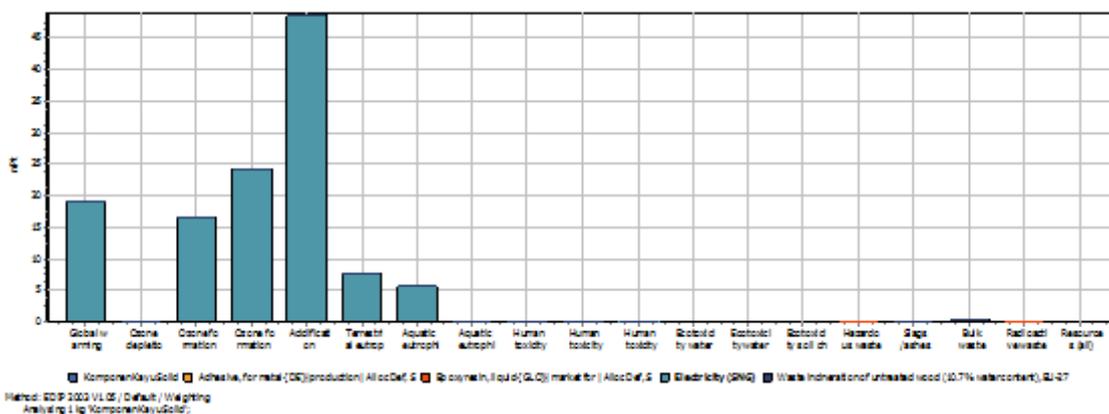
Gambar 4.32 Perbandingan kategori dampak pada kiln dry

b. Proses Komponen Kayu Solid

Gambar 4.33 menunjukkan hasil *characterization* dari proses komponen kayu solid. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semua kategori dampak bernilai 100% dan pasti terjadi.

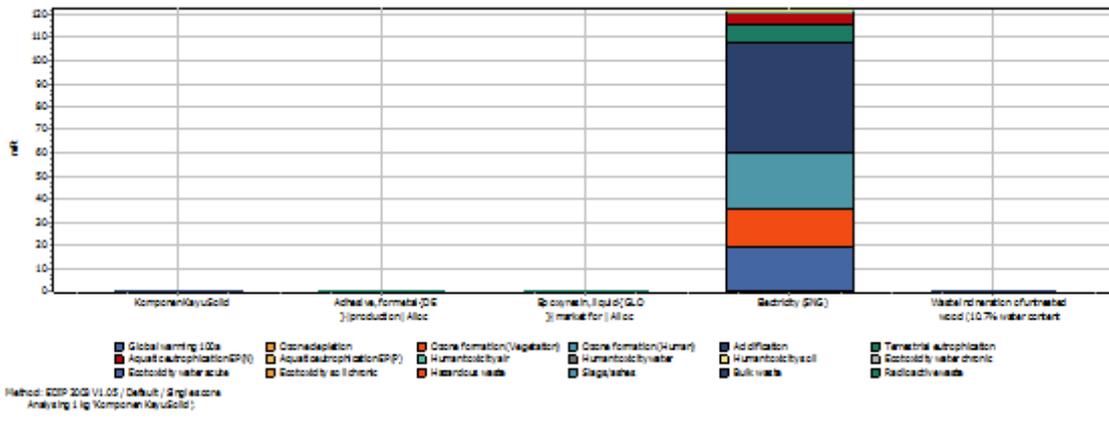


Gambar 4.33 Hasil *characterization* proses komponen kayu solid



Gambar 4.34 Hasil *weighting* proses komponen kayu solid

Dapat dilihat pada Gambar 4.34 yang merupakan hasil *impact weighting* bahwa dampak terbesar dari proses komponen kayu solid adalah *acidification*.



Gambar 4.35 Hasil single score proses komponen kayu solid

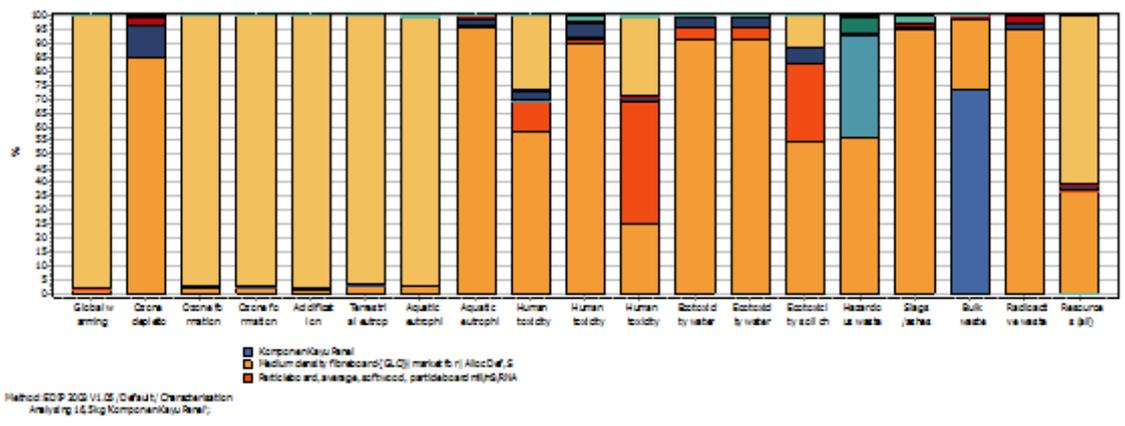
Gambar 4.35 menunjukkan output single score pada proses produksi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa total akumulasi dampak terbesar dihasilkan oleh electricity. Berdasarkan Gambar 4.36, electricity menghasilkan total dampak sebesar 180 mPt, dengan dampak terbesar pada acidification yaitu sebesar 71,9 mPt. Hal ini dikarenakan listrik yang dihasilkan oleh proses produksi cukup besar, sedangkan sumber energi utama dari listrik adalah bahan bakar fosil. Sedangkan masalah terbesar yang diberikan oleh bahan bakar fosil adalah gas asam (Van Der Kooij, 1998).

Sel	Impact category / Unit	Total	Komponen Kayu Solid	Adhesive, for metal (DE)	Epoxy resin, liquid (GLO)	Electricity (SNG)	Waste incineration of
	Total	187	4,25	1,9	0,431	180	0,42
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming 100a	28,1	x	0,104	0,025	28	0,0238
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone depletion	0,0644	x	0,0193	0,00121	x	0,0439
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Vegetation)	24,7	x	0,163	0,0417	24,4	0,00439
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Human)	36,2	x	0,237	0,0606	35,9	0,00739
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification	72,2	x	0,231	0,058	71,9	0,0644
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial eutrophication	11,5	x	0,0802	0,0206	11,4	0,013
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(N)	8,34	x	0,0587	0,015	8,25	0,0225
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(P)	0,144	x	0,126	0,0179	x	0,000225
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity air	0,217	x	0,0567	0,000639	0,159	0,00124
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity water	1,05	x	0,667	0,158	0,00641	0,22
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity soil	0,238	x	0,0122	0,000813	0,222	0,00286
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water chronic	x	x	x	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water acute	x	x	x	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity soil chronic	x	x	x	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Hazardous waste	0,126	x	0,0994	0,0262	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Slags/ashes	0,0183	x	0,00213	0,000325	x	0,0159
<input checked="" type="checkbox"/>	Bulk waste	4,27	4,25	0,0205	0,00392	x	0,000433
<input checked="" type="checkbox"/>	Radioactive waste	0,0231	x	0,0216	0,00155	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources (all)	x	x	x	x	x	x

Gambar 4.36 Perbandingan kategori dampak pada proses pengolahan komponen kayu solid

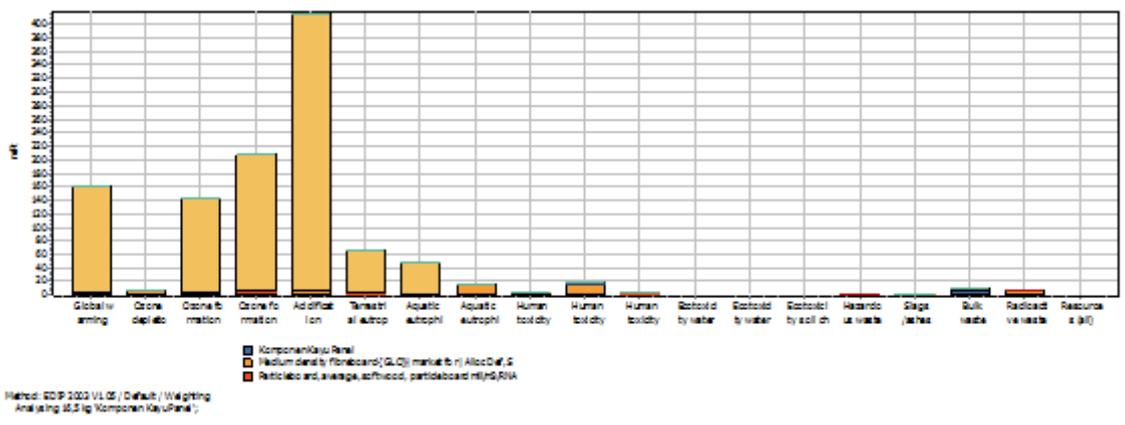
c. Proses Komponen Kayu Panel

Gambar 4.37 menunjukkan hasil characterization dari proses komponen kayu panel. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semua kategori dampak bernilai 100% dan pasti terjadi.

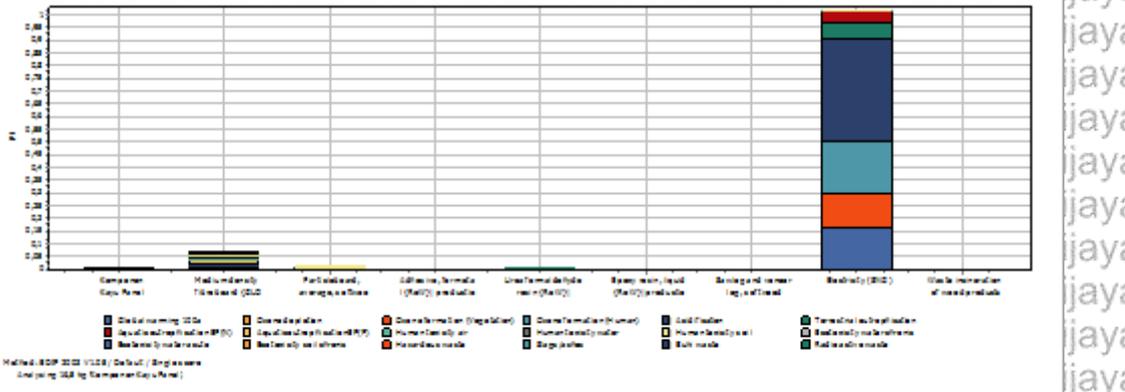


Gambar 4.37 Hasil characterization proses komponen kayu panel

Dapat dilihat pada Gambar 4.38 yang merupakan hasil *impact weighting* bahwa dampak terbesar dari proses komponen kayu panel adalah *acidification*.



Gambar 4.38 Hasil weighting proses komponen kayu panel



Gambar 4.39 Hasil single score proses komponen kayu panel

Gambar 4.39 menunjukkan *output single score* pada proses produksi. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa total akumulasi dampak terbesar dihasilkan oleh *electricity*. Berdasarkan Gambar 4.40, *electricity* menghasilkan total dampak sebesar 1,02 Pt, dengan dampak terbesar pada *acidification* yaitu sebesar 0,407 Pt.

Hal ini dikarenakan dalam memproses komponen kayu panel, listrik yang

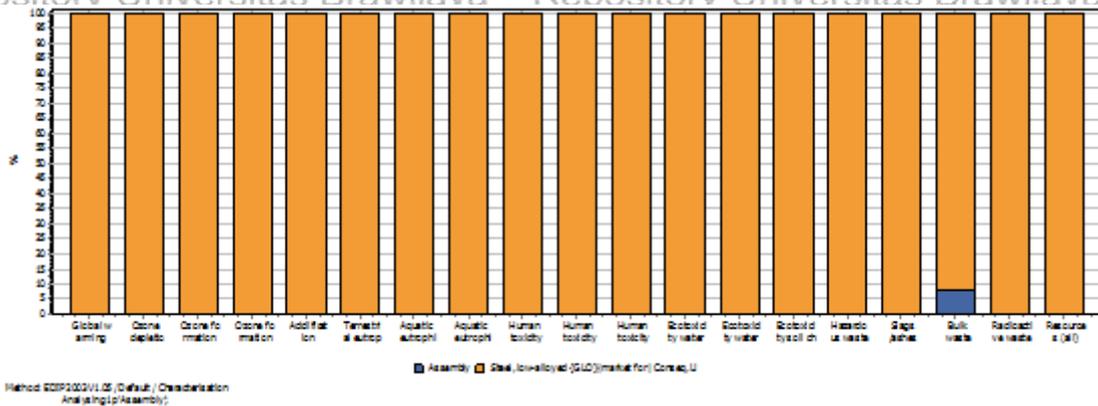
digunakan dalam proses tersebut cukup banyak sehingga menyebabkan asidifikasi.

Impact category	Unit	Total	Komponen Kayu Panel	Medium density Fibreboard (MDF)	Particleboard, average	Adhesive, for resin (BwE) (production)	Urea formaldehyde resin (BwE)	Glue resin, based on BwE production	Smelting and various by-product	Electricity (BwE)	Value excretion of fossil products
Total		1,11	0,00034	0,00229	0,00070	0,00030	0,00038	1,34E-5	0,00036	1,00	0,00099
Global warming (GWP)	kg CO ₂ eq	0,142	*	0,00229	0,00070	1,12E-7	0,00037	1,46E-5	0,00036	0,188	0,142
Climate depletion (CP)	kg CO ₂ eq	0,0007	*	0,00058	0,00014	1,12E-7	0,00037	5,81E-5	0,00032	*	0,0005
Ozone formation (POF)	kg CO ₂ eq	0,142	*	0,00229	0,00070	2,04E-8	0,00037	2,17E-5	0,00036	0,138	0,142
Ozone formation (Human)	kg CO ₂ eq	0,228	*	0,00365	0,00111	2,98E-8	0,00063	4,12E-5	0,00062	0,283	0,228
Acidification	kg SO ₂ eq	0,145	*	0,00511	0,00225	2,69E-8	0,00043	4,42E-5	7,30E-5	0,487	0,00227
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	0,0497	*	0,00174	0,00078	8E-9	0,00049	1,98E-5	3,19E-5	0,044	0,0005
Aquatic acidification (PFA)	kg SO ₂ eq	0,0483	*	0,00128	0,00029	7,33E-9	1,17E-5	1,19E-5	2,52E-5	0,0407	0,00032
Aquatic acidification (PFP)	kg SO ₂ eq	0,0172	*	0,0185	0,0005	1,02E-5	0,00068	1,31E-5	0,00033	*	0,0007
Human toxicity (HT)	kg CO ₂ eq	0,00333	*	0,00294	0,00024	7,12E-6	0,00032	4,30E-5	1,62E-5	0,00089	0,0006
Human toxicity (air)	kg CO ₂ eq	0,0178	*	0,018	0,00028	8,48E-6	0,00033	1,3E-5	0,00049	0,0005	0,00032
Human toxicity (soil)	kg CO ₂ eq	0,0404	*	0,00111	0,00087	1,13E-6	7,84E-5	1,58E-5	0,00036	0,0006	0,0006
Human toxicity (water)	kg CO ₂ eq	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
Human toxicity (air, soil, water)	kg CO ₂ eq	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
Human toxicity (air, soil, water, fossil)	kg CO ₂ eq	0,00333	*	0,00294	0,00024	7,12E-6	0,00032	4,30E-5	1,62E-5	0,00089	0,0006
Human toxicity (air, soil, water, fossil, non-fossil)	kg CO ₂ eq	0,000178	*	0,0007	0	2,68E-7	3E-5	1,63E-5	0,2604	*	0,0006
Radiation	kg CO ₂ eq	0,0006	0,00034	0,00219	*	2,68E-7	0,28E-5	2,42E-7	2,42E-5	0,48E-7	0,0006
Radiation (air)	kg CO ₂ eq	0,00028	*	0,00095	*	2,98E-8	0,00018	1,12E-5	0,000177	*	0
Resources (all)	kg CO ₂ eq	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0

Gambar 4.40 Perbandingan kategori dampak pada komponen kayu panel

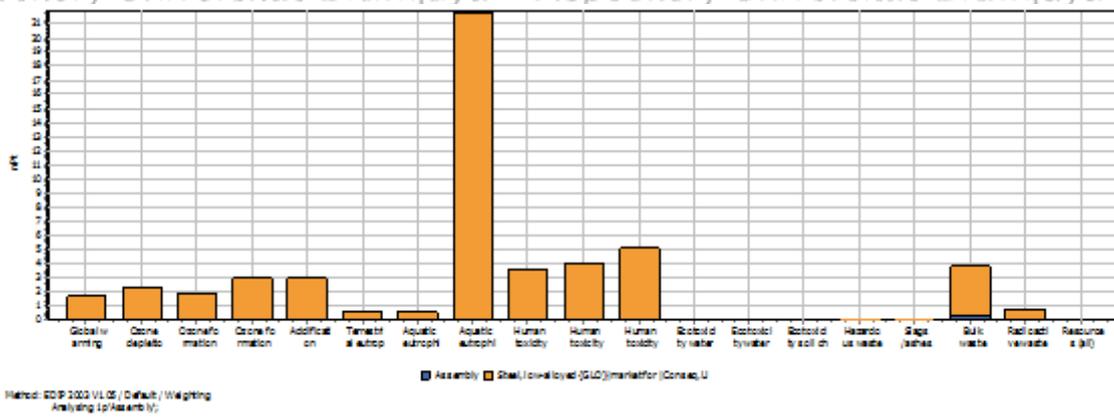
d. Assembly

Gambar 4.41 menunjukkan hasil *characterization* dari proses *assembly*. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semua kategori dampak bernilai 100% dan pasti terjadi.

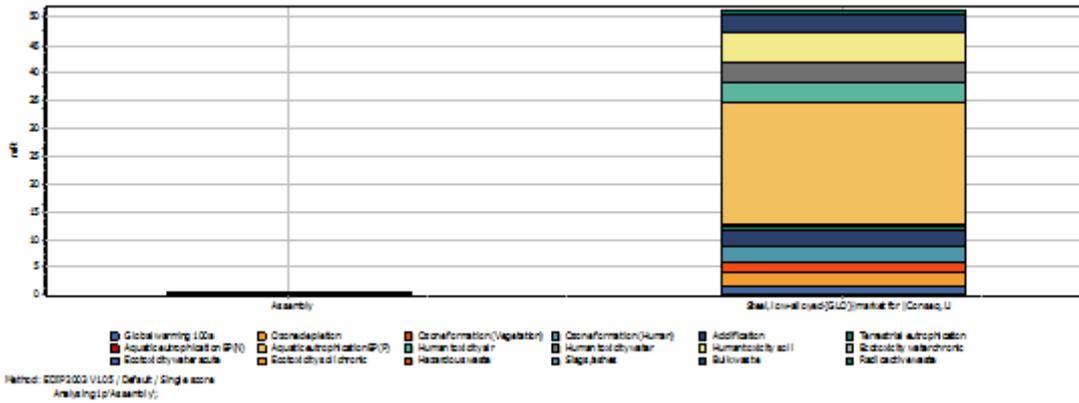


Gambar 4.41 Hasil *characterization* proses *assembly*

Dapat dilihat pada Gambar 4.42 yang merupakan hasil *impact weighting* bahwa dampak terbesar dari proses komponen kayu panel adalah *aquatic eutrophication*.



Gambar 4.42 Hasil *weighting* proses *assembly*



Gambar 4.43 Hasil single solid proses assembly

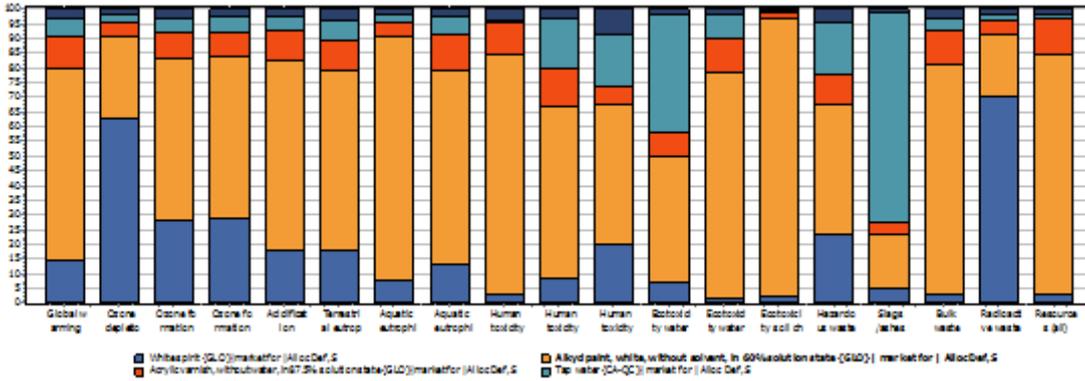
Gambar 4.43 menunjukkan *output single score* pada proses *assembly*. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa total akumulasi dampak terbesar dihasilkan oleh *steel*. Berdasarkan Gambar 4.44, *steel* menghasilkan total dampak sebesar 51,4 mPt, dengan dampak terbesar pada *aquatic eutrophication EP (P)* yaitu sebesar 21,8 mPt. Hal ini dikarenakan besi merupakan salah satu kandungan yang dapat berikatan dengan fosfor, dan menyebabkan fosfor yang berlebih pada wilayah perairan.

Sel	Impact category	Unit	Total	Assembly	Steel, low-alloyed (GLO) market for I
	Total	mPt	51,7	0,303	51,4
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming 100a	mPt	1,67	x	1,67
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone depletion	mPt	2,24	x	2,24
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Vegetation)	mPt	1,88	x	1,88
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Human)	mPt	2,9	x	2,9
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification	mPt	2,91	x	2,91
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial eutrophication	mPt	0,612	x	0,612
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(N)	mPt	0,55	x	0,55
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(P)	mPt	21,8	x	21,8
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity air	mPt	3,56	x	3,56
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity water	mPt	3,99	x	3,99
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity soil	mPt	5,07	x	5,07
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water chronic	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water acute	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity soil chronic	mPt	x	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Hazardous waste	mPt	0,0431	x	0,0431
<input checked="" type="checkbox"/>	Slags/ashes	mPt	0,0127	x	0,0127
<input checked="" type="checkbox"/>	Bulk waste	mPt	3,8	0,303	3,49
<input checked="" type="checkbox"/>	Radioactive waste	mPt	0,738	x	0,738
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources (all)	mPt	x	x	x

Gambar 4.44 Perbandingan kategori dampak pada assembly

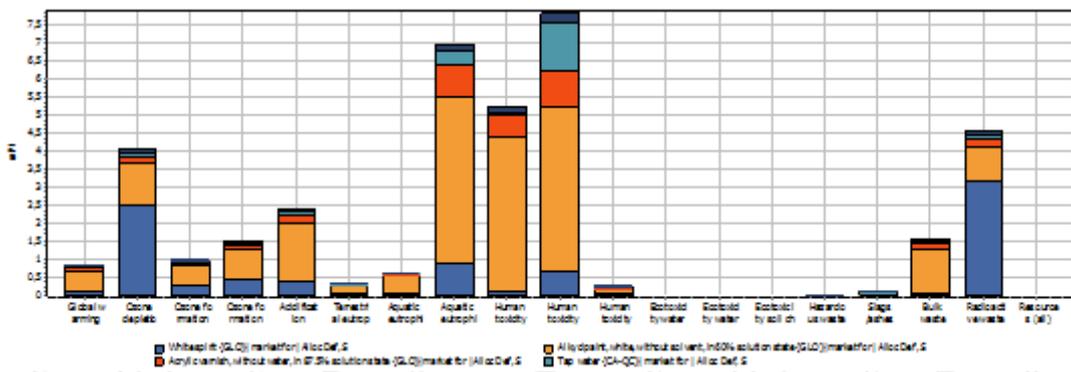
e. *Finishing*

Gambar 4.45 menunjukkan hasil *characterization* dari proses *finishing*. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semua kategori dampak bernilai 100% dan pasti terjadi.

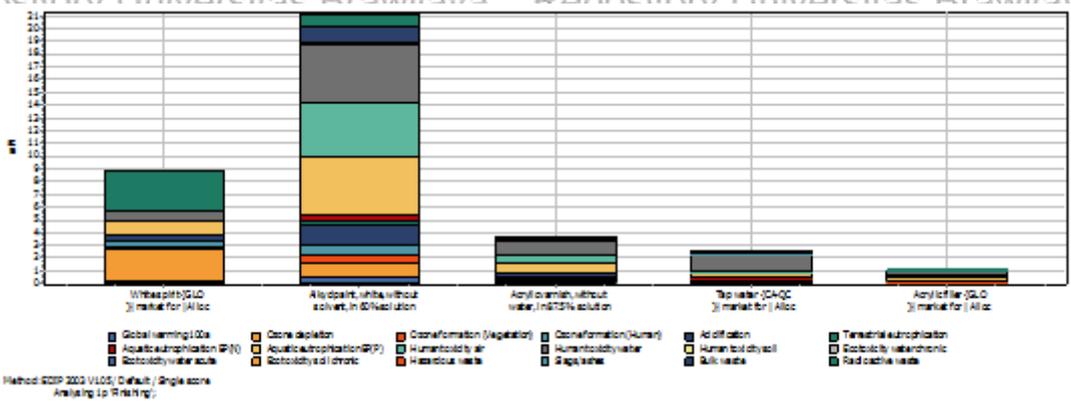


Gambar 4.45 Hasil characterization proses finishing

Dapat dilihat pada Gambar 4.46 yang merupakan hasil *impact weighting* bahwa dampak terbesar dari proses komponen kayu panel adalah *aquatic eutrophication* (P) dan *human toxicity water*. Hal ini dikarenakan hasil dari *output finishing* berupa *sludge* yang dapat berdampak besar bagi perairan disekitar tempat proses.



Gambar 4.46 Hasil weighting proses finishing



Gambar 4.47 Hasil single score proses finishing

Gambar 4.47 menunjukkan *output single score* pada proses *finishing*. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa total akumulasi dampak terbesar dihasilkan oleh alkyd paint. Berdasarkan Gambar 4.48, alkyd paint menghasilkan total dampak sebesar 21,1 mPt, dengan dampak terbesar pada *human toxicity water*, yaitu sebesar 4,56 mPt. Hal ini dikarenakan limbah dari cat alkyd dapat mengandung

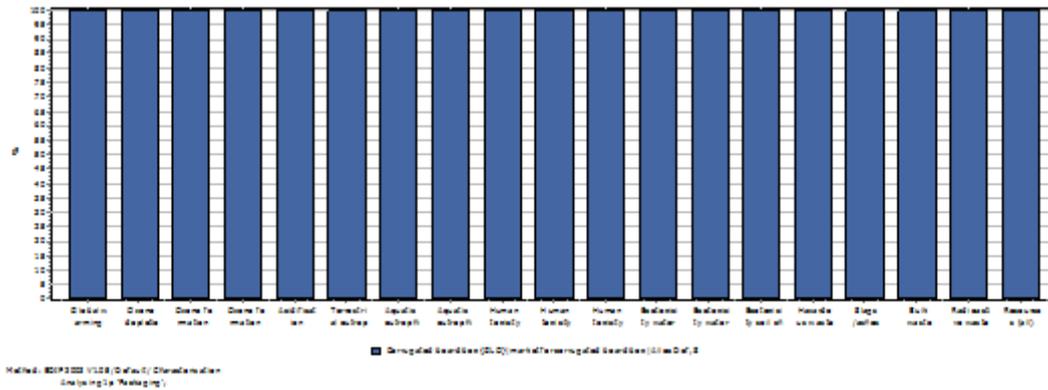
bahan-bahan yang beracun bagi manusia dan dapat dengan mudah tercampur ke wilayah perairan manusia.

Self	Impact category	Unit	Total	White spirit (GLO) market for Alloc	Alkyd paint, white, without solvent, in	Acrylic varnish, without water, in	Tap water (CA-QC) market	Acrylic filler (GLO) market for Alloc
	Total	mPt	37,3	8,94	21,1	3,69	2,52	1,09
	Global warming 100a	mPt	0,848	0,126	0,552	0,0919	0,05	0,0287
	Ozone depletion	mPt	4,03	2,52	1,13	0,198	0,113	0,0677
	Ozone formation (Vegetation)	mPt	0,991	0,276	0,547	0,0857	0,0514	0,0309
	Ozone formation (Human)	mPt	1,52	0,438	0,832	0,129	0,0764	0,0464
	Acidification	mPt	2,41	0,424	1,56	0,361	0,101	0,0677
	Terrestrial eutrophication	mPt	0,343	0,0606	0,211	0,0354	0,023	0,0128
	Aquatic eutrophication (EP(N))	mPt	0,63	0,0504	0,519	0,0313	0,0193	0,0105
	Aquatic eutrophication (EP(P))	mPt	6,98	0,924	4,58	0,874	0,407	0,198
	Human toxicity air	mPt	5,24	0,143	4,27	0,578	0,0487	0,198
	Human toxicity water	mPt	7,82	0,669	4,56	0,981	1,34	0,277
	Human toxicity soil	mPt	0,277	0,0544	0,133	0,0174	0,0487	0,0238
	Ecotoxicity water chronic	mPt	x	x	x	x	x	x
	Ecotoxicity water acute	mPt	x	x	x	x	x	x
	Ecotoxicity soil chronic	mPt	x	x	x	x	x	x
	Hazardous waste	mPt	0,00603	0,00139	0,0027	0,000577	0,0011	0,00026
	Slags/ashes	mPt	0,104	0,0051	0,0188	0,0044	0,0744	0,0011
	Bulk waste	mPt	1,56	0,0492	1,21	0,187	0,0591	0,0509
	Radioactive waste	mPt	4,54	3,2	0,933	0,214	0,115	0,0759
	Resources (all)	mPt	x	x	x	x	x	x

Gambar 4.48 Perbandingan kategori dampak pada finishing

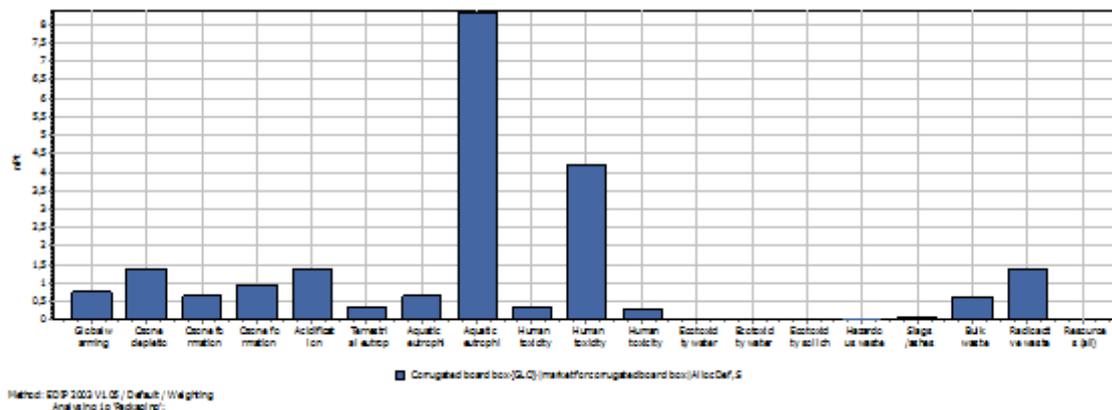
f. Packaging

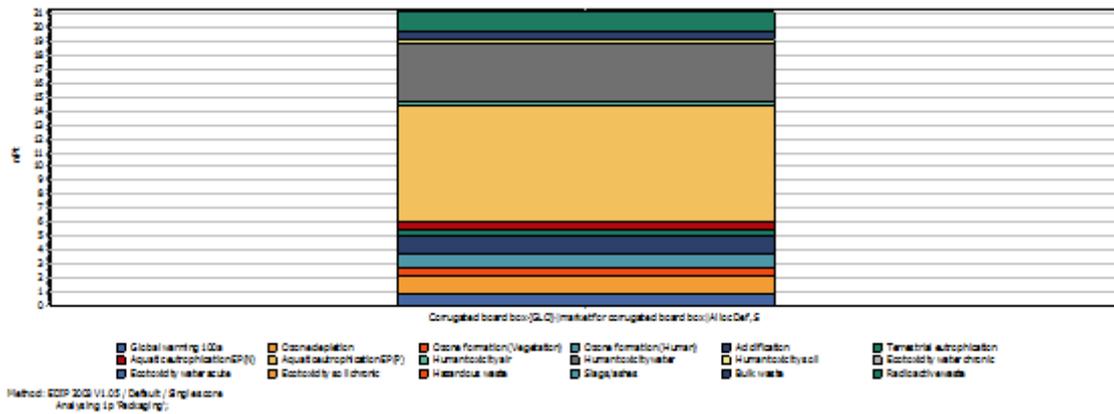
Gambar 4.49 menunjukkan hasil *characterization* dari proses *packaging*. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semua kategori dampak bernilai 100% dan pasti terjadi.



Gambar 4.49 Hasil *characterization* proses *packaging*

Dapat dilihat pada Gambar 4.50 yang merupakan hasil *impact weighting* bahwa dampak terbesar dari proses *packaging* adalah *aquatic eutrophication*.



Gambar 4.50 Hasil *weighting* proses *packaging*Gambar 4.51 Hasil *single score* pada proses *packaging*

Gambar 4.51 menunjukkan *output single score* pada proses *packaging*. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa total akumulasi dampak terbesar dihasilkan oleh karton. Berdasarkan Gambar 4.52, air menghasilkan total dampak sebesar 21,2 mPt, dengan dampak terbesar pada *aquatic eutrophication* yaitu sebesar 8,3 mPt. Hal ini dikarenakan pada pembuatan karton (*corrugated board box*), terdapat PO_4^{3-} yang mengandung unsur P (fosfor) yang menyebabkan eutrofikasi pada lingkungan perairan.

Sel	Impact category	Unit	Total	Corrugated board box (GLO) market
	Total	mPt	21,2	21,2
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming 100a	mPt	0,75	0,75
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone depletion	mPt	1,37	1,37
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Vegetation)	mPt	0,629	0,629
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Human)	mPt	0,933	0,933
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification	mPt	1,37	1,37
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial eutrophication	mPt	0,352	0,352
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(N)	mPt	0,632	0,632
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(P)	mPt	8,3	8,3
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity air	mPt	0,352	0,352
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity water	mPt	4,19	4,19
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity soil	mPt	0,25	0,25
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water chronic	mPt	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water acute	mPt	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity soil chronic	mPt	x	x
<input checked="" type="checkbox"/>	Hazardous waste	mPt	0,00687	0,00687
<input checked="" type="checkbox"/>	Slags/ashes	mPt	0,0404	0,0404
<input checked="" type="checkbox"/>	Bulk waste	mPt	0,618	0,618
<input checked="" type="checkbox"/>	Radioactive waste	mPt	1,39	1,39
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources (all)	mPt	x	x

Gambar 4.52 Perbandingan kategori dampak pada *packaging*

Berdasarkan hasil *impact assessment* diatas, maka dapat dibandingkan hasil antar proses produksi agar dapat diketahui proses yang memiliki dampak terbesar pada proses produksi Brighton NS Cinnamon. Gambar 4.53 menunjukkan hasil *characterization* dari proses produksi. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa semua kategori dampak bernilai 100% dan pasti terjadi.

komponen kayu panel. Berdasarkan Gambar 4.56, komponen kayu panel menghasilkan total dampak sebesar 1,11 Pt, dengan dampak terbesar pada *acidification* yaitu sebesar 0,415 Pt. Hal ini dikarenakan dalam memproses komponen kayu panel, listrik yang digunakan dalam proses tersebut sangat banyak sehingga menyebabkan asidifikasi.

Sel	Impact category	Unit	Total	Packaging	Kayu Hasil Kñn Dry	Komponen Kayu Panel	Komponen Kayu Solid	Finishing	Elektrik Bahan Baku	Transportasi dan Distribusi	Assembly
	Total	Pt	1,11	0,0212	0,624	1,11	0,187	0,0373	0,00443	0,0027	0,0517
	Global warming (100a)	Pt	0,2	0,00071	0,00136	0,162	0,0281	0,000948	9,21E-8	0,0016	0,00167
	Ozone depletion	Pt	0,0208	0,00127	0,00285	0,00668	8,44E-5	0,00403	0,00E-11	0,000517	0,00224
	Ozone formation (Vegetation)	Pt	0,189	0,000629	0,00211	0,142	0,0247	0,000991	3,92E-7	0,0171	0,00188
	Ozone formation (Human)	Pt	0,277	0,000933	0,00302	0,208	0,0362	0,00152	5,69E-7	0,0241	0,0029
	Acidification	Pt	0,514	0,00137	0,00493	0,415	0,0722	0,00241	2,88E-7	0,0143	0,00291
	Terrestrial eutrophication	Pt	0,0005	0,000252	0,001	0,0067	0,0115	0,000343	2,08E-7	0,00098	0,000612
	Aquatic eutrophication (N)	Pt	0,0665	0,000632	0,000726	0,0483	0,00834	0,00063	1,49E-7	0,00738	0,00555
	Aquatic eutrophication (P)	Pt	0,0048	0,0003	8,22E-5	0,0172	0,000144	0,00098	x	0,000407	0,0218
	Human toxicity air	Pt	0,0105	0,000252	0,00132	0,00333	0,000217	0,00524	1,1E-7	0,00148	0,00296
	Human toxicity water	Pt	0,015	0,00019	0,578	0,0177	0,00105	0,00792	3,3E-8	0,000604	0,00266
	Human toxicity soil	Pt	0,016	0,00025	0,0047	0,00433	0,000238	0,000277	1,3E-7	0,00117	0,00207
	Ecotoxicity water chronic	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ecotoxicity water acute	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ecotoxicity soil chronic	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Hazardous waste	Pt	0,0173	6,82E-6	0,0171	3,41E-5	0,000126	6,03E-6	x	3,15E-7	4,31E-5
	Slags/ashes	Pt	0,000611	4,04E-5	4,9E-5	0,000774	1,83E-5	0,000104	x	1,82E-6	1,27E-5
	Bulk waste	Pt	0,0283	0,000618	0,00442	0,00701	0,00427	0,00156	0,00442	0,000186	0,0038
	Radioactive waste	Pt	0,0133	0,00136	5,65E-6	0,00626	2,31E-5	0,00454	x	0,000379	0,000738
	Resources (all)	Pt	x	x	x	x	x	x	x	x	x

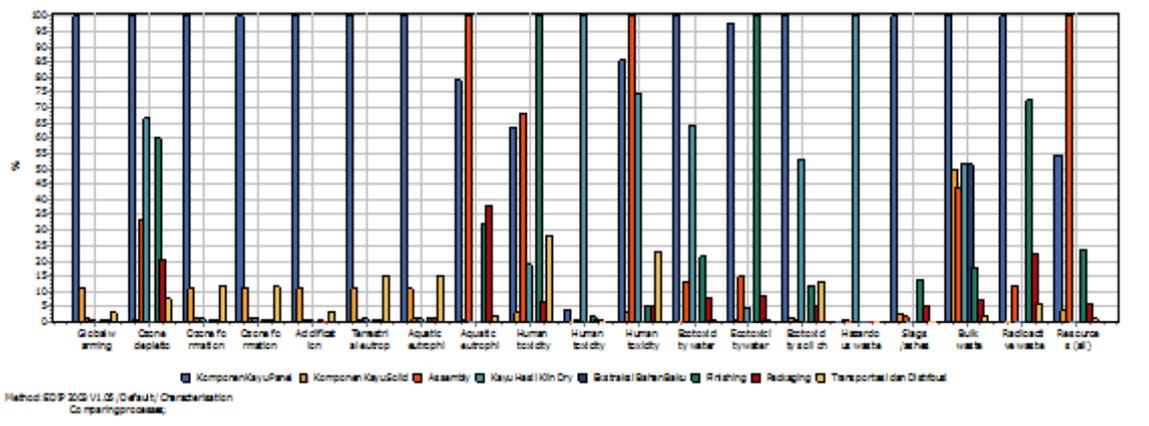
Gambar 4.56 Perbandingan kategori dampak pada proses produksi

4.4.2.1 Perbandingan Hasil Seluruh Proses

Berdasarkan hasil *output* SIMAPRO, maka dapat dibandingkan antar proses ekstraksi, transportasi dan distribusi serta proses produksi, sehingga dapat diketahui proses mana yang memberikan dampak terbesar bagi lingkungan menurut metode EDIP 2003.

1. Hasil Characterization

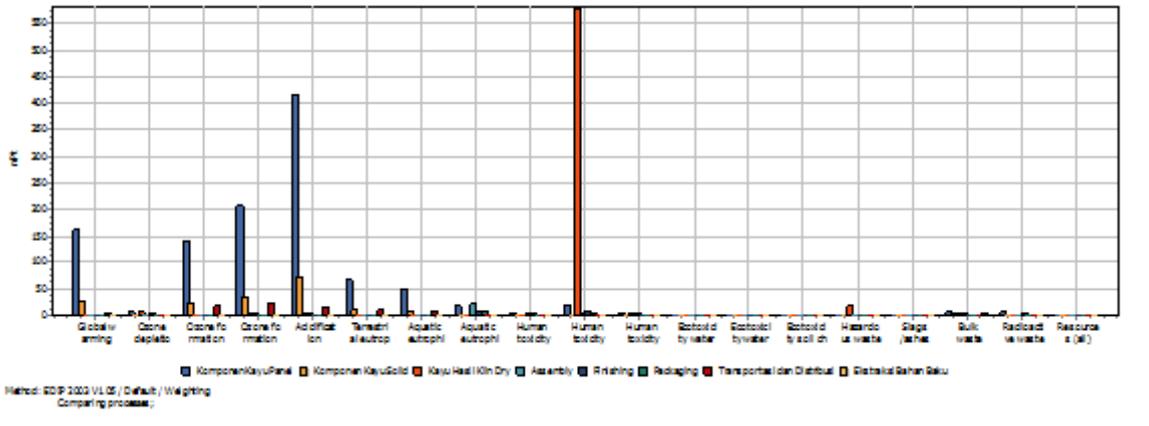
Berdasarkan perbandingan dari *output characterization*, seperti pada Gambar 4.57 dapat dilihat bahwa proses yang paling banyak menghasilkan dampak 100% adalah proses pembuatan komponen kayu panel dimana terjadi pada sebanyak 12 dampak, yaitu *global warming*, *ozone depletion*, *ozone formation (vegetasi)*, *ozone formation (human)*, *acidification*, *terrestrial eutrophication*, *aquatic eutrophication (N)*, *ecotoxicity water chronic*, *ecotoxicity soil chronic*, *slags/ashes*, *radioactive waste* dan *bulk waste*. Proses lainnya yang memberikan dampak 100% adalah *assembly* sebanyak 3 kategori dampak, *finishing* sebanyak 2 kategori dampak, dan *kiln dry* sebanyak 2 kategori dampak.



Gambar 4.57 Hasil *characterization* perbandingan seluruh proses

2. Hasil Weighting

Gambar 4.58 menunjukkan hasil *weighting* dari seluruh proses yang terjadi dalam pembuatan laci Brighton NS Cinnamon. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kategori dampak terbesar yang terjadi adalah *human toxicity water* yang disebabkan oleh *kiln dry*. Hal tersebut dikarenakan *wood fuel* MDF memiliki dampak yang cukup besar terhadap perairan. Kategori dampak terbesar selanjutnya adalah *acidification* yang disebabkan oleh pembuatan komponen kayu panel. Proses pembuatan komponen kayu panel membutuhkan listrik yang cukup banyak, sehingga dapat menyebabkan asidifikasi.

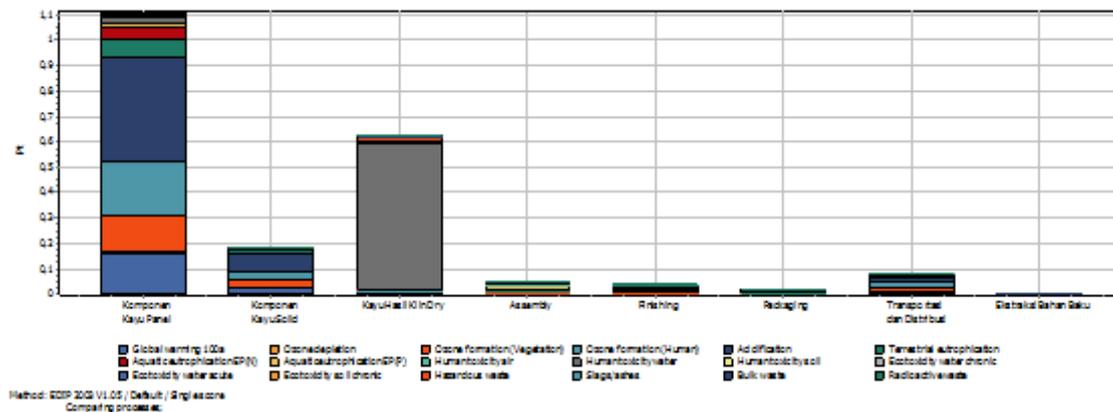


Gambar 4.58 Hasil *weighting* perbandingan seluruh proses

3. Hasil Single Scoring

Pada Gambar 4.59 dan Gambar 4.60 adalah hasil *single score* dari komparasi antar seluruh proses. Dapat dilihat dari gambar dan tabel tersebut bahwa proses yang memiliki dampak terbesar adalah proses pembuatan komponen kayu panel yaitu sebesar 1,11 Pt. Selanjutnya diikuti oleh *kiln dry* (0,624 Pt), proses pembuatan komponen kayu *solid* (0,187 Pt), transportasi dan distribusi (0,0827 Pt) *assembly*

(0,0517 Pt), finishing (0,0373 Pt), packaging (0,0212 Pt) dan yang terakhir proses ekstraksi bahan baku (0,00443 Pt).



Gambar 4.59 Hasil single score perbandingan seluruh proses

Perbedaan yang signifikan terjadi antara nilai dari proses pembuatan komponen kayu panel dengan proses lainnya dikarenakan tingginya pemakaian listrik yang digunakan pada proses tersebut sehingga menyebabkan kategori dampak seperti asidifikasi, ozone formation, dan sebagainya menjadi tinggi nilainya.

Sel	Impact category	Unit	Komponen Kayu Panel	Komponen Kayu Solid	Kayu Hasil Hlin Dry	Assembly	Finishing	Packaging	Transportasi dan Distribusi	Ekstraksi Bahan Baku
Total		Pt	1,11	0,187	0,624	0,0517	0,0373	0,0212	0,0827	0,00443
Global warming 300a		Pt	0,352	0,0281	0,00136	0,00167	0,000848	0,00075	0,00536	9,23E-8
Ozone depletion		Pt	0,00668	0,44E-5	0,00085	0,00224	0,00403	0,00137	0,000517	9,08E-11
Ozone formation (Vegetation)		Pt	0,142	0,0247	0,00211	0,00188	0,000991	0,000629	0,0171	3,92E-7
Ozone formation (Human)		Pt	0,308	0,0362	0,00302	0,0029	0,00152	0,000933	0,0241	5,65E-7
Acidification		Pt	0,415	0,0722	0,00493	0,00291	0,00241	0,00137	0,0143	2,89E-7
Terrestrial eutrophication		Pt	0,0667	0,0115	0,001	0,000612	0,000343	0,000352	0,00098	2,06E-7
Aquatic eutrophication (FPO)		Pt	0,0483	0,00034	0,000726	0,00055	0,00063	0,000632	0,00738	1,49E-7
Aquatic eutrophication (FP)		Pt	0,0172	0,001144	8,24E-5	0,0218	0,00698	0,0083	0,000407	*
Human toxicity air		Pt	0,00333	0,000237	0,00132	0,00336	0,00524	0,000352	0,00148	1,1E-7
Human toxicity water		Pt	0,0177	0,00105	0,578	0,00399	0,00782	0,00419	0,000604	3,5E-8
Human toxicity soil		Pt	0,00433	0,000238	0,0047	0,00507	0,000277	0,00025	0,00117	1,3E-7
Ecotoxicity water chronic		Pt	*	*	*	*	*	*	*	*
Ecotoxicity water acute		Pt	*	*	*	*	*	*	*	*
Ecotoxicity soil chronic		Pt	*	*	*	*	*	*	*	*
Hazardous waste		Pt	3,41E-5	0,000126	0,00171	4,31E-5	6,03E-6	6,87E-6	3,15E-7	*
Slags/washes		Pt	0,000734	1,83E-5	4,9E-9	1,27E-5	0,000104	4,04E-5	1,82E-6	*
Bulk waste		Pt	0,00701	0,00427	0,00442	0,0038	0,00156	0,000618	0,000186	0,00442
Radioactive waste		Pt	0,00626	3,32E-5	5,65E-6	0,000738	0,00454	0,00139	0,000376	*
Resources (oil)		Pt	*	*	*	*	*	*	*	*

Gambar 4.60 Hasil weighting dan single score komparasi seluruh proses

4.5 Life Cycle Interpretation

Pada tahap interpretasi, hasil dari LCI dan LCIA akan diidentifikasi, diukur, diperiksa dan dievaluasi. Hasil yang telah didapatkan akan dianalisis sehingga didapatkan proses-proses yang memberikan dampak tertinggi. Kemudian rekomendasi perbaikan akan diberikan berdasarkan strategi cleaner production sebagai usaha untuk mengurangi dampak lingkungan dari siklus hidup Brighton NS Cinnamon.

4.5.1 Analisis Dampak Tertinggi

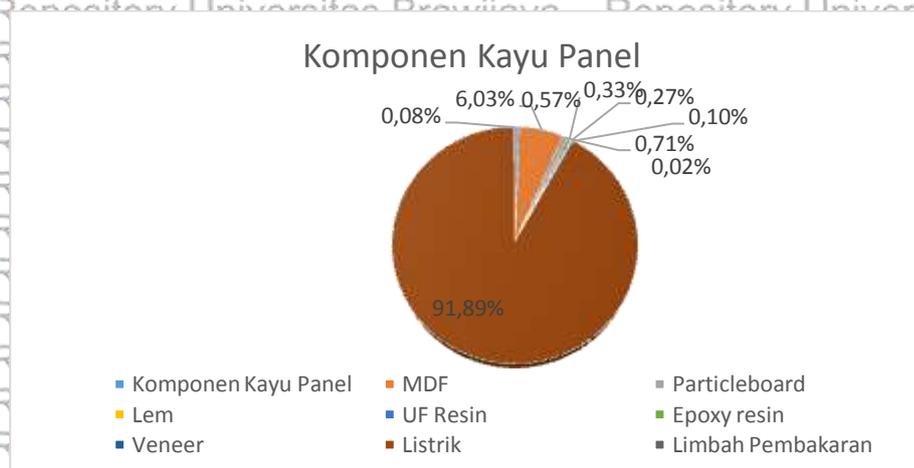
Berdasarkan hasil *impact assessment*, dapat dilihat proses-proses yang memberikan dampak tertinggi terhadap lingkungan. Tabel 4.10 menunjukkan rekapitulasi dampak tertinggi dari masing-masing proses. Terdapat tiga proses yang memiliki dampak tertinggi, yaitu proses pembuatan komponen kayu panel, *kiln dry* dan proses pembuatan komponen kayu panel. Ketiganya merupakan bagian dari proses produksi.

Tabel 4.10
Rekapitulasi Kategori Dampak Tertinggi dan Penyebabnya

No.	Nama Proses	Kategori Dampak Tertinggi	Nilai	Proses Penyebab Dampak
1.	Ekstraksi Kayu Solid	Bulk Waste	0,00442 Pt	Kayu Solid
2.	Transportasi dan Distribusi	Ozone Formation	0,0241 Pt	Distribusi Produk Jadi
3.	<i>Kiln dry</i>	Human Toxicity Water	0,578 Pt	Wood Fuel, MDF
4.	Komponen Solid	Acidification	0,0722 Pt	Listrik
5.	Komponen Panel	Acidification	0,415 Pt	Listrik
6.	Assembly	Aquatic Eutrophication (P)	0,0218 Pt	Besi
7.	Finishing	Human Toxicity Water	0,00782 Pt	Alkyd Paint
8.	Packaging	Aquatic Eutrophication (P)	0,0083 Pt	Karton

Dapat dilihat pada Gambar 4.61 bahwa kontribusi terbesar dari proses komponen kayu panel adalah listrik, yaitu sebesar 92,13% dari keseluruhan dampak dengan nilai 1,02 Pt.

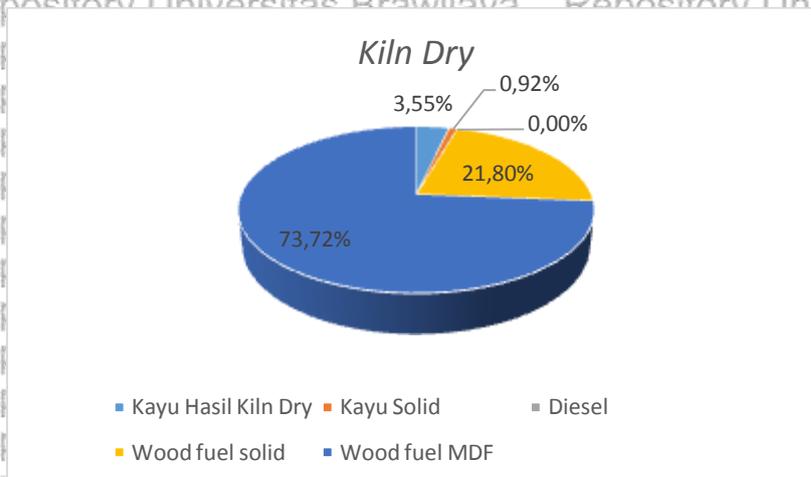
Dan selanjutnya diikuti oleh *Medium Density Fibre* yang memiliki persentase 6,04% dari keseluruhan dampak dengan nilai 0,0669 Pt.. Dampak terbesar yang dihasilkan oleh listrik pada proses pembuatan kayu panel adalah asidifikasi dengan nilai 0,415 Pt, sedangkan dampak tertinggi yang dihasilkan oleh MDF adalah *human toxicity water*, yaitu sebesar 0,016 Pt.



Gambar 4.61 Persentase kontribusi dampak pembuatan kayu panel

Sedangkan Gambar 4.62 menunjukkan bahwa kontribusi terbesar dari proses *kiln dry* adalah *wood fuel* MDF, yaitu sebesar 73,72% dari keseluruhan dampak dengan nilai

498 mPt. Dan selanjutnya diikuti oleh *wood fuel solid* yang memiliki persentase 3,54% dari keseluruhan dampak dengan nilai 105 mPt.



Gambar 4.62 Persentase kontribusi dampak kiln dry

Gambar 4.63 menunjukkan bahwa kontribusi terbesar dari proses komponen kayu *solid* adalah listrik, yaitu sebesar 94,17% dari keseluruhan dampak dengan nilai 180 mPt. Dan selanjutnya diikuti oleh kayu *solid* yang memiliki persentase 3,54% dari keseluruhan dampak dengan nilai 4,25 mPt.. Dampak terbesar yang dihasilkan oleh listrik pada proses pembuatan kayu panel adalah asidifikasi dengan nilai 71,9 mPt, sedangkan dampak tertinggi yang dihasilkan oleh kayu *solid* adalah *bulk waste*, yaitu sebesar 4,25 mPt.



Gambar 4.63 Persentase kontribusi dampak pembuatan kayu solid

4.5.1 Rekomendasi Perbaikan

Berdasarkan hasil dari *impact assessment*, rekomendasi akan diprioritaskan di proses produksi karena proses produksi memiliki nilai dampak yang paling besar dibandingkan proses transportasi dan proses ekstraksi. Diharapkan dengan mengurangi dampak yang

disebabkan oleh ketiga proses tersebut, maka dapat mengurangi dampak keseluruhan dari proses produksi laci Brighton NS Cinnamon. Rekomendasi perbaikan ini memiliki strategi *concurrent*, yaitu dimana perbaikan untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan dilakukan secara bersamaan.

Untuk merumuskan rekomendasi perbaikan, dapat digunakan strategi *Cleaner Production* (CP). Terdapat tiga, dari tujuh strategi *cleaner production*, yang dapat digunakan untuk mengurangi potensi dampak lingkungan dari proses produksi laci Brighton NS Cinnamon, yaitu substitusi material dan modifikasi alat. Rekomendasi perbaikan terangkum dalam Tabel 4.11.

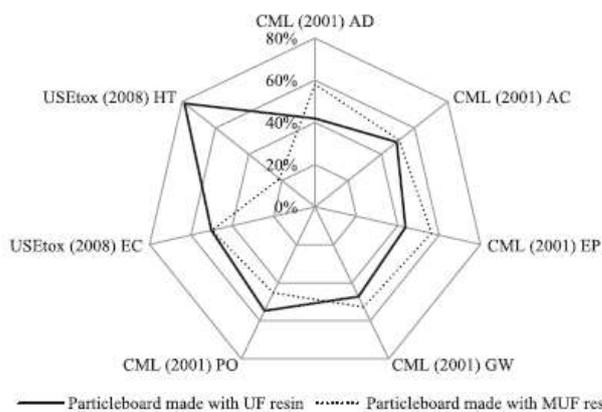
1. Substitusi Material

Material yang memiliki dampak lingkungan yang tinggi dapat disubstitusikan dengan material yang tidak beracun, bisa diperbaharui maupun dengan yang memiliki ketahanan yang lebih baik. Berikut ini adalah rekomendasi yang sesuai dengan strategi tersebut.

a. Mengganti penggunaan UF resin dengan Melamine-UF resin.

UF resin memiliki nilai 0,00368 Pt pada proses pengolahan panel. meSaat ini, UF resin masih mejadi salah satu resin yang paling banyak digunakan di dunia karena harganya yang murah dan performansi operasi yang lebih baik dibandingkan resin lainnya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Silva et al (2015), mengenai perbandingan aplikasi MUF dan UF untuk memproduksi kayu *medium density particleboard*, bahwa MUF dapat menggantikan UF resin dan memiliki kontribusi yang lebih sedikit terhadap *ecotoxicity* dan *human toxicity*. Pada penelitian tersebut dikatakan bahwa pengurangan terhadap *formaldehyde* terjadi saat adanya penambahan melamine. Ketika MUF resin memiliki kandungan melamine sebesar 10%, maka kandungan *formaldehyde* akan turun dari 1% (di UF resin) menjadi 0,45%, sehingga dampak yang dihasilkan oleh *formaldehyde* yaitu *photochemical oxidation* dan kategori *toxicological* akan berkurang. Gambar 4.64 menunjukkan perbandingan dampak yang diberikan oleh MUF resin dan UF resin yang dievaluasi menggunakan metode CML (2001) dan USEtox (2008). Berdasarkan Gambar 4.63, penggunaan UF resin berkontribusi lebih besar terhadap *Photochemical Oxidation* (PO), *Ecotoxicity* (EC) dan *Human Toxicity* (HT). Sedangkan MUF resin berkontribusi lebih besar terhadap *Abiotic Depletion* (AD),

Acidification (AC), *Eutrophication* (EP), dan *Global Warming* (GW). Persentase perbedaan antar penggunaan kedua resin untuk AC, GW dan EC adalah kurang dari 5% sehingga tidak terlalu signifikan. Akan tetapi untuk kategori dampak PO, EP, AD dan HT memiliki persentase perbedaan yang cukup besar yaitu masing-masing sebesar 9%, 13%, 16% dan 95%. Semakin rendah kontribusi substansi terhadap dampak lingkungan, maka substansi tersebut semakin baik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa MUF resin dapat menjadi alternatif bagi UF resin karena lebih rendahnya kontribusi MUF resin terhadap PO and HT. Akan tetapi, dampak yang dihasilkan oleh melamin juga tetap ada, yaitu *abiotic depletion* dan eutrofikasi, sehingga diperlukan penelitian tambahan untuk mengetahui cara untuk mengurangi dampak-dampak tersebut.



Gambar 4.64 Perbandingan dampak UF resin dan MUF resin

Sumber: Sivya et al (2015)

b. Mengganti *alkyd paint*

Alkyd paint adalah salah satu bahan yang mengandung *volatile organic chemical* (VOC). VOC adalah gas yang dikeluarkan dari *solid* atau *liquid* tertentu. VOC dapat ditemui diberbagai produk rumah tangga seperti cat, *wood preservatives*, aerosol, disinfektan, dan sebagainya. VOC akan lepas ke udara pada saat cat sedang diaplikasikan ke produk atau pada saat tempat penyimpanan cat terbuka dan dapat menyebabkan dampak, baik pendek maupun panjang, bagi kesehatan manusia. Beberapa penyakit yang disebabkan oleh VOC adalah iritasi mata, hidung dan tenggorokan, sakit kepala, kerusakan pada hati, ginjal dan syaraf, dan bahkan beberapa organik dapat menyebabkan kanker. Saat ini, *alkyd paint* seing digunakan karena kemudahan dalam pengaplikasian dan hasilnya yang memiliki karakteristik *high gloss*. Selain itu, *alkyd paint* juga memiliki sifat anti-korosi yang cukup tinggi, kecepatan pengeringan yang tinggi serta ketahanan terhadap

air dan kelembapan. Beberapa alternatif yang dapat digunakan adalah *waterborne*, *ultraviolet-curable*, *polyurethane* dan *polyester coating* (EPA, 1995).

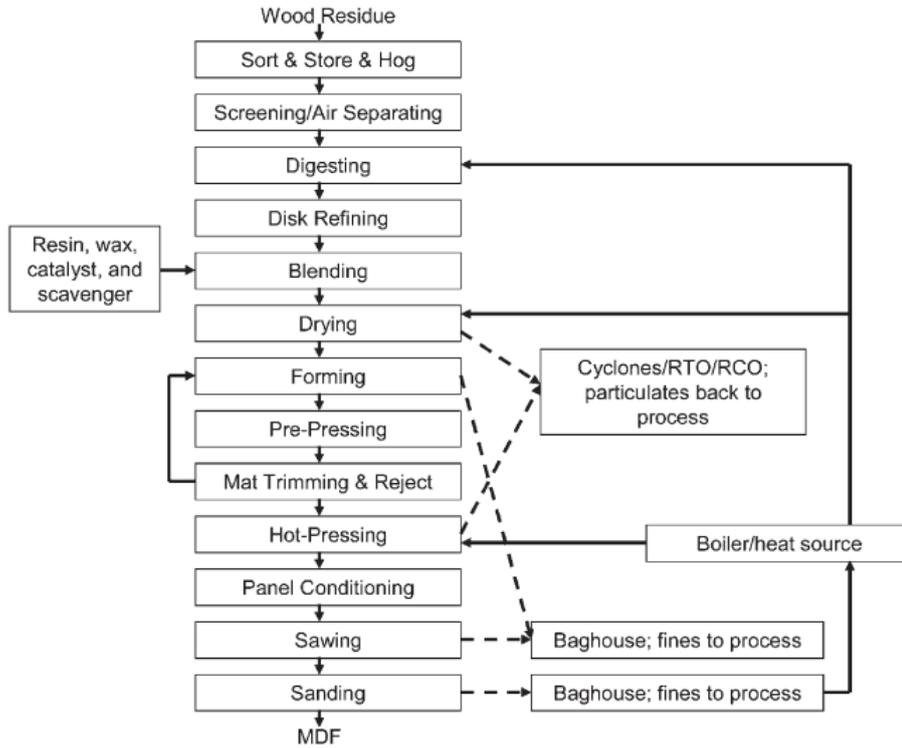
Salah satu alternatif yang sering digunakan untuk menggantikan *alkyd paint* adalah *waterborne alkyd*. Akan tetapi, *waterborne alkyd* memiliki kelemahan yaitu waktu pengeringan yang cukup lama serta ketahanan terhadap korosi dan air yang lebih rendah daripada *alkyd paint* yang biasa. Pada tahun 2016, Vogel et al membuat sebuah penelitian yang dapat menciptakan *waterborne alkyd* yang hampir memiliki tidak VOC tapi dengan performansi yang sama dengan *alkyd paint* biasa dengan cara mendispersi *alkyd* secara mekanis. Akan tetapi, saat *coating* tersebut masih jarang ditemukan karena biaya produksi yang tinggi dari *coating* tersebut.

2. Modifikasi Alat

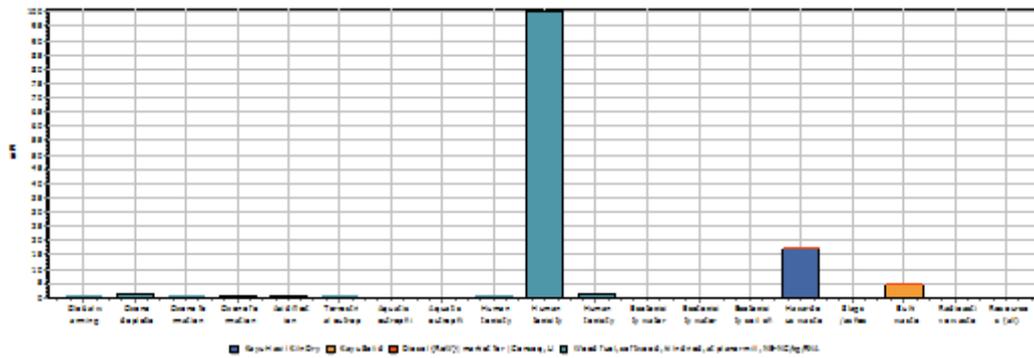
Modifikasi alat berarti mengganti proses dan alat agar dapat mengurangi limbah serta lebih mengefisienkan penggunaan energi. Berikut ini adalah rekomendasi yang sesuai dengan strategi tersebut.

a. Sisa MDF dan PB disimpan untuk nantinya dibuat menjadi MDF dan PB baru.

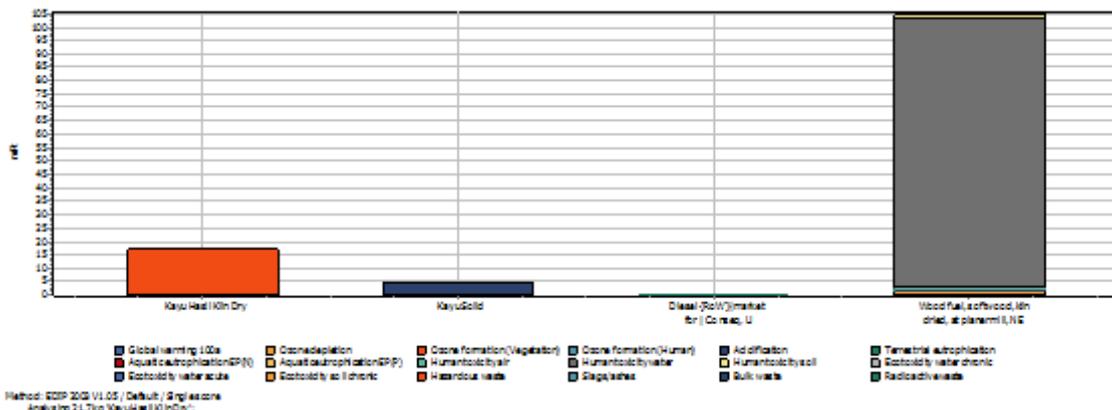
Untuk membuat MDF dan PB, lem digunakan untuk menyatukan kayu-kayu. Di perusahaan, kayu-kayu MDF dan PB yang tersisa digunakan sebagai bahan bakar untuk *boiler*, akan tetapi lem yang terbakar dapat menyebabkan racun, terutama bagi wilayah perairan manusia (USAID, 2009). Dengan besarnya pabrik di perusahaan furnitur kayu, maka penyimpanan MDF dan PB sangat memungkinkan. Sehingga akan lebih baik jika kayu MDF dan PB disimpan untuk nantinya diolah menjadi MDF atau PB baru. Pembuatan MDF dapat dilihat pada Gambar 4.64. Sebagai gantinya, bahan bakar yang bisa digunakan untuk *boiler* dapat menggunakan serbuk kayu *solid* yang tersisa dari pengolahan kayu *solid* atau membeli bahan bakar kayu yang lebih ramah lingkungan. Gambar 4.65 dan Gambar 4.66 menunjukkan dampak pada *kiln dry* apabila tidak menggunakan kayu panel sebagai bahan bakar untuk *boiler*. Ketika tidak menggunakan kayu panel untuk bahan bakar kayu di *boiler*, nilai dampak pada *kiln dry* turun dari 481 mPt menjadi 126 mPt.



Gambar 4.65 Langkah pembuatan MDF



Gambar 4.66 Hasil weighting kiln dry setelah tidak melakukan pembakaran MDF



Gambar 4.67 Hasil single score kiln dry setelah tidak melakukan pembakaran MDF

3. Pergantian Teknologi

Teknologi yang digunakan saat ini memerlukan energi yang cukup besar, sehingga ada baiknya perusahaan mengganti teknologi yang digunakan dengan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan yang membutuhkan *input* energi yang lebih sedikit. Berikut ini adalah rekomendasi yang sesuai dengan strategi tersebut.

a. Menggunakan *boiler* sebagai sumber energi listrik yang bisa diperbaharui.

Boiler yang digunakan oleh perusahaan furnitur kayu saat ini menggunakan bahan bakar kayu. Kayu adalah salah satu bahan bakar *biomass*, yaitu bahan bakar yang mengandung karbohidrat dan biasanya terkandung di dalam tanaman. *Biomass* adalah salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui karena supplier nya tidak terbatas. *Biomass* adalah energi serbaguna yang dapat dimanfaatkan untuk biogas, bahan bakar liquid dan listrik (Saidur et al, 2011).

Pada perusahaan saat ini, *boiler* hanya digunakan di proses *kiln dry* sebagai pengering kayu. Akan tetapi, dengan tingginya penggunaan listrik di proses produksi laci Brighton NS Cinnamon, *boiler* dapat menjadi energi alternatif untuk mengurangi dampak yang disebabkan oleh penggunaan listrik. *Boiler* mengeluarkan uap panas dapat menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator listrik. Sehingga pada saat turbin berputar, generator listrik ikut berputar dan menghasilkan listrik. Untuk masalah biaya, penginstalasian *boiler* untuk dijadikan energi listrik memang lebih mahal, akan tetapi untuk biaya operasi, *boiler* akan memakan harga lebih murah daripada membeli listrik ke PLN. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Daskalakis dan Iyer (2009), penggunaan dari *boiler* yang menggunakan bahan bakar biomassa dapat memberikan kesempatan untuk perusahaan untuk berhemat sebanyak 19 juta dollar dari penghematan operasi dan *capital investment* selama penggunaan 20 tahun.

Tabel 4.11
Rekomendasi Perbaikan untuk Siklus Hidup Brighton NS Cinnamon

No.	Nama Proses	Proses Penyebab Dampak	Rekomendasi Perbaikan
1.	<i>Kiln dry</i>	Wood Fuel, MDF	Sisa MDF dan PB disimpan untuk nantinya dibuat menjadi MDF dan PB baru
2.	Komponen Solid	Listrik	Menggunakan <i>boiler</i> sebagai sumber energi listrik yang bisa diperbaharui
3.	Komponen Panel	Listrik	Menggunakan <i>boiler</i> sebagai sumber energi listrik yang bisa diperbaharui
		UF resin	Mengganti penggunaan UF resin dengan Melamine-UF



BAB V PENUTUP

Pada bab ini membahas kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan tujuan dari penelitian dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya. Kesimpulan didapatkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, sedangkan saran ditujukan untuk perusahaan dan untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan dari penelitian ini.

1. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan SIMAPRO 8, didapatkan dampak lingkungan yang disebabkan oleh siklus hidup laci Brighton NS Cinnamon. Dampak tertinggi dihasilkan oleh proses produksi, yaitu pada proses pengolahan kayu panel, *kiln dry* dan proses pengolahan kayu *solid*. Pada proses pengolahan kayu panel, dampak tertinggi yang terjadi adalah asidifikasi (126 m^2) yang disebabkan oleh penggunaan listrik yang tinggi. Sedangkan untuk *kiln dry* dampak tertinggi yang terjadi adalah *human toxicity water* (16000 m^3) yang disebabkan oleh bahan bakar kayu MDF. Untuk proses pengolahan kayu *solid*, dampak tertinggi yang terjadi adalah asidifikasi ($13,7 \text{ m}^2$) yang disebabkan oleh penggunaan listrik pula.

2. Dari hasil *impact assessment* yang dihasilkan oleh *software* SIMAPRO 8, didapatkan nilai dampak masing-masing. Berikut ini adalah besar dampak yang dihasilkan oleh proses pengolahan kayu panel.

- a. Acidification: 0,416 Pt
- b. Ozone formation (human): 0,208 Pt
- c. Global Warming: 0,162 Pt

Untuk proses *kiln dry*, besar dampak terbesar yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

- a. Human toxicity water: 578 mPt
- b. Hazardous waste: 17,1 mPt
- c. Ozone depletion: 5,85 mPt

Sedangkan untuk proses pengolahan kayu *solid*, berikut ini adalah dampak terbesar yang terjadi.

- a. Acidification: 72,2 mPt

b. Ozone formation (human): 36,2 mPt

c. Global warming 28,1 mPt

3. Rekomendasi perbaikan dari penelitian ini didapatkan dari hasil diskusi dengan perusahaan serta *review* jurnal dan berdasarkan metode *cleaner production*. Berikut merupakan rekomendasi perbaikan terhadap proses produksi dari laci Brighton NS Cinnamon.

a. Mengganti *alkyd paint* dengan cat yang lebih sedikit atau tidak mengandung bahan *volatile organic chemical* seperti *waterborne*, *ultraviolet-curable*, *polyurethane* dan *polyester coating*.

b. Mengganti penggunaan UF resin dengan Melamine-UF resin.

c. Menyimpan sisa MDF dan PB untuk dijadikan MDF dan PB baru.

d. Menggunakan *boiler* sebagai sumber energi listrik yang bisa diperbaharui.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian ini untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Sebaiknya perusahaan melakukan perhitungan dampak setiap produk di perusahaan furnitur kayu terhadap lingkungan, agar dampak tersebut dapat terukur dan dapat dilakukan perbaikan secara berkala dan dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

2. Sebaiknya *database* disesuaikan dengan keadaan di Indonesia sehingga *output* dari SIMAPRO 8 bisa lebih sesuai dengan kondisi nyata.

3. Selain fokus terhadap pengurangan dampak ke lingkungan, sebaiknya dilakukan pengkajian lebih lanjut mengenai bidang ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. (2006). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Atlas, M. dan R. Florida. (1998). *Green Manufacturing. Handbook of Technology Management*. CRC Press.
- Curran, Mary Ann. (1996). *Environmental Life Cycle Assessment*. Mc Graw Hill. New York, USA.
- Curran, M.A. (2012). *Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products*, United States of America: Scrivener Publishing LLC.
- Daskalakis M, Iyer V. (2009). *Finding Energy Savings with a Biomass Boiler*. <http://hpac.com/bse/finding-energy-savings-0609>; (diakses 19 Mei 2017).
- Environmental Protection Agency (EPA). (1995). *1995 Protocol for Equipment Leak Emission Estimation*. Washington: EPA.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1996). *1994 Toxics Release Inventory Public Data Release*. Washington, DC: EPA.
- European Union. (2010). *Analysis of Existing Environmental Impact Assessment Methodologies for use in Life Cycle Assessment*. Italy: EU
- Hauschild, Michael dan Jose Potting. (2005). *Spatial Differentiation in Life Cycle Impact Assessment – The EDIP 2003 Methodology*. Denmark: Environmental Protection Agency
- Hermawan.,(2013). *Peran Life Cycle Analysis (LCA) Pada Material Konstruksi Dalam Upaya Menurunkan Dampak Emisi Karbon Dioksida Pada Efek Gas Rumah Kaca*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Iritani, D. R. (2014). Sustainable Strategies Analysis Through Life Cycle Assessment: A Case Study In A Furniture Industry. *Journal of Cleaner Production Vol. 96:308-318*.
- International Energy Agency (IEA). (2009). *Transport, Energy and CO₂: Moving Towards Sustainability*. Paris: IEA.
- Internation Standard Organization (ISO). (2006). *Environmental Management — Life Cycle Assessment — Requirements and Guidelines*, Switzerland: ISO.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia. (2016). *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta.
- Kementrian Perindustrian (2013). *Industri Mebel Tumbuh Tujuh Persen*. Jakarta: Republika. <http://www.kemenperin.go.id/artikel/5799/Industri-Mebel-Tumbuh-7-Persen>. (diakses 3 November 2016).
- Klöpffer, W. (2008). Life Cycle Sustainability Assessment of Products. *The International Journal of Life Cycle Assessment Vol. 13: 89-95*.
- Megasari K , Swantomo D, Christina M. (2008). *Penakaran daur hidup pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batubara kapasitas 50 MWatt*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta.

Mintarsih, T.H. (2006). *Panduan Praktis Pengelolaan Lingkungan Industri Plywood*. Asdep. Bidang Pengendalian Pencemaran Agro Industri. Jakarta.

Porter, M. E., dan van der Linde, C. (1995). *Green and Competitive: Ending the Stalemate*. *Harvard Bus. Rev.* 73: 120-134.

Postell, J. (2007). *Furniture Design: Introduction to Furniture Design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Putri, Ratih Prabowo. (2014). Evaluasi Dampak Lingkungan pada Aktivitas Supply Chain Produk Susu KUD Batu dengan Implementasi Life Cycle Assessment dan Pendekatan Analytic Network Process. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri Vol. 2*: 684-695

Saidur, R., E. A. Abdelaziz, A. Demirbas., M.S. Hossain, S. Mekhilef. (2011). A Review on Biomass as A Fuel for Boilers. *Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 15*: 2262-2289.

Scientific Applications International Corporation (SAIC). (2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. Ohio: EPA.

Silva, D.A.L., Rocco Lahr, F.A., Varanda, L.D., Christoforo, A.L., Ometto, A.R., (2015). Environmental performance assessment of the melamine-urea-formaldehyde (MUF) resin manufacture: a case study in Brazil. *Journal Cleaner Production Vol. 96*: 299-307.

Suryadarmawan, Veditwo Ashari. (2014). *Analisis Cradle-To-Grave Produk Batik Cabut di Griya Batik Gress Tenan Laweyan*. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.

United State Agency International Development (USAID). (2009). *Environmental Guidelines for Small-Scale Activities in Africa*. Washington: USAID

Widiatmoko, Riza. (2015). Perancangan Furniture pada Hunian Kost Pekerja di Kawasan Suarabaya Timur. *Jurnal Intra, vol. 4*: 63-72.



Lampiran 1. Kebutuhan Bahan Baku

Kebutuhan Kayu solid dan Veneer

Nama Material	Jumlah Material
Kayu Solid	
Kayu Mahony	0,042 m ³
Kayu Meranti	0,001 m ³
Veneer	
Veneer cherry straight	0,807 m ³
Veneer cherry crown	0,867 m ³
Veneer okoume	1,436 m ³
Total	3,11 m ³

Kebutuhan Panel

Nama Material	Jumlah Material	Total
Kayu Panel		
MDF 2,5 x 1220 x 2440 mm	0,981 pc	0,007301 m ³
MDF 4 x 1220 x 2440 mm	0,25 pc	0,002977 m ³
MDF 9 x 1220 x 2440 mm	0,025 pc	0,00067 m ³
MDF 18 x 1220 x 2440 mm	0,182 pc	0,009752 m ³
Total		0,020699 m ³
PB 18 x 1220 x 2440 mm	0,081 pc	0,00434 m ³
PB 15 x 1220 x 2440 mm	0,142 pc	0,006341 m ³
PB 18 x 1220 x 2440 mm	0,083 pc	0,004447 m ³
Total		0,015128 m ³

Kebutuhan Hardware

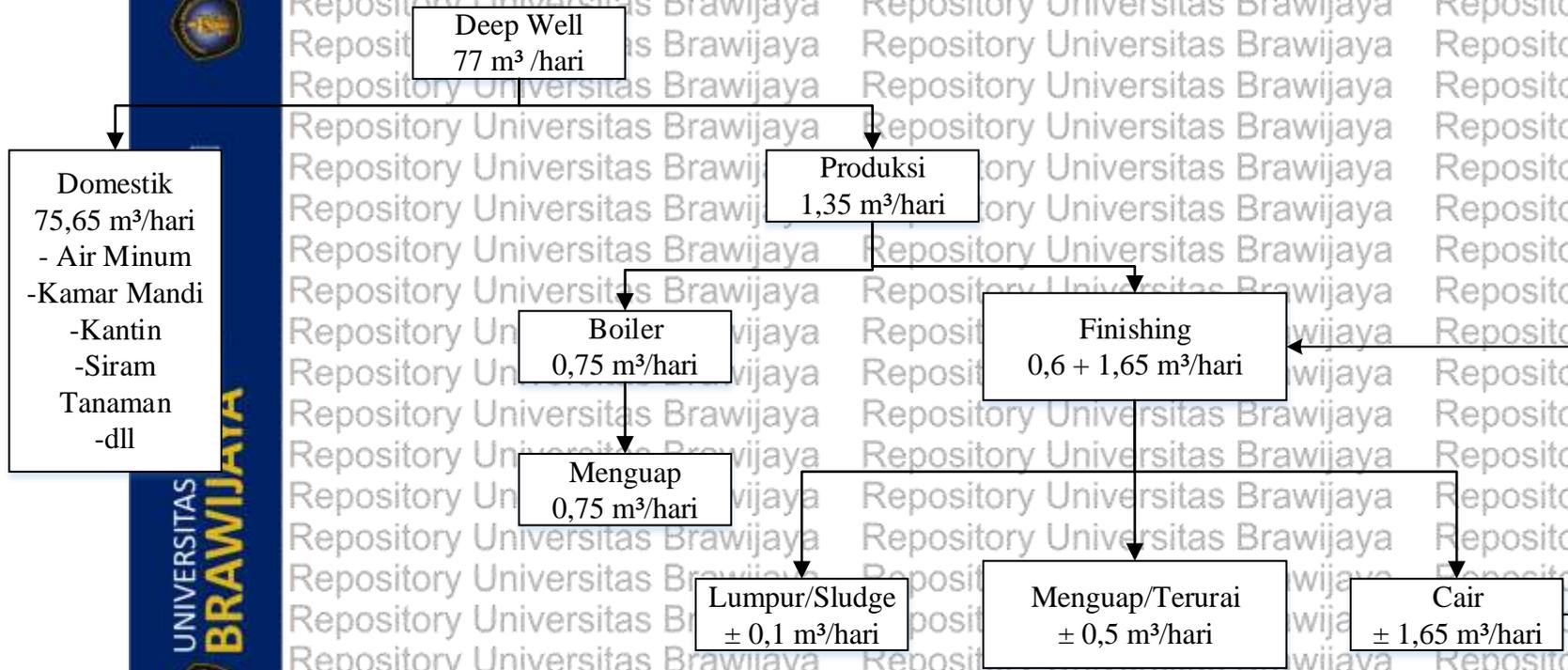
Nama Material	Berat	Jumlah	Total
Screw 8 x 2 TRP Putih	0,25 kg	6 pc	1,496 kg
Ambal paku plastik	0,001 kg	4 pc	0,004 kg
Screw 8 x 1 ¼ BLT DK putih	0,0085 kg	16 pc	0,136 kg
Screw 6 x 5/8 BLT hitam	0,0085 kg	14 pc	0,119 kg
Screw 6 x ¾ TRP putih	0,22 kg	4 pc	0,88 kg
Screw 6 x 1 TRP putih	0,15 kg	8 pc	1,2 kg
Screw 6 x 5/8 BLT putih	0,0056 kg	32 pc	0,181 kg
Screw 8 x 1 1/4 TRP DK putih	0,0085 kg	16 pc	0,136 kg
Total			4,152 kg

Bahan Tambahan

No.	Nama Material	Berat
1.	Thinner	0,871 kg
2.	Coating (Top coat, Smoothcoat, body stain)	0,726 kg
3.	Water-Based Putty	0,254 kg
4.	Sealer	0,358 kg



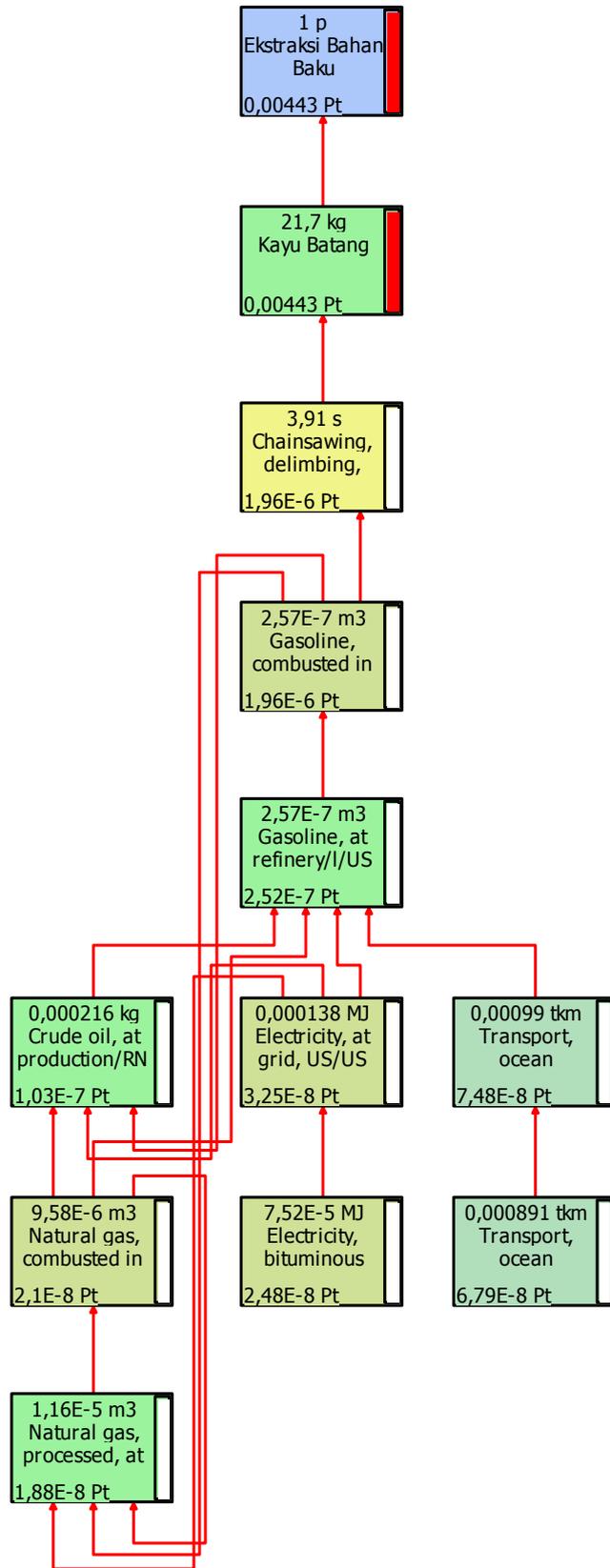
Lampiran 2. Neraca Penggunaan Air



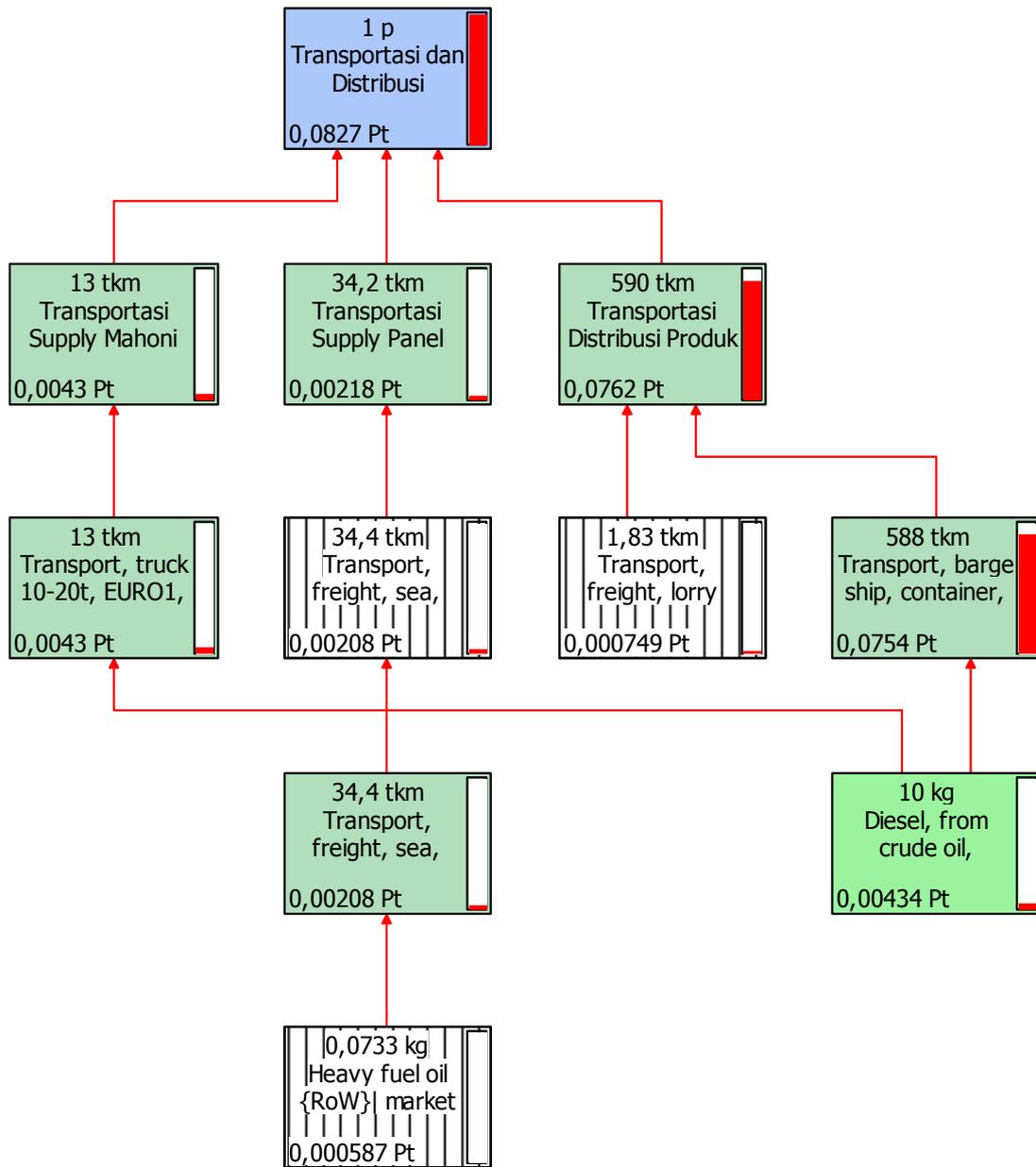


Lampiran 3. Hasil Network

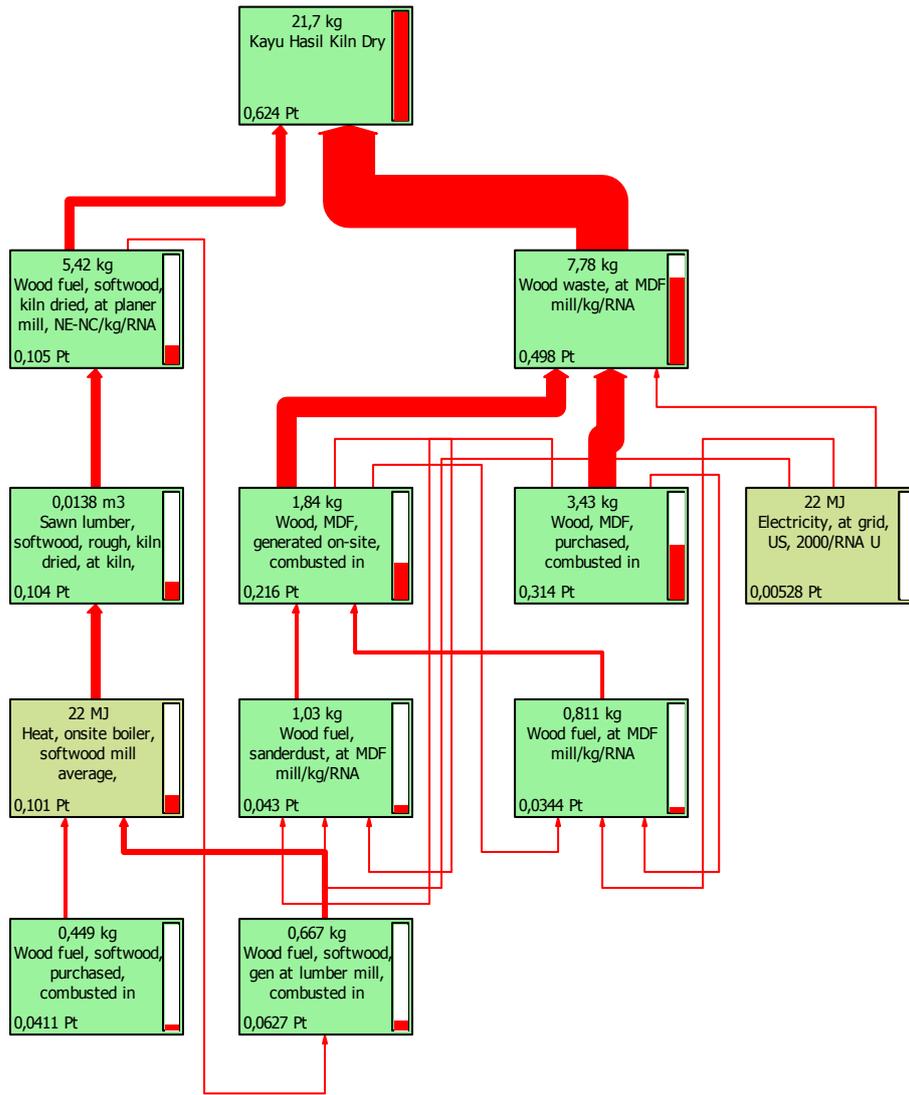
1. Proses Ekstraksi Bahan Baku



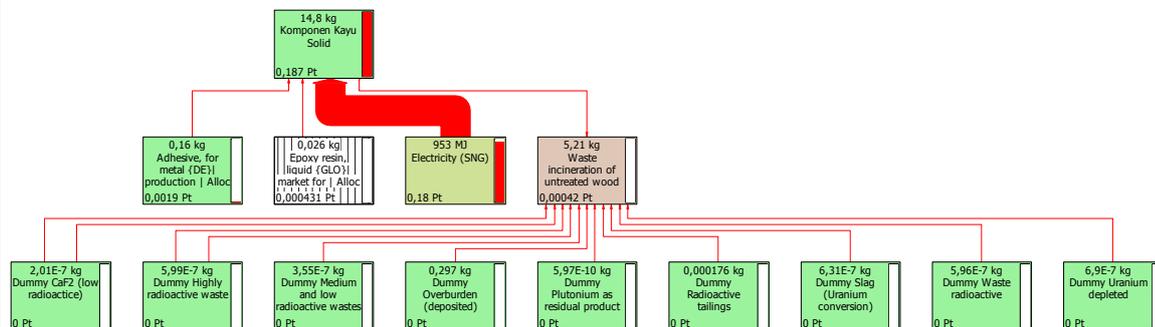
2. Proses Transportasi dan Distribusi



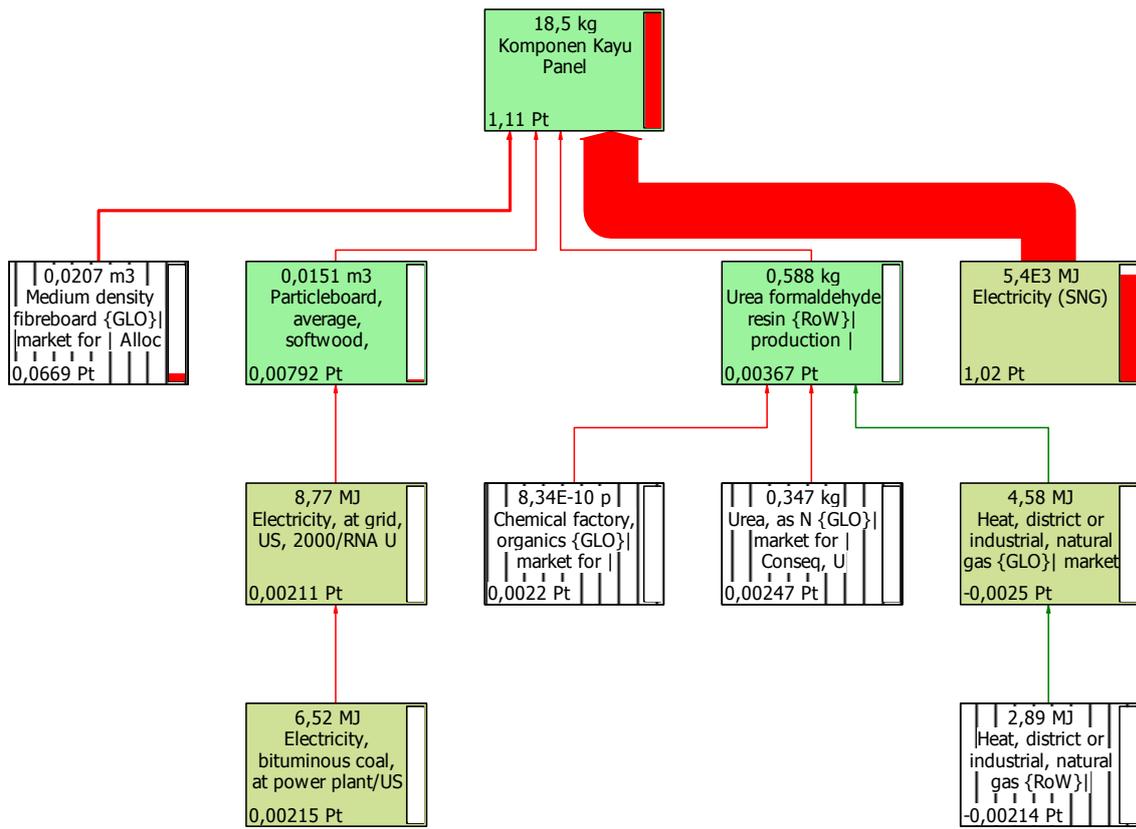
3. Proses Produksi
a. Proses *Kiln Dry*



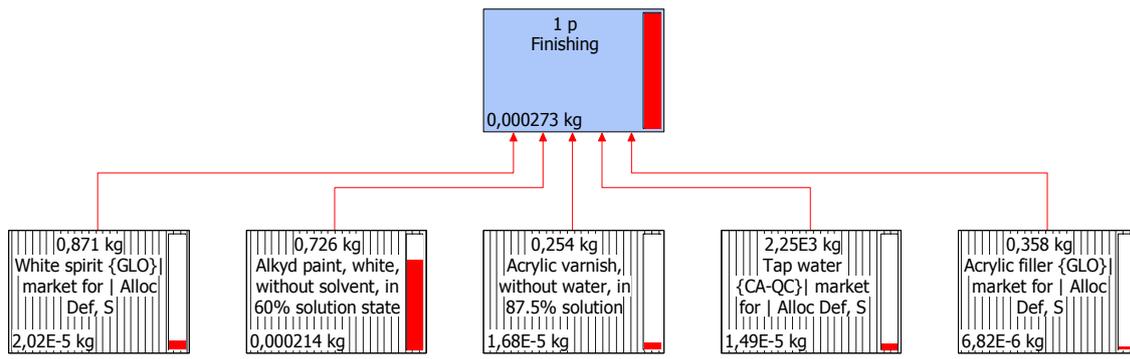
b. Proses Pengolahan Komponen Solid



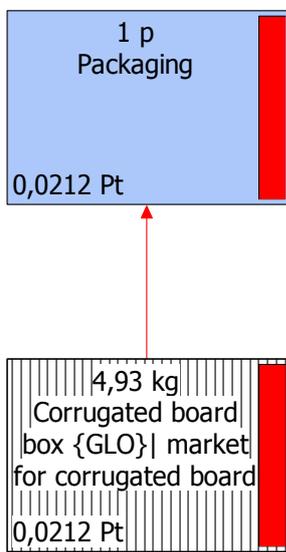
c. Proses Pengolahan Komponen Panel



e. Proses Finishing



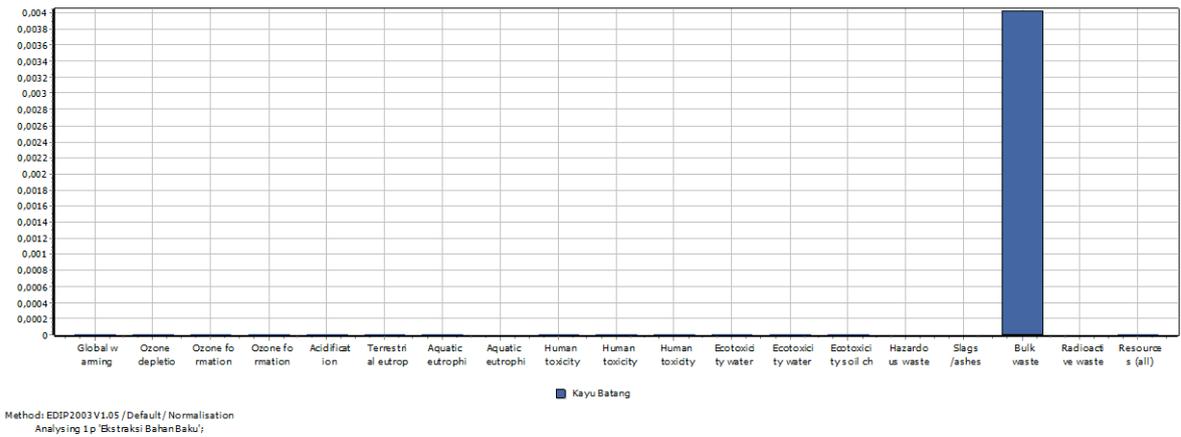
f. Proses Packaging



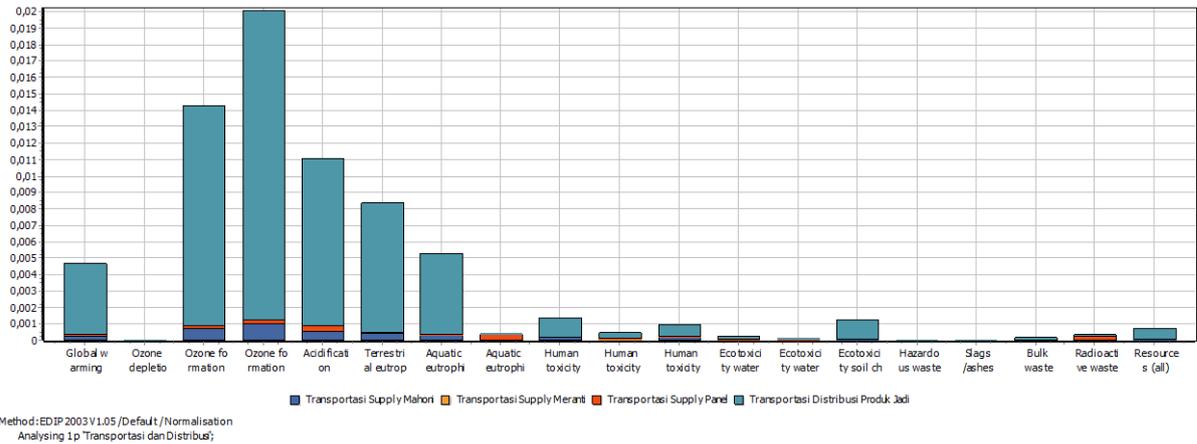


Lampiran 4. Hasil Normalization

4. Proses Ekstraksi Bahan Baku

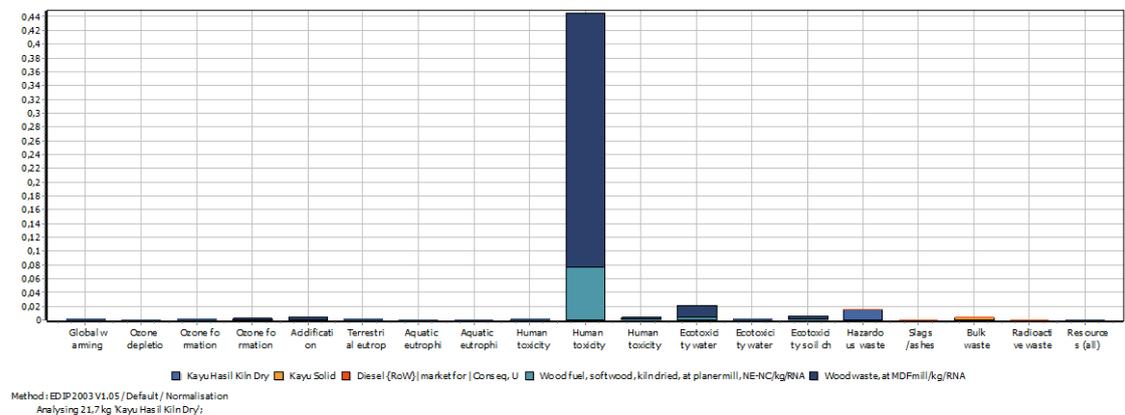


5. Proses Transportasi dan Distribusi

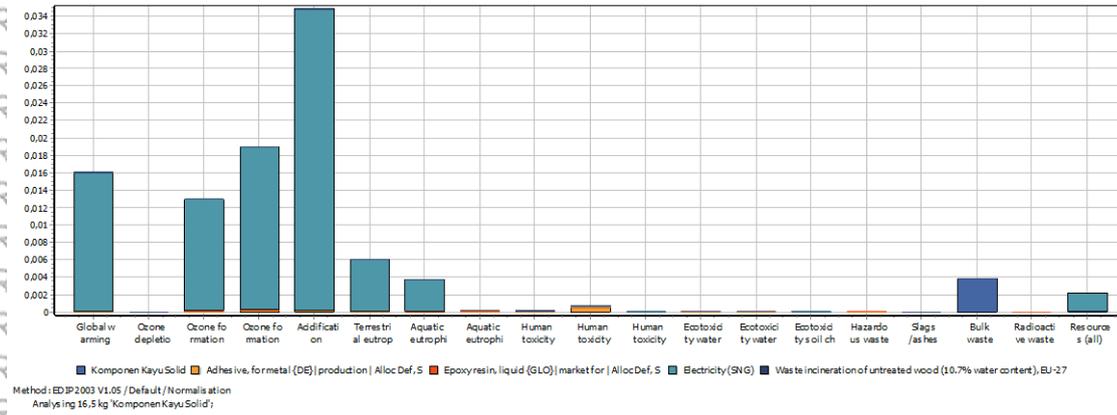


6. Proses Produksi

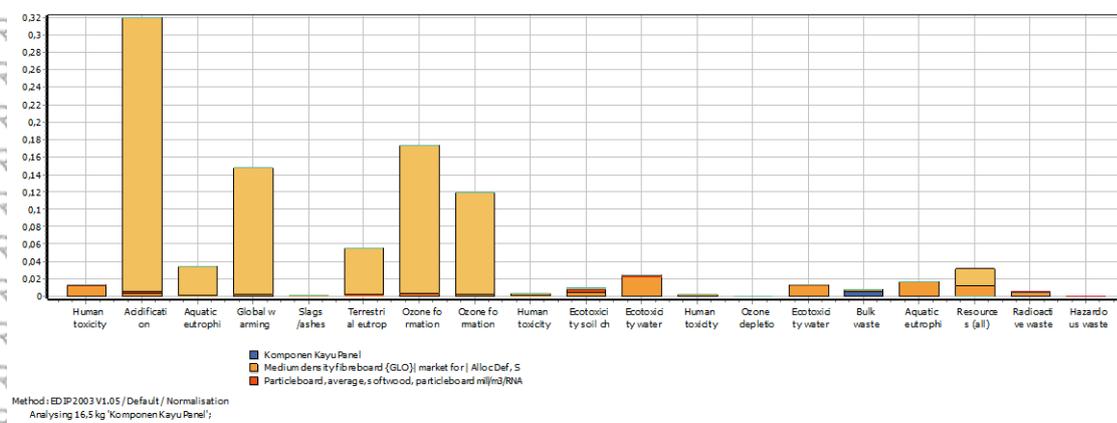
a. Proses Kiln Dry



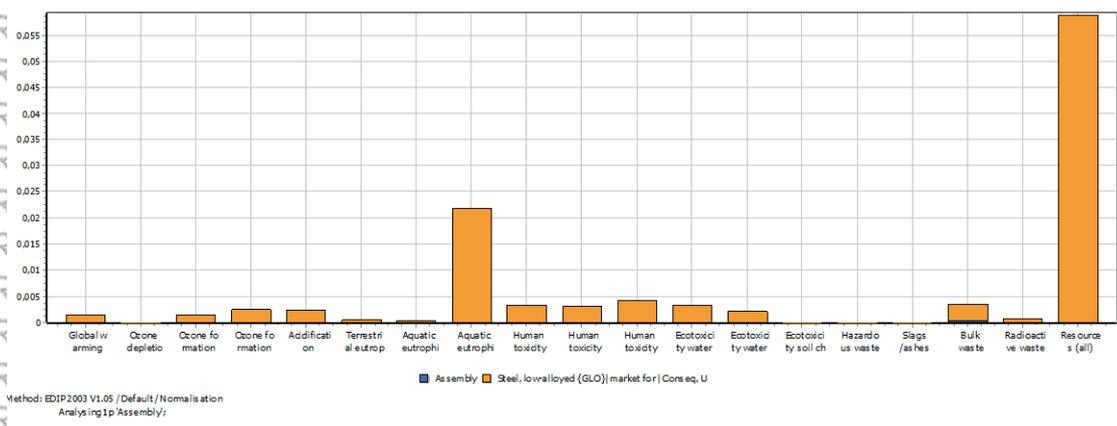
b. Proses Pengolahan Komponen Solid



c. Proses Pengolahan Komponen Panel

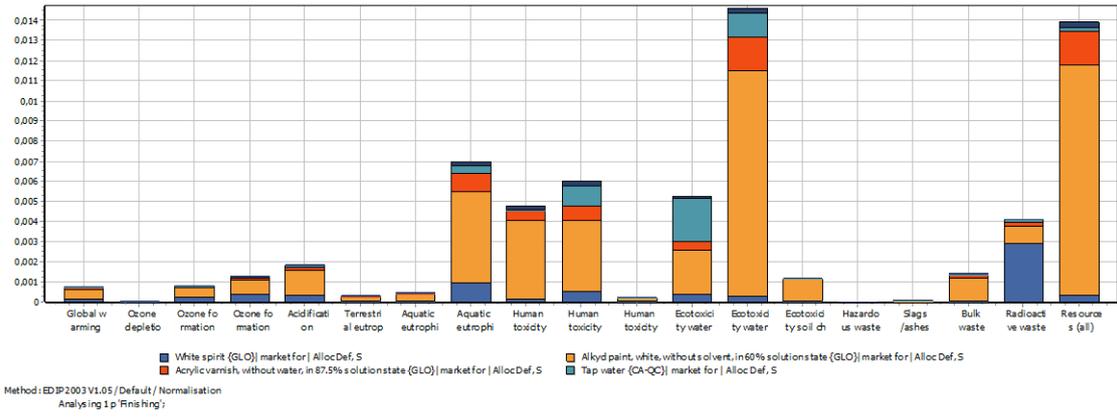


d. Proses Assembly

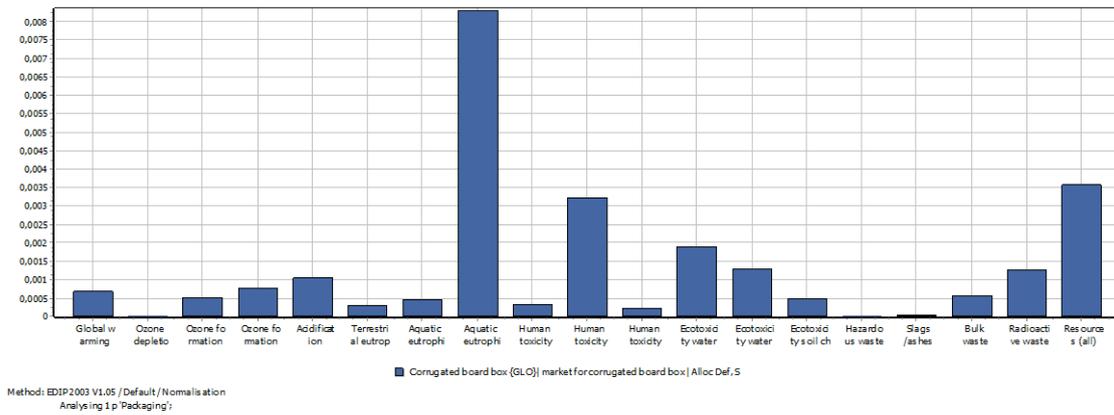




e. Proses *Finishing*



f. Proses *Packaging*



Lampiran 5. Hasil *Characterization*

1. Proses Ekstraksi Bahan Baku

Sel	Impact category /	Unit	Total	Kayu Batang
✓	Global warming 100a	kg CO2 eq	0,000649	0,000649
✓	Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,95E-14	2,95E-14
✓	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	0,0194	0,0194
✓	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	1,34E-6	1,34E-6
✓	Acidification	m2	8,62E-5	8,62E-5
✓	Terrestrial eutrophication	m2	0,000235	0,000235
✓	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	8,86E-7	8,86E-7
✓	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	x	x
✓	Human toxicity air	person	47,3	47,3
✓	Human toxicity water	m3	0,00127	0,00127
✓	Human toxicity soil	m3	0,000872	0,000872
✓	Ecotoxicity water chronic	m3	0,191	0,191
✓	Ecotoxicity water acute	m3	0,0213	0,0213
✓	Ecotoxicity soil chronic	m3	0,00955	0,00955
✓	Hazardous waste	kg	x	x
✓	Slags/ashes	kg	x	x
✓	Bulk waste	kg	5,43	5,43
✓	Radioactive waste	kg	x	x
✓	Resources (all)	PR2004	9,11E-9	9,11E-9

2. Proses Transportasi dan Distribusi

Sel	Impact category /	Unit	Total	Transportasi Supply Mahoni	Transportasi Supply Meranti	Transportasi Supply Panel	Transportasi Distribusi Produk
✓	Global warming 100a	kg CO2 eq	36,4	1,9	0,0171	0,5	33,9
✓	Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,68E-7	3,89E-9	2,19E-9	6,12E-8	1,01E-7
✓	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	847	42	0,375	10,7	794
✓	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,057	0,00283	2,53E-5	0,000726	0,0534
✓	Acidification	m2	4,34	0,211	0,00474	0,134	3,99
✓	Terrestrial eutrophication	m2	11,4	0,561	0,00512	0,147	10,7
✓	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0,044	0,00217	1,97E-5	0,000564	0,0412
✓	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0,000115	7,4E-7	3,08E-6	8,6E-5	2,48E-5
✓	Human toxicity air	person	6,36E5	6,96E4	409	1,19E4	5,54E5
✓	Human toxicity water	m3	21,9	1,18	0,156	4,38	16,2
✓	Human toxicity soil	m3	7,84	1,52	0,00586	0,171	6,14
✓	Ecotoxicity water chronic	m3	826	41,2	6,63	191	588
✓	Ecotoxicity water acute	m3	82,6	3,23	0,793	22,8	55,8
✓	Ecotoxicity soil chronic	m3	92	4,22	0,014	0,473	87,3
✓	Hazardous waste	kg	5,92E-6	x	1,54E-7	4,31E-6	1,45E-6
✓	Slags/ashes	kg	0,000578	2,39E-6	2,45E-6	6,86E-5	0,000504
✓	Bulk waste	kg	0,229	x	0,000241	0,00673	0,222
✓	Radioactive waste	kg	5,51E-5	x	1,27E-6	3,56E-5	1,83E-5
✓	Resources (all)	PR2004	0,000579	2,79E-5	1,4E-6	3,94E-5	0,00051

3. Proses Produksi

a. Proses *Kiln Dry*

Sel	Impact category /	Unit	Total	Kayu Hasil Kiln Dry	Kayu Solid	Diesel (RoW) market for	Wood fuel, softwood, kiln	Wood waste, at MDF mill/kg/RNA
✓	Global warming 100a	kg CO2 eq	9,61	x	0,000649	0,00152	1,05	8,55
✓	Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,9E-6	x	2,95E-14	1,54E-9	3,3E-7	1,57E-6
✓	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	105	x	0,0194	0,0142	15	89,7
✓	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,00715	x	1,34E-6	1,01E-6	0,00103	0,00612
✓	Acidification	m2	1,49	x	8,62E-5	0,000277	0,15	1,34
✓	Terrestrial eutrophication	m2	1,14	x	0,000235	0,000151	0,185	0,959
✓	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0,00432	x	8,86E-7	7,61E-7	0,000699	0,00362
✓	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	2,32E-5	x	x	1,48E-6	x	2,17E-5
✓	Human toxicity air	person	5,68E5	x	47,3	122	7,84E4	4,89E5
✓	Human toxicity water	m3	2,1E4	x	0,00127	0,0642	3,64E3	1,73E4
✓	Human toxicity soil	m3	31,6	x	0,000872	0,000889	10,2	21,4
✓	Ecotoxicity water chronic	m3	7,58E4	x	0,191	2,25	1,25E4	6,33E4
✓	Ecotoxicity water acute	m3	595	x	0,0213	0,279	26	568
✓	Ecotoxicity soil chronic	m3	474	x	0,00955	0,000622	111	364
✓	Hazardous waste	kg	0,322	0,322	x	6,41E-8	x	x
✓	Slags/ashes	kg	1,56E-6	x	x	1,56E-6	x	x
✓	Bulk waste	kg	5,43	x	5,43	4,71E-5	x	x
✓	Radioactive waste	kg	8,21E-7	x	x	8,21E-7	x	x
✓	Resources (all)	PR2004	0,000117	x	9,11E-9	2,62E-7	1,09E-5	0,000106



b. Proses Pengolahan Komponen Solid

Sel	Impact category	Unit	Total	Komponen Kayu Solid	Adhesive, for metal [DE]	Epoxy resin, liquid [GLO]	Electricity (SNG)	Waste incineration of
✓	Global warming 100a	kg CO2 eq	198	x	0,734	0,176	197	0,167
✓	Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,09E-8	x	6,27E-9	3,95E-10	x	1,43E-8
✓	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	1,22E3	x	8,09	2,07	1,21E3	0,218
✓	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,0856	x	0,000562	0,000143	0,0849	1,75E-5
✓	Acidification	m2	21,9	x	0,0701	0,0176	21,8	0,0195
✓	Terrestrial eutrophication	m2	13,1	x	0,0915	0,0235	13	0,0149
✓	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0,0497	x	0,000349	8,91E-5	0,0491	0,000134
✓	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	4,05E-5	x	3,54E-5	5,04E-6	x	6,34E-8
✓	Human toxicity air	person	9,36E4	x	2,44E4	275	6,84E4	535
✓	Human toxicity water	m3	38,2	x	24,2	5,74	0,233	7,99
✓	Human toxicity soil	m3	1,6	x	0,0819	0,00546	1,49	0,0193
✓	Ecotoxicity water chronic	m3	309	x	268	29,1	6,97	4,78
✓	Ecotoxicity water acute	m3	44,1	x	38,4	5,29	x	0,399
✓	Ecotoxicity soil chronic	m3	14,2	x	0,0915	0,0033	14	0,129
✓	Hazardous waste	kg	0,00236	x	0,00187	0,000493	x	x
✓	Slags/ashes	kg	0,00583	x	0,000677	0,000103	x	0,00505
✓	Bulk waste	kg	5,24	5,21	0,0251	0,0048	x	0,000531
✓	Radioactive waste	kg	3,37E-6	x	3,14E-6	2,26E-7	x	x
✓	Resources (all)	PR2004	0,00286	x	5,04E-5	4,4E-6	0,00281	-4,23E-6

c. Proses Pengolahan Komponen Panel

Sel	Impact category	Unit	Total	Komponen Kayu Panel	Medium density fibreboard	Particleboard, average,	Adhesive, for metal [RoW]	Urea formaldehyde	Epoxy resin, liquid [RoW]	Sawlog and veneer log,	Electricity (SNG)	Waste incineration of
✓	Human toxicity air	person	1,43E6	x	8,35E5	1,61E5	3,06E3	4,01E4	18,3	7E3	3,87E5	855
✓	Human toxicity water	m3	647	x	581	10,2	3,15	33,8	0,434	5,21	1,32	11,3
✓	Ecotoxicity water chronic	m3	8,95E4	x	8,17E4	4E3	37,9	2,8E3	1,7	915	39,5	7,87
✓	Ecotoxicity water acute	m3	9,52E3	x	8,72E3	395	5,34	312	0,338	96,2	x	0,67
✓	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	7,04E3	x	126	37,4	1,01	6,4	0,17	3,22	6,87E3	0,381
✓	Global warming 100a	kg CO2 eq	1,14E3	x	16,2	4,94	0,0919	1,39	0,0194	0,289	1,12E3	0,31
✓	Ecotoxicity soil chronic	m3	700	x	381	197	0,00362	40,3	1,69E-5	2,41	79	0,2
✓	Acidification	m2	126	x	1,67	0,665	0,00862	0,131	0,00134	0,0217	123	0,0818
✓	Human toxicity soil	m3	29,1	x	7,43	12,6	0,103	0,527	0,000339	0,0891	8,46	0,0465
✓	Terrestrial eutrophication	m2	76,1	x	1,99	0,361	0,0114	0,17	0,00178	0,036	73,5	0,0232
✓	Slags/ashes	kg	0,235	x	0,222	x	8,52E-5	0,00319	1,15E-6	0,00262	x	0,00647
✓	Bulk waste	kg	10,6	7,78	2,63	x	0,00319	0,102	0,00025	0,0297	x	0,000789
✓	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0,288	x	0,00687	0,00136	4,36E-5	0,000427	6,76E-6	0,000151	0,278	0,000783
✓	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,493	x	0,00864	0,00261	7,02E-5	0,000433	1,09E-5	0,000223	0,481	3,06E-5
✓	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0,00483	x	0,00464	2,7E-5	5,41E-6	0,000109	3,7E-7	5,44E-5	x	1,36E-7
✓	Ozone depletion	kg CFC11 eq	2,18E-6	x	1,85E-6	4,92E-11	7,14E-10	2,59E-7	3,19E-12	4,93E-8	x	2,27E-8
✓	Resources (all)	PR2004	0,0262	x	0,00965	6,62E-5	6,46E-6	0,000528	3,18E-7	5,23E-5	0,0199	-4,47E-6
✓	Radioactive waste	kg	0,000911	x	0,000865	x	3,58E-7	1,97E-5	1,62E-9	2,57E-5	x	x
✓	Hazardous waste	kg	0,000643	x	0,000362	x	0,000234	4,97E-6	3,8E-5	3,12E-6	x	x

d. Proses Assembly

Sel	Impact category	Unit	Total	Assembly	Steel, low-alloyed
✓	Global warming 100a	kg CO2 eq	11,8	x	11,8
✓	Ozone depletion	kg CFC11 eq	7,28E-7	x	7,28E-7
✓	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	93	x	93
✓	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,00687	x	0,00687
✓	Acidification	m2	0,881	x	0,881
✓	Terrestrial eutrophication	m2	0,698	x	0,698
✓	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0,00327	x	0,00327
✓	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0,00613	x	0,00613
✓	Human toxicity air	person	1,53E6	x	1,53E6
✓	Human toxicity water	m3	145	x	145
✓	Human toxicity soil	m3	34,1	x	34,1
✓	Ecotoxicity water chronic	m3	1,18E4	x	1,18E4
✓	Ecotoxicity water acute	m3	1,46E3	x	1,46E3
✓	Ecotoxicity soil chronic	m3	4,41	x	4,41
✓	Hazardous waste	kg	0,000811	x	0,000811
✓	Slags/ashes	kg	0,00403	x	0,00403
✓	Bulk waste	kg	4,66	0,372	4,29
✓	Radioactive waste	kg	0,000107	x	0,000107
✓	Resources (all)	PR2004	0,0481	x	0,0481

e. Proses *Finishing*

Sel	Impact category / Unit	Total	White spint {GLO} market	Alkyd paint, white, without	Acrylic varnish, without water,	Tap water {CA-QC}	Acrylic filler {GLO} market
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming 100a	kg CO2 eq	5,98	0,885	3,89	0,648	0,202
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone depletion	kg CFC11 eq	1,31E-6	8,2E-7	3,68E-7	6,44E-8	3,68E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	49,2	13,7	27,1	4,25	2,55
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,0036	0,00104	0,00197	0,000305	0,000181
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification	m2	0,731	0,128	0,473	0,0791	0,0306
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial eutrophication	m2	0,392	0,0691	0,241	0,0405	0,0262
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0,00375	0,0003	0,00309	0,000186	0,000115
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0,00197	0,00026	0,00129	0,000246	0,000115
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity air	person	2,26E6	6,16E4	1,84E6	2,49E5	2,1E4
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity water	m3	284	24,3	165	35,6	48,4
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity soil	m3	1,86	0,366	0,892	0,117	0,328
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water chronic	m3	1,91E4	1,38E3	8,09E3	1,57E3	7,73E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water acute	m3	9,74E3	158	7,51E3	1,09E3	808
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity soil chronic	m3	83,4	1,88	78,7	1,65	0,671
<input checked="" type="checkbox"/>	Hazardous waste	kg	0,000114	2,62E-5	5,09E-5	1,09E-5	2,07E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Slags/ashes	kg	0,033	0,00162	0,00597	0,0014	0,0236
<input checked="" type="checkbox"/>	Bulk waste	kg	1,91	0,0603	1,49	0,23	0,0725
<input checked="" type="checkbox"/>	Radioactive waste	kg	0,00066	0,000465	0,000136	3,12E-5	1,67E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources (all)	PR2004	0,0114	0,00029	0,00937	0,00137	0,000211

f. Proses *Packaging*

Sel	Impact category / Unit	Total	Corrugated board box
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming 100a	kg CO2 eq	5,29
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone depletion	kg CFC11 eq	4,47E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Vegetation)	m2.ppm.h	31,2
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation (Human)	person.ppm.h	0,00221
<input checked="" type="checkbox"/>	Acidification	m2	0,416
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial eutrophication	m2	0,402
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(N)	kg N	0,00376
<input checked="" type="checkbox"/>	Aquatic eutrophication EP(P)	kg P	0,00234
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity air	person	1,52E5
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity water	m3	152
<input checked="" type="checkbox"/>	Human toxicity soil	m3	1,68
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water chronic	m3	6,92E3
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity water acute	m3	859
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecotoxicity soil chronic	m3	35,2
<input checked="" type="checkbox"/>	Hazardous waste	kg	0,000129
<input checked="" type="checkbox"/>	Slags/ashes	kg	0,0128
<input checked="" type="checkbox"/>	Bulk waste	kg	0,758
<input checked="" type="checkbox"/>	Radioactive waste	kg	0,000202
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources (all)	PR2004	0,00292