

32132/6/07



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



RVI
608 403
Kun
1-1
2007

TUGAS AKHIR - RI 1592

**IMPLEMENTASI LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)
DAN PENDEKATAN ELECTRE III UNTUK PENILAIAN
ASPEK LINGKUNGAN PADA PROSES PRODUKSI
KIKIR (FILES) DI PT. JAYKAY FILES INDONESIA**

MIFTAKHURRIZAL KURNIAWAN
NRP 2503.109.033

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	3 - 8 - 2007
Terima Dari	H
No. Agenda Pp.	729078



FINAL PROJECT - RI 1592

**IMPLEMENTATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)
AND ELECTRE III METHOD FOR ENVIRONMENT
ASPECT ASSESSMENT IN FILES PRODUCTION
PROCESS IN PT. JAYKAY FILES INDONESIA**

MIFTAKHURRIZAL KURNIAWAN
NRP 2503.109.033

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

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2007

**IMPLEMENTASI *LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)*
DAN PENDEKATAN *ELECTRE III* UNTUK PENILAIAN
ASPEK LINGKUNGAN PADA PROSES PRODUKSI
KIKIR (*FILES*) DI PT. JAYKAY FILES INDONESIA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**MIFTAKHURRIZAL KURNIAWAN
NRP 2503.109.033**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc(Pembimbing)



SURABAYA, JULI 2007

**IMPLEMENTASI LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)
DAN PENDEKATAN ELECTRE III UNTUK
PENILAIAN ASPEK LINGKUNGAN PADA PROSES
PRODUKSI KIKIR (FILES)
DI PT. JAYKAY FILES INDONESIA**

Nama Mahasiswa : Miftakhurrizal Kurniawan
NRP : 2503.109.033
Jurusan : Teknik Industri FTI
Dosen Pembimbing : Dr.Ir Udisubakti C. M.Eng.Sc

ABSTRAK

Perkembangan sektor perindustrian yang semakin pesat berperan terhadap pertumbuhan perekonomian. Selain itu, dengan adanya perkembangan teknologi saat ini memberikan dampak lingkungan yang cukup signifikan dan berdampak pada perubahan yang dinamis terhadap keseimbangan lingkungan. Untuk itulah perlu adanya suatu identifikasi lingkungan. Identifikasi ini nantinya diperlukan untuk mengetahui sektor mana yang memberikan kontribusi terbesar terhadap lingkungan dan setelah itu dapat dilakukan perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan. Dalam pemilihan alternatif ini nantinya dimunculkan beberapa alternatif dengan didukung beberapa criteria sehingga dalam pengambilan keputusan akan diperoleh alternatif perbaikan yang optimal.

Life Cycle Assessment merupakan suatu metode yang digunakan untuk melakukan identifikasi *life cycle* produk Kikir (*Files*) yang berkaitan dengan kontribusinya terhadap lingkungan, sehingga akan diketahui bagian mana yang memberikan kontribusi terbesar terhadap lingkungan. Dalam melakukan metode ini akan dibantu dengan menggunakan *Software SIMAPRO 5.0*, dimana didapat bahwa generator memberikan kontribusi terbesar. Dari usulan perbaikan terdapat tiga alternatif untuk mengganti material *High carbon steel bard*.

ELECTRE III sebagai metode MCDM yang digunakan untuk merangking alternatif perbaikan dari urutan prioritas yang

terbaik sampai yang terburuk. Dengan menggunakan metode ini didapatkan urutan ranking yaitu *steel recycled*, *low carbon steel* dan *grey cast iron*.

Kata kunci : *LCA*, *SIMAPRO 5.0*, *ELECTRE III*, Manajemen Lingkungan

**IMPLEMENTATION LIFE CYCLE ASSESSMENT
(LCA) AND ELECTRE III METHOD FOR
ENVIRONMENT ASPECT ASSESSMENT IN FILES
PRODUCTION PROCESS IN PT. JAYKAY FILES
INDONESIA**

Name : Miftakhurrizal K
NRP : 2503.109.033
Department : Industrial Engineering FTI
Counselor Lecturer : Dr.Ir Udisubakti C. M.Eng,Sc

ABSTRACT

The industrial sector contribute significantly to economic growth. However, this growth could imerge on environmental impact seriously. Consequently, the environmental balance would be disturbated. In order to evaluate to improve the the environment and in the fact tire to protect both of industry and environment. This research concern to seek which sector could be identified. By which allow us to choose the alternative decision for optimizing the management.

Life Cycle Assessment is concept which used to identify life cycle files product related its contribution to environment, so it will be known which stage that gives contribution toward environment. This method will be supported using SIMAPRO software ,in which generator that gives the biggest contribution. The result of this research based on LCA score shown that are three alternative substitution for high carbon steel bard that could be implemented taking into allow the environmental criteria.

Due to many criteria considered in treat of environmental criteria that are material cost, environmental impact, hardness number and compatibility to production. In this research we proposed ELECTRE III for evaluating which one of the best alternative should be considering the ELECTRE III methods results the conclusion that steel recycled is the best alternative

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas rahmat, rizki dan ilmu yang diberikan hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar. Penelitian tugas akhir ini merupakan simbol perjuangan penulis selama menjalani kuliah di Teknik Industri ITS dan merupakan sebuah persembahan bagi kedua orang tua tercinta serta orang – orang yang dicintai maupun mencintai penulis.

Melalui kata pengantar ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah berperan dalam penyelesaian tugas akhir serta mengisi hari-hari penulis dalam melalui masa kuliah di Teknik Industri ITS. Ucapan terima kasih yang tulus penulis ucapkan kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing sekaligus Ketua Jurusan Teknik Industri – ITS Surabaya yang sangat banyak membimbing, membantu dan mendukung penulis dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.
2. Ibu Dyah Santhi Dewi, ST, M.Sc selaku koordinator Tugas Akhir, telah banyak memberi kemudahan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Pimpinan PT. Jaykay Files Indonesia Sidoarjo yang telah memberikan kesempatan penulis untuk mengadakan penelitian diperusahan.
4. Bapak Anang Bay Arifin dan Bapak Harsono selaku pembimbing lapangan di perusahaan yang memberi kemudahan kepada penulis dalam melakukan penelitian tugas akhir ini, serta Om Imam yang memberi fasilitas kemudahan di PT. Jaykay Files Indonesia.
5. Semua pihak yang karena keterbatasan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis membuka pintu selebar-lebarnya bagi kritik dan saran demi perbaikan

penelitian yang akan datang. Akhir kata semoga karya ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 5 Juli 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN MUKA	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Life cycle assessment.....	7
2.1.1 Pengertian <i>Life Cycle Assessment</i>	7
2.1.2 <i>Stage Amatan LCA</i>	10
2.1.3 Tahap-tahap dalam LCA.....	12
2.2 Konsep MCDM.....	17
2.2.1 <i>ELECTRE</i>	18
2.2.2 <i>ELECTRE I</i>	19
2.2.3 <i>ELECTRE II</i>	20
2.2.4 <i>ELECTRE III</i>	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tahap Identifikasi Awal.....	27
3.1.1 Perumusan Masalah.....	27
3.1.2 Penetapan Tujuan Penelitian.....	27
3.1.3 Studi Kepustakaan.....	28
3.1.4 Studi Pendahuluan Lapangan.....	28
3.1.5 Menentukan Asumsi dan Batasan Penelitian.....	28

3.2 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	28
3.2.1 Pengumpulan Data.....	28
3.2.2 Pengolahan Data.....	29
3.3 Tahap Analisa.....	30
3.4 Tahap Kesimpulan.....	31

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data	33
4.1.1 Profil Dan Sejarah Perusahaan.....	33
4.1.2 Struktur Organisasi	35
4.1.3 Deskripsi Sistem Amatan	37
4.1.4 Deskripsi Produk Amatan	41
4.1.5 Deskripsi Bahan Baku	41
4.1.6 Data Input Output	41
4.2 Pengolahan Data	42
4.2.1 <i>Tree Diagram</i>	43
4.2.2 <i>Impact Assessment</i>	43

BAB V ANALISA DAN INTERPRETASI

5.1 Analisa <i>Tree Diagram</i> dan <i>Impact Assessment</i>	51
5.1.1 Analisa <i>Tree Diagram</i>	51
5.1.2 Analisa <i>Impact Assessment</i>	51
5.1.2.1 Karakterisasi <i>impact categories</i>	51
5.1.2.2 Normalisasi <i>impact categories</i>	52
5.1.2.3 Pembobotan <i>impact categories</i>	52
5.1.2.4 <i>Single score impact categories</i>	53
5.2 Penentuan Usulan Perbaikan	54
5.3 Pemilihan Alternatif Terbaik	58
5.3.1 Deskripsi Kriteria	58
5.3.2 Penilaian Kriteria	60
5.3.3 Perhitungan Bobot Alternatif	60
5.3.4 Penyusunan Tabel Input ELECTRE III	61
5.3.5 Perhitungan Nilai <i>Threshold</i>	61
5.3.6 Perhitungan Nilai <i>Concordance</i>	63
5.3.7 Penentuan <i>Matriks Outranking</i>	64
5.3.8 Rangkang Alternatif Pemilihan Material	65
5.4 Analisa Sensitivitas	66
5.4.1 Analisa Sensitivitas <i>Threshold</i>	67
5.4.2 Analisa Sensitivitas Bobot	70

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.....	73
6.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tahapan yang diamati dalam siklus hidup	12
Gambar 2.2 Struktur <i>Life Cycle Assessment</i>	13
Gambar 2.3 Sistem Dalam <i>Inventory Analysis</i>	14
Gambar 2.4 Struktur <i>Life Cycle Assessment 2</i>	15
Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian	32
Gambar 4.1 Struktur Organisasi.....	36
Gambar 4.2 Produk Kikir	37
Gambar 4.3 Aliran Sistem Produksi Kikir	40
Gambar 4.4 Diagram <i>Characterisation</i> untuk <i>impact assessment</i>	44
Gambar 4.5 Diagram <i>Normalisation</i> untuk <i>impact assessment</i>	45
Gambar 4.6 Diagram <i>Weighting</i> untuk <i>impact assessment</i>	46
Gambar 4.7 Diagram <i>Single Score</i> untuk <i>impact assessment</i>	47
Gambar 4.8 <i>Tree diagram</i> produk Kikir	49
Gambar 5.1 Diagram <i>Single score</i> perbandingan pada alternatif 1	56
Gambar 5.2 Diagram <i>Single score</i> perbandingan pada alternatif 2	57
Gambar 5.3 Diagram <i>Single score</i> perbandingan pada alternatif 3	58
Gambar 5.4 Hasil Perangkingan dari <i>Software ELECTRE III</i>	66
Gambar 5.5 Urutan Alternatif Material Setelah Perubahan <i>Threshold</i>	68



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kategori <i>Life Cycle Impact</i>	15
Tabel 2.2. Perbedaan MADM dan MODM.....	18
Tabel 4.1. <i>Impact Category</i> Menurut Metode EDIP.....	44
Tabel 4.2. Nilai <i>Characterisation</i> untuk <i>Impact Assessment</i>	45
Tabel 4.3. Nilai <i>Normalisation</i> untuk <i>Impact Assessment</i>	46
Tabel 4.4. Nilai <i>Weighting</i> untuk <i>Impact Assessment</i>	47
Tabel 4.5. Nilai <i>Single Score</i> untuk <i>Impact Assessment</i>	48
Tabel 5.1. Kontributor Utama Karakterisasi <i>Impact Categories</i>	52
Tabel 5.2. Kontributor Utama Normalisasi <i>Impact Categories</i>	53
Tabel 5.3. Kontributor Utama Pembobotan <i>Impact Categories</i>	52
Tabel 5.4. Kontributor Utama <i>Single Score Impact Categories</i>	54
Tabel 5.5. Perbandingan Alternatif Usulan Perbaikan.....	59
Tabel 5.6. Data-data Alternatif dan Kriteria.....	61
Tabel 5.7. Hasil Pembobotan Kriteria.....	61
Tabel 5.8. Matriks Absolut Kriteria Harga Material.....	63
Tabel 5.9. Nilai <i>Threshold</i> Tiap Kriteria.....	63
Tabel 5.10. Nilai <i>Concordance</i>	65
Tabel 5.11. Matriks Ranging.....	66
Tabel 5.12. Analisa Sensitivitas <i>Threshold</i>	69
Tabel 5.13. Analisa Sensitivitas Bobot.....	72

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



BAB I

PENDAHULUAN



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab I ini berisi mengenai latar belakang yang digunakan dalam penelitian, perumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian, serta metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia industri yang semakin pesat menyebabkan semakin bertambahnya resiko terhadap lingkungan. Untuk itu maka sektor industri perlu memperhatikan kebijakannya terhadap lingkungan, kebijakan ini tidak hanya pada proses produksi, tetapi juga pada *life cycle* produk tersebut. Performa produk dan proses produksi kepada lingkungan memegang kunci yang membuat beberapa perusahaan menyelidiki bagaimana cara untuk meminimalkan efek produk maupun prosesnya terhadap lingkungan. Banyak perusahaan dituntut untuk lebih peduli terhadap dampak dari proses produksi mereka terhadap lingkungan.

Berkembangnya isu mengenai lingkungan baik pada skala regional maupun global, serta banyaknya tekanan dari berbagai institusi seperti pemerintah, LSM lingkungan hidup, lembaga terkait serta masyarakat telah mendorong dunia industri untuk memberikan perhatian lebih mengenai permasalahan lingkungan. Sistem pengolahan lingkungan saat ini telah menjadi standar internasional dengan adanya *ISO 14000* yang menjadi bagian dari salah satu peraturan perdagangan dunia. Perkembangan isu lingkungan tersebut perlu diantisipasi oleh sektor industri, karena akan mewarnai persaingan dunia usaha di masa yang akan datang. Persaingan industri internasional yang mengharuskan adanya sertifikasi baik itu *ISO* mengenai kualitas maupun pengelolaan lingkungan menjadikan suatu tantangan tersendiri bagi dunia

industri untuk mampu bersaing dan mengembangkan industrinya.

Seperti halnya negara lain di dunia, Indonesia saat ini telah mengembangkan kebijakan-kebijakan dan program pengelolaan lingkungan bersifat nasional melalui BAPEDAL. Salah satunya dengan program penilaian peringkat kinerja perusahaan dalam pengelolaan lingkungan yang dilakukan pemerintah terhadap industri yang berpotensi mencemari lingkungan.

Untuk lebih memahami kondisi sistem amatan yang kompleks secara jelas, akan dianalisa dengan metode *Life Cycle Assessment(LCA)*. *LCA* secara umum adalah suatu metode atau alat untuk mengukur dampak lingkungan yang diakibatkan produk atau aktifitas sepanjang *life cycle* mulai dari pengambilan *raw material*, diikuti proses produksi dan penggunaan, dan berakhir pada pengelolaan sampah atau limbah. Dengan kata lain *cradle to grave*. *LCA* mengevaluasi seluruh *stage* di kehidupan produk dari satu perspektif bahwa ia adalah *interdependen*, yang berarti bahwa satu operasi akan dilanjutkan dengan operasi yang lain. *LCA* memungkinkan estimasi terhadap *environmental impact* secara kumulatif yang dihasilkan dari seluruh *stage* pada siklus hidup produk, dimana pengikutsertaan *impact* sering tidak diperhitungkan pada analisa secara tradisional. Dengan memperhatikan dampak pada keseluruhan siklus hidup produk, *LCA* memberikan pandangan secara luas atas aspek lingkungan dari produk atau proses.

Pada audit lingkungan, terdapat beberapa alternatif-alternatif yang berpengaruh terhadap besar kecilnya dampak terhadap lingkungan. Dari alternatif-alternatif tersebut terdapat beberapa kriteria untuk dilakukan analisa dampak lingkungan. Untuk mendapatkan alternatif yang terbaik maka harus mempertimbangkan Multi kriteria yang dimiliki, sehingga perlu menggunakan *tools* untuk melakukan pemilihan alternatif yang terbaik, adapun pemilihan alternatif

dengan mempertimbangkan beberapa kriteria yang ada, dengan pendekatan *ELECTRE III* sebagai pertimbangan dari multi kriteria.

Oleh sebab itu mengacu pada latar belakang di atas, pada penelitian tugas akhir ini dilakukan di PT. Jaykay Files Indonesia yang merupakan sebuah perusahaan besar yang memproduksi kikir (*Files*) dan bahan baja lainnya, dimana jumlah kriteria yang diamati cukup banyak dan kompleks agar nantinya didapatkan perbaikan sesuai dengan yang diinginkan pihak perusahaan. Selain itu, obyek penelitian ini menggunakan produk Kikir (*files*) karena peneliti mencoba untuk menerapkan konsep *Life Cycle Assessment* dalam industri baja terutama pada produk Kikir (*files*). Tujuannya untuk mengetahui seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan oleh *life cycle* produk Kikir (*Files*) terhadap lingkungan. Selama ini belum ada penelitian tugas akhir yang menggunakan konsep *Life Cycle Assessment* untuk diterapkan di industri baja.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah melakukan evaluasi dampak lingkungan pada proses pembuatan kikir (*files*) dan memberikan usulan perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan sepanjang *life cycle* proses produksi kikir (*files*).

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan yang digunakan dalam memfokuskan penelitian tugas akhir ini adalah

1. Penelitian hanya dilakukan terhadap sistem produksi Kikir tanpa memasukkan kegiatan disposal kedalam pengamatan.
2. Pada usulan perbaikan, hanya dilakukan pengujian terhadap proses produksi yang mempunyai kontribusi terbesar saja.

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kebijakan perusahaan selama dilakukannya penelitian ini tidak mengalami perubahan secara signifikan.
2. Jenis alat transportasi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan alat transportasi yang terdapat di *database SIMAPRO 5.0*

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan identifikasi dampak lingkungan sepanjang *life cycle* proses produksi kikir (*files*)
2. Mengetahui seberapa besar dampak pembuatan kikir (*files*) terhadap lingkungan sepanjang *life cycle* produk
3. Memberikan usulan perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan sepanjang *life cycle* produk dan mendapatkan alternatif perbaikan
4. Mendapatkan alternatif pengurangan dampak lingkungan yang terbaik selama proses produksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat yang besar terhadap perusahaan yaitu:

1. Mampu melakukan analisa terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh produk kikir (*Files*) di PT. Jaykay Files Indonesia.
2. Memberikan masukan mengenai seberapa besar dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh produk kikir (*files*) di PT. Jaykay Files Indonesia.
3. Memberi masukan kriteria yang paling optimal pada perbaikan yang dilakukan.
4. Pihak PT. Jaykay Files Indonesia mampu menganalisa dan mengevaluasi aktivitas produksinya agar semakin ramah terhadap lingkungan.

5. Pihak PT. Jaykay Files Indonesia dapat menerapkan suatu manajemen lingkungan yang sesuai dengan aktivitas yang dihasilkan dalam usaha *mereduce* dampak lingkungan yang terjadi.

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab II ini berisi referensi yang berkaitan dengan permasalahan penelitian. Teori yang akan dibahas antara lain mengenai *Life Cycle Assessment* dan *Multi Criteria Decision Making - ELECTRE III*.

2.1 Life Cycle Assessment

2.1.1 Pengertian Life Cycle Assessment

Dalam melakukan analisa dampak lingkungan, perlu dilakukan secara keseluruhan yang meliputi *life cycle* suatu produk. *Life Cycle Management (LCM)* merupakan suatu konsep berpikir, teknik dan prosedur yang fleksibel serta berkaitan dengan aspek lingkungan, sosial ekonomi dari produk atau organisasi dalam rangka mencapai perbaikan lingkungan berkelanjutan dari sudut pandang *life cycle*. LCM terdiri atas *Life Cycle Design, Life Cycle Assessment, Life Cycle Costing, technical Support* dan *Product Data Management*. Pada penelitian ini, LCM yang dilakukan hanya difokuskan pada *Life Cycle Assessment (LCA)*.

Life Cycle Assessment adalah satu pendekatan "Cradle to Grave" dimulai dari pengambilan *raw material* dari bumi untuk membuat produk dan berakhir pada titik dimana seluruh material kembali ke bumi. *Life Cycle Assessment* mengevaluasi seluruh *stage* di kehidupan produk dari satu perspektif bahwa ia adalah interdependen, yang berarti bahwa satu operasi akan dilanjutkan dengan operasi yang lain. *Life Cycle Assessment* memungkinkan estimasi terhadap *environmental impact* secara kumulatif yang dihasilkan dari seluruh *stage* pada siklus hidup produk, dimana pengikutsertaan *impact* sering tidak diperhitungkan pada analisa secara tradisional. Esensi dari *Life Cycle Assessment*

adalah evaluasi dari dampak teknologi, ekonomi dan lingkungan yang relevan dari material, proses atau produk sepanjang siklus hidup dari pembuatan sampai menjadi sampah. *Society of Environmentalxology and Chemistry* (SETAC) mendefinisikan *Life Cycle Aseessment* sebagai proses objektif untuk menilai dampak lingkungan dari produk, proses atau aktivitas dengan mengidentifikasi dan menghitung energi, penggunaan *raw material* dan pembuangan pada lingkungan dan mengevaluasi dan menerapkan kemungkinan perbaikan lingkungan. Penelitian meliputi *Life Cycle* produk, proses atau aktivitas pengambilan dan pengolahan *raw material*, *manufacturing*, transportasi dan distribusi penggunaan, *re-use* dan *maintenance*, *recycling* dan pembuangan akhir (Graedel & Allenby, 1995). Sedangkan Curan (1996) menyebutkan bahwa *Life Cycle Aseessment* digunakan untuk menganalisa dampak suatu produk terhadap lingkungan selama siklus hidup atau *life cycle* produk, proses atau aktivitas. Menurut Tripurwanto(2000) *Life Cycle Aseessment* adalah alat (*tool*) bagi evaluasi sistematis aspek hubungan dari produk dan sistem jasa diseluruh tahapan siklus hidup.

Konsep dari *Life Cycle Aseessment* ini didasarkan pada pemikiran bahwa suatu sistem industri tidak lepas kaitannya dengan lingkungan tempat industri itu berada. Dalam suatu sistem industri terdapat input dan output. Input dalam sistem adalah material yang diambil dari lingkungan dan outputnya akan dibuang ke lingkungan. Input dan output Industri ini akan memberi dampak terhadap lingkungan. Pengambilan material (input) yang berlebihan akan menyebabkan semakin berkurangnya persediaan material, sedangkan hasil keluaran dari sistem Industri yang bisa berupa limbah (padat, cair dan udara) akan banyak memberi dampak negatif pada lingkungan. Oleh karena itu *Life Cycle Aseessment* berusaha untuk melakukan evaluasi yang dapat meminimalkan limbah Industri.

Life Cycle Assessment sering digunakan untuk membandingkan produk dengan fungsi yang sama. Fungsi lain dari metode ini adalah untuk mencari *hot spot* dari *Life Cycle* yang kritis terhadap total dampak lingkungan (Aderson et al, 1998). Dibandingkan dengan alat pengukuran lain *Life Cycle Assessment* lebih diterima karena pendekatan *Life Cycle* yang komplit. Tidak hanya pada intensifikasi pada *Life Cycle* mana dampak lingkungan terjadi tetapi juga pada pengambilan kebijakan atau tindakan teknis untuk mengurangi dampak ini.

Alasan perusahaan perlu menggunakan *Life Cycle Assessment* (Tripurwanto, 2000):

1. Dapat digunakan untuk mencegah 4 bentuk umum terjadinya masalah polusi:
 - a. Dari satu tahap siklus hidup ke tahap lainnya
 - b. Dari satu media lingkungan ke lainnya
 - c. Dari satu lokasi ke lainnya
 - d. Dari saat ini ke masa depan
2. Karena *LCA* dirancang untuk menyediakan informasi paling ilmiah dan kuantitatif yang mungkin untuk mendukung pengambilan keputusan.

Adapun manfaat *LCA* menurut Tripurwanto (2000):

1. Perbaikan produk : *LCA* dapat mengidentifikasi pilihan biaya paling efisien dan efektif bagi pengurangan dampak lingkungan dari produk atau jasa.
2. Perbaikan proses: *LCA* dapat digunakan untuk menghitung sumberdaya dan penggunaan energi. Ini dapat menawarkan pilihan bagi perbaikan efisiensi seperti menghindari pengolahan limbah, penggunaan sumberdaya lebih sedikit, dan memperbaiki kualitas perakitan.
3. Perencanaan strategis: Begitu peraturan lingkungan dan harapan lingkungan meningkat, terdapat kecenderungan peningkatan tekanan bagi perusahaan untuk memperbaiki operasi lingkungan mereka.

2.1.2 Stage Amatan *Life Cycle Analysis/Assessment*

Tahapan amatan dari *Life Cycle Assessment* menurut EPA (1993) dalam Curran (1996) adalah sebagai berikut :

1. Geografis

Tempat pelaksanaan aktivitas manufaktur berpengaruh besar terhadap dampak yang dihasilkan terhadap lingkungan. Efek dari aktivitas itupun dapat berpengaruh secara lokal, regional maupun global. Proses produksi yang dilakukan di tempat berbeda akan menghasilkan tingkat emisi udara yang berbeda pula. Emisi ini mempunyai pengaruh yang berbeda pula tergantung pada populasi, kondisi meteorologi, habitat dan faktor lain.

2. *Raw Material Acquisition(extraction)*

Life Cycle produk dimulai dengan perpindahan raw material dan sumber energi dari bumi. Sebagai contoh, memotong pohon dan pertambangan material yang tidak dapat diperbarui termasuk dalam ekstraksi material. Transportasi material ini dimulai dari pengambilan sampai ke proses pengolahannya termasuk dalam *stage* ini.

3. *Material processing* dan manufaktur

Banyak proses yang terlibat dalam produksi, bahan untuk produk yang sederhana sekalipun. Selama proses manufaktur, *raw material* diubah menjadi produk atau kemasan, hingga selanjutnya sampai ke tangan konsumen. Proses manufaktur ini terdiri dari 3 bagian yaitu, *material manufacture*, *product fabrication* dan *filling packaging distribution*.

• *Material manufacture*

Langkah ini melibatkan aktivitas-aktivitas yang mengubah raw material menjadi suatu bentuk yang dapat dipakai untuk fabrikasi produk jadi.

- *Product fabrication*

Langkah ini dimulai ketika material yang di manufaktur diproses hingga menjadi produk yang siap untuk diisi atau dikemas.

- *Filling packaging distribution*

Langkah ini sebagai tahap akhir dan persiapan untuk dikirim. Melibatkan seluruh aktivitas transportasi yang diperlukan untuk pengisian, pengemasan dan distribusi produk jadi. Transportasi produk baik ke *outlet-outlet* atau ritel langsung kepada konsumen. Tahap ini memperhitungkan efek lingkungan yang disebabkan oleh jenis jenis transportasi, seperti *trucking* atau *shipping*.

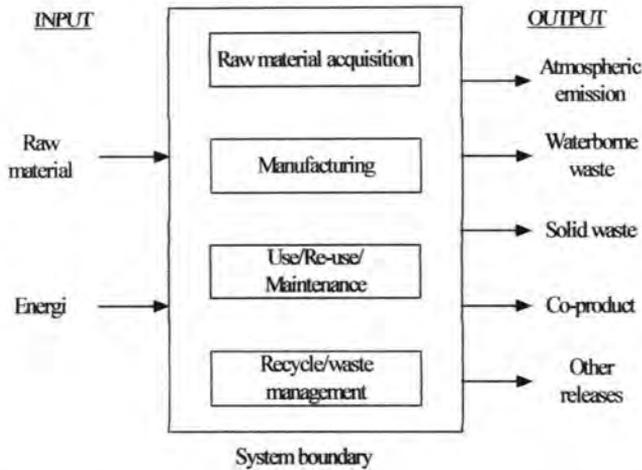
4. *Use re-use maintenance*

Pada tahap ini melibatkan penggunaan *re-use* dan *maintenance actual* konsumen atas produk. Setelah didistribusikan kepada konsumen, seluruh aktivitas yang berhubungan dengan waktu guna produk turut diperhitungkan. Termasuk didalamnya kebutuhan energi dan buangan lingkungan dari penyimpanan produk dan konsumsi. Produk atau material mungkin memerlukan *recondition*, perbaikan atau servis sehingga dapat mempertahankan performansinya. Saat konsumen sudah tidak memerlukan produk, produk ini akan di *recycle* atau dibuang.

5. *Recycle waste management.*

Pada tahap ini turut memperhitungkan kebutuhan energi dan buangan ke lingkungan sehubungan dengan disposal produk dan material.



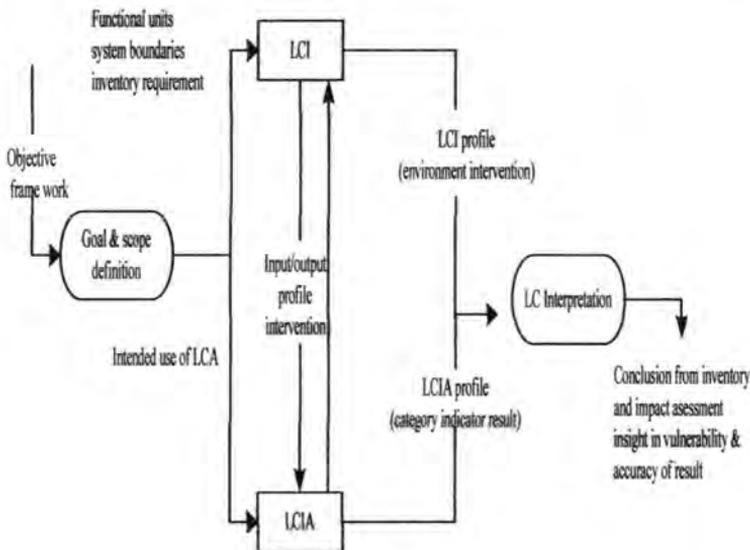


Gambar 2.1 Tahapan-Tahapan Yang Diamati Dalam Suatu Siklus Hidup

Sumber : EPA (1993) dalam Curran (1996)

2.1.3 Tahap-Tahap Dalam *Life Cycle Assessment*

Tahap tahap dalam melakukan analisa dampak lingkungan dengan menggunakan *Life Cycle Assessment* terdiri dari 4 fase utama menurut ISO (1993) dalam Curran (1996) yaitu definisi tujuan (*goal*) dan ruang lingkup (*scope*), *Life Cycle Inventory (LCI)*, *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)*, dan *improvement assessment*.



Gambar 2.2 Struktur *Life Cycle Assessment*
Sumber : ISO (1993) dalam Curran (1996)

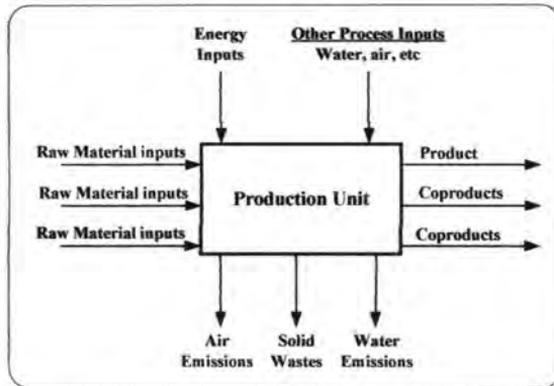
- **Tujuan dan definisi ruang lingkup**

Pada tahap ini tujuan dari studi atau penelitian didefinisikan. *Scope* dari studi dideskripsikan,. Batasan dan ruang lingkup pelaksanaan *LCA* harus ditentukan secara jelas pada tahapan ini karena akan sangat menentukan bagaimana *LCA* akan dilaksanakan. Semakin luas ruang lingkup pelaksanaan *LCA* maka akan semakin banyak data yang harus dikumpulkan untuk mendukung langkah-langkah selanjutnya (Curran, 1996).

- **Inventory ekstraksi dan emisi(LCI)**

Pada tahap ini dilakukan identifikasi dan kuantifikasi penggunaan energi, air, material, serta pelepasan (*waste*) ke lingkungan. Dalam tahap ini juga dilakukan penghitungan energi dan *raw material requirements*, emisi atmosfer dan air, limbah padat, serta

pelepasan lain untuk seluruh siklus hidup produk, proses atau aktivitas. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mengetahui keseluruhan penggunaan sumber daya, penggunaan energi, dan pelepasan ke lingkungan terkait dengan sistem yang sedang dievaluasi (Curran, 1996).



Gambar 2.3. Sistem Dalam *Inventory Analysis*
Sumber : (Curran, 1996)

- **Penentuan dampak (*impact assessment/LCIA*)**

Dampak yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu :

1. *Environmental impact*, seperti *global warming*, *greenhouse effect*, *acidification* (hujan asam), *photochemical smog*, dan lain – lain.
2. *Resource consumption*, sumber daya di sini berarti bahan baku utama dari produk termasuk di dalamnya energi, susunan material, dan bahan – bahan tambahan.
3. *Impacts on the working environment*, merupakan bagian terintegrasi dari proses yang terjadi selama siklus hidup produk.

Tabel 2.1 Kategori *Life Cycle Impact*

Impact Category	Scale	Relevant LCI Data (i.e. Classification)	Common Characterization Factor	Description of Characterization Factor
Global Warming	Global	Carbon Dioxide (CO ₂)	Global Warming Potential	Converts LCI data to Carbon Dioxide (CO ₂) equivalents. Note: global warming potential can be 50, 100, or 500 year potentials
		Nitrogen Dioxide (NO ₂)		
		Methane (CH ₄)		
		Hydrochlorofluoro carbon (HCFCs)		
		Methyl Bromide (CH ₃ Br)		
Stratospheric Ozone Depletion	Global	Chlorofluorocarbon (CFCs)	Ozone Depleting Potential	Converts data to Trichlorofluoromethane (CFC-11) equivalents
		Hydrochlorofluoro carbon (HCFCs)		
		Halons		
		Methyl Bromide (CH ₃ Br)		
Acidification	Regional Local	Sulfur Oxides (SO _x)	Acidification Potential	Converts LCI data to Hydrogen (H ⁻) ion equivalents
		Nitrogen Dioxide (NO ₂)		
		Hydrochloric Acid (HCL)		
		Hydrofluoric Acid (HF)		
		Ammonia (NH ₄)		
Eutrophication	Local	Eutrophication	Eutrophication Potential	Converts LCI data to Phosphate(PO ₄) Equivalents
		Nitrogen Dioxide (NO ₂)		
		Nitrates		
		Ammonia (NH ₄)		

Sumber : EPA (2001)

Dalam *impact assessment* terdapat tiga elemen utama, yaitu

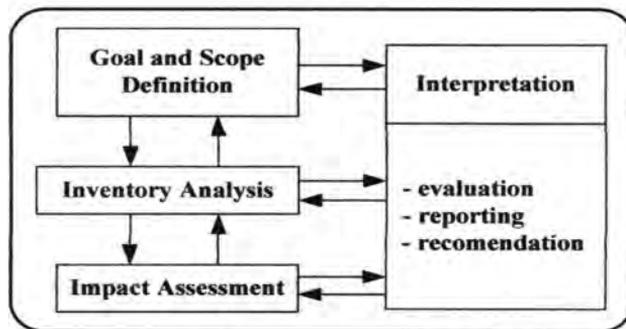
1. Klasifikasi dan Karakterisasi
Membedakan dan mengelompokkan input data inventori yang didapat sehingga dapat diidentifikasi *impact* yang dihasilkan
2. Normalisasi
Perbandingan data *indicator impact* dengan kategori *impact* dalam satuan waktu. Penilaian normalisasi dari beberapa karakter, diantaranya *emission*, *resource consumption*, maupun *working environment*.

3. *Valuation*

Merupakan tahapan dimana keseluruhan dampak yang telah dinilai akan dibandingkan dan disederhanakan dalam suatu basis ukuran yang sama. Tujuan dilakukannya tahapan ini adalah untuk mendapatkan nilai perbandingan yang sama untuk setiap kategori dampak yang ada sehingga memudahkan interpretasi selanjutnya.

- **Penentuan Perbaikan (*Improvement Assessment*).**

Tahapan ini merupakan tahap interpretasi dari keseluruhan tahap sebelumnya, yaitu Mengevaluasi hasil dari *inventory analysis* dan *impact assessment* untuk memilih produk pilihan, proses atau aktivitas, dengan pemahaman secara jelas terhadap ketidakpastian dan asumsi yang digunakan untuk menghasilkan keputusan. Dengan menganalisa hasil dapat diambil suatu kesimpulan, menerangkan keterbatasan yang terjadidan disusun rekomendasi berdasarkan hasil dari penelitian pada fase – fase sebelumnya. Interpretasi ini nantinya akan mengarah pada perbaikan untuk menurunkan dampak lingkungan yang ditimbulkan dari sistem, produk, atau proses yang diamati.



Gambar 2.4 Struktur *Life Cycle Assessment*
 Sumber : SETAC (1993) dalam Curran (1996)

2.2 Multi Criteria Decision Making (MCDM)

MCDM merupakan suatu metode yang ditujukan untuk pengambilan keputusan yang mengandung kriteria obyektif majemuk, saling konfliktual dan lebih dari dua alternatif yang tidak sama (Ciptomulyono, 2000). MCDM selalu melibatkan lebih dari satu kriteria yang saling berlawanan dimana peningkatan kepuasan dari satu kriteria berakibat pada penurunan kepuasan di kriteria lainnya. Sedangkan menurut Tabucanon (1998) MCDM adalah istilah untuk semua model dan teknik yang berhubungan dengan *multi objective decision making (MODM)* atau *multiple atribut decision making (MADM)*.

MODM menyangkut masalah perancangan (*design*) dimana teknik pengambilan keputusan matematika optimasi yang digunakan untuk jumlah alternatif yang sangat besar (sampai dengan tak terhingga) dan untuk menjawab pertanyaan apa (*what*) dan berapa banyak (*how much*), sedangkan aktivitas tidak ditetapkan oleh kendala. MADM menyangkut masalah pemilihan dimana analisa matematis tidak terlalu banyak dibutuhkan atau dapat digunakan.

Tabel 2.2. Perbedaan MADM dan MODM

Faktor	Metode Multi Atribut (MADM)	Metode Multi Obyektif (MODM)
Kriteria	Atribut	Obyektif
Obyektif	Implisit	Eksplisit
Atribut	Eksplisit	Implisit
Kendala	Matriks	Aktif
Alternatif	Jumlah terbatas	Jumlah tidak terbatas dan kontinyu (integer)
Interaksi	Jarang	Lebih sering
Pemakaian	problem seleksi dan pemilihan alternatif	problem konsepsi dan rekayasa

Sumber : Hwang et Yoon (1981) dalam Ciptomulyono (2000)

Menurut Sen (1998) dalam Indradyanti (2001), terdapat beberapa macam metode dalam pengambilan keputusan yang mengandung kriteria obyektif majemuk,

saling konfliktual dan memiliki ukuran yang tidak bisa saling diperbandingkan yaitu :

- UTA (*The Additive Utility*)
- TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*)
- CODASID (*Concordance and Discordance Analysis by Similarity to Ideal Solution*)
- ELECTRE

Dari metode-metode tersebut diatas hanya ELECTRE yang mampu mengantisipasi ketidak pastian dan ketidak akuratan informasi tentang penilaian alternatif dengan menggunakan konsep *pseudo criteria*.

2.2.1 ELECTRE (*Elimination et Choix Tradusaint La Realite*)

Menurut Buchanon et al (1999), perbedaan tiap versi ELECTRE adalah bahwa metode ELECTRE I digunakan untuk masalah pemilihan alternatif terbaik sedangkan ELECTRE III untuk masalah penugasan. Metode ELECTRE yang digunakan untuk masalah perangkangan adalah ELECTRE II, ELECTRE III dan ELECTRE IV. ELECTRE II merupakan versi terdahulu, sedangkan ELECTRE III digunakan jika diperlukan perhitungan tingkat kepentingan dari kriteria. ELECTRE IV merupakan kebalikan dari ELECTRE III.

ELECTRE juga memiliki konsep *compensatory*, yang berarti nilai jelek dimana diberikan pada kriteria dan tidak dapat digantikan dengan nilai yang bagus pada kriteria lainnya. Pada hasil akhir ini, tidak menutup kemungkinan terjadinya dua atau lebih alternatif yang menempati urutan yang sama. Maksudnya adalah bahwa alternatif-alternatif tersebut sama-sama disukai si peringkat tersebut. Kondisi ini berupa kondisi *indifference*, jika alternatif –alternatif tersebut tidak ada yang lebih satu terhadap lainnya, sehingga harus dipilih semuanya. Dapat pula berupa kondisi *incomparable* yaitu jika alternatif-alternatif tersebut tidak dapat dibandingkan namun dapat dipilih salah satu.

2.2.2 ELECTRE I

Menurut Buchanon (1999), metode ini dikenalkan pertama kali oleh Benayon, Roy, dan Sussman (1996) dan sebelumnya sudah dikembangkan oleh Roy (1971). Metode ELECTRE I merupakan suatu prosedur yang mereduksi jumlah set dari solusi-solusi yang tidak dominan. Penyelesaian permasalahan yang menggunakan metode ini adalah untuk *discrete number*.

Metode ini menggunakan konsep *outranking* dengan perbandingan antar alternatif dan mengarahkan proses pemilihan n alternatif dengan cara dikolom pengkelasan himpunan-himpunan alternatif potensial yang memiliki hubungan *outranking* tertentu. Secara esensial, metode ini akan mencari sebuah alternatif atau lebih mendominasi hubungan antar alternatif berdasarkan tingkat perbedaan atau perselisihan yang berarti. Sebuah alternatif I memiliki kualifikasi sebagai anggota *subset* dominan jika alternatif I tersebut memiliki tingkat preferensi yang lebih dibanding alternatif j ($i > j$) dari berbagai sudut pandang.

Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan adalah :

1. Mendefinisikan kriteria untuk setiap alternatif dengan kriteria yang jelas.
2. Memberikan atribut untuk setiap kriteria g_j dengan pembobotan w_j yang lebih besar menjadi kriteria yang lebih penting.
3. Mengukur hubungan preferensi antara alternatif digunakan indeks *concordance* dan *discordance*. Indeks *concordance* mengukur frekuensi relatif dari tiap kriteria berdasarkan hubungan alternatif ke- a yang lebih disukai daripada alternatif ke- b . Hal ini dapat menunjukkan adanya kepuasan untuk memilih alternatif a daripada memilih alternatif b .

Sedangkan indeks *concordance* mengukur tingkat ketidaksetujuan atau ketidakpuasan memilih alternatif a

daripada alternatif b. Hal ini menunjukkan ketidakpuasan pengambil keputusan memilih alternatif a daripada alternatif b. Indeks *concordance* dan *discordance* ini dicari setiap pasangan alternatif. Kemudian berdasarkan nilai *threshold* p dan q yang ditentukan oleh pengambil keputusan, ditentukanlah hubungan alternatif yang memenuhi batas, yaitu $c(a,b) \geq p$ dan $d(a,b) \leq q$. Bila suatu pasang alternatif memenuhi batas ini dapat dikatakan bahwa alternatif a *outranking* alternatif b.

2.2.3 ELECTRE II

Menurut Buchanan (1999) ELECTRE II merupakan kelanjutan dari ELECTRE I dan dikembangkan oleh Roy (1968,1974,1975) dan Roy-Bertier (1971). Pada ELECTRE I alternatif a dinyatakan lebih disukai daripada alternatif b (a *outranks* b) jika dan hanya jika kondisi *concordance* dan kondisi *discordance* sama-sama memuaskan sehingga hal yang membedakan antara ELECTRE I dan ELECTRE II adalah :

1. Perhitungan *concordance* dan *discordance* tidak berubah tetapi setiap kriteria beberapa preferensi yang berbeda.
2. Penggunaan nilai *concordance* dan *discordance* dipakai secara simultan dan tidak hanya ambang batas sebagaimana dalam ELECTRE I.
3. Nilai batas untuk $C(a S b)$ dan $D(a S b)$ meliputi beberapa nilai hubungan *outranking* yaitu *strong relationship* (hubungan kuat) R_s , dan *weak relationship* (hubungan lemah) R_w . Dua hubungan ini akan digunakan untuk membangun dua grafik dalam ELECTRE II. Kemudian grafik tersebut akan digunakan untuk meranking alternatif-alternatif yang ditentukan.

2.2.4 ELECTRE III

Metode ELECTRE III merupakan metode yang menerangkan dan mengaplikasikan permasalahan pemilihan suatu kriteria. Metode ini tidak terbatas pada pencarian dua

outranking kuat/lemah saja tetapi juga seluruh kelompok “*outranking*” yang mungkin. Perbedaan dibandingkan dengan metode ELECTRE I dan ELECTRE II adalah :

- Preferensi *outranking* yang lemah dan *indifference* yang kuat.
- Tingkat kredibilitas dan distilasi *ascendantes* dan *descendantes*.

Ide dasar dari ELECTRE III adalah mengembangkan prosedur untuk membantu pengambil keputusan dalam memilih alternatif yang paling disukai diantara sekelompok alternatif. Pada ELECTRE I dan ELECTRE II, dasar pemilihan suatu kriteria adalah nilai *threshold* yang ditetapkan setelah *index concordance* terbentuk, namun kenyataannya hampir tidak mungkin untuk menetapkan nilai *threshold* yang sama untuk semua kriteria, karena besar preferensi pengambil keputusan terhadap suatu kriteria berlainan.

Konsep ELECTRE III terdiri atas tiga hal yaitu pemilihan terhadap suatu alternatif, pengukuran tingkat ketidakpuasan terhadap kriteria lainnya, dan sebagai ukuran kesukaan dan ketidakpuasan pengambil keputusan. Ketiga konsep tersebut dijelaskan sebagai berikut (Tabucanon, 1998)

- :
- *Concordance*
Untuk setiap dua alternatif k dan l , *concordance* merupakan konsep dengan alternatif k lebih disukai daripada alternatif l (disebut $k P l$) atau dimana alternatif k sama dengan alternatif l (disebut $k E l$).
 - *Discordance*
Konsep ini menangani sekumpulan kriteria dimana k tidak lebih disukai daripada l dan memberikan ukuran derajat ketidakpuasan sebagai akibat dari disukainya alternatif k daripada l .
 - *Threshold value*

Adalah nilai p dan q antara nol dan satu, didefinisikan oleh pengambil keputusan untuk mengukur derajat *concordance* yang diinginkan (nilai P) dan nilai *concordance* yang bisa ditoleransi (nilai q). Untuk membandingkan tiap alternatif, nilai *threshold* (q_i) tidak boleh melebihi p_i dan v_j . Langkah-langkah menentukan *threshold value* adalah

- a. Menghitung selisih absolut untuk tiap alternatif untuk setiap kriteria dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Selisih} = |g(a_i) - g(a_j)| \quad (2.1)$$

- b. Menghitung selisih nilai-nilai alternatif diatas yaitu nilai alternatif maksimum dikurangi nilai alternatif minimum.
- c. Menentukan *range* dari nilai alternatif (pada langkah b) dengan membagi menjadi tiga kelas yang letak nilainya $q_j < p_j < v_j$ di batas atas kelas pertama, kedua atau kelas ke- n sesuai dengan kebijaksanaan pengambil keputusan.

- Konsep *pseudo criteria*

Dalam ELECTRE III, ketidak pastian dan ketidak akuratan informasi tentang penilaian alternatif akan dapat diantisipasi dengan konsep *pseudo criteria* dan kedua nilai *threshold*-nya. *Pseudo criteria* merupakan modal preferensi yang mencakup dua jenis *threshold* yaitu *indifference threshold* (q_j) dan *preference threshold* (p_j) untuk setiap kriteria g_j . *Threshold* adalah nilai yang digunakan sebagai dasar untuk membandingkan alternatif pada setiap kriteria. Berikut ini adalah penggunaan *pseudo criteria* (Maestre et al, 1994):

$$\forall a_i, a_k \in A$$

$$a_i I a_k \leftrightarrow -q(g(a_k)) \leq g(a_i) - g(a_k) \leq q(g(a_k)) \quad (2.2)$$

$$a_i P a_k \leftrightarrow q(g(a_k)) \leq g(a_i) - g(a_k) \leq p(g(a_k)) \quad (2.3)$$

$$a_i Pa_k \leftrightarrow p(g(a_k)) \leq g(a_i) - g(a_k) \quad (2.4)$$

- dimana: $a_i Ia_k$ = alternatif a_i dan a_k sama-sama disukai
 $a_i Qa_k$ = alternatif a_i sedikit lebih disukai daripada a_k
 $a_i Pa_k$ = alternatif a_i lebih disukai daripada a_k

Informasi-informasi yang harus diketahui terlebih dahulu sebelum menerapkan metode ELECTRE III adalah sebagai berikut :

1. Hasil pembobotan kriteria $g_j(a)$.
2. Tingkat kepentingan relatif w_i dari kriteria menurut preferensi pengambil keputusan.
3. *Threshold preference* dan *threshold indifference* per kriteria.
4. *Threshold veto* per kriteria.

- Konsep *concordance*

Concordance merupakan evaluasi untuk setiap pasangan alternatif (a_j, a_k) dimana kriteria suatu alternatif lebih disukai $(a_j Pa_k)$ atau sama-sama disukai $(a_j Ia_k)$ dibandingkan yang lain dalam pasangan $c_j(a_j, a_k)$. Perhitungan *concordance* dilakukan sebanyak dua kali yaitu *concordance* tiap kriteria dan *concordance global*. Nilai *concordance* tiap kriteria $c_j(a_j, a_k)$ untuk setiap pasangan alternatif (a_j, a_k) dapat dirumuskan sebagai berikut (Maestre et al, 1994) :

$$p_j < g_j(a_k) - g_j(a_k) \Rightarrow c_j(a_j, a_k) = 0 \quad (2.5)$$

$$q_j < g_j(a_k) - g_j(a_k) \leq p_j \Rightarrow 0 \leq c_j(a_j, a_k) < 1 \quad (2.6)$$

$$g_j(a_k) - g_j(a_k) \leq q_j \Rightarrow c_j(a_j, a_k) = 1 \quad (2.7)$$

Jika terjadi kondisi $q_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq p_j \Rightarrow 0 \leq c_j(a_j, a_k) < 1$ maka digunakan teorema Thales :

$$\frac{x}{i} = \frac{g_j(a_i) + p_j - g_j(a_k)}{g_j(a_i) + p_j - g_j(a_k) - q_j} \Rightarrow x = \frac{g_j(a_i) + p_j - g_j(a_k)}{p_j - q_j} \quad (2.8)$$

Dengan melakukan penilaian *discordance* untuk tiap kriteria maka nilai *concordance global* dapat dihitung (Maestre et al, 1994) yaitu:

$$c(a_j, a_k) = \frac{\left[\sum_{j=1}^m w_j x c_j(a_j, a_k) \right]}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (2.9)$$

Dimana w_j = bobot kriteria ke j

m = jumlah kriteria.

- Konsep *discordance*

Discordance merupakan penilaian suatu preferensi alternatif dari suatu kriteria lebih tidak disukai daripada alternatif yang lain. Pengukuran atau pengelompokan nilai *discordance* $d_j(a_j, a_k)$ untuk setiap preferensi pasangan alternatif (a_j, a_k) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$v_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \Rightarrow d_j(a_j, a_k) = 0 \quad (2.10)$$

$$p_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq v_j \Rightarrow 0 \leq d_j(a_j, a_k) < 1 \quad (2.11)$$

$$g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq p_j \Rightarrow d_j(a_j, a_k) = 0 \quad (2.12)$$

Jika terjadi kondisi

$p_j < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq v_j \Rightarrow 0 \leq d_j(a_j, a_k) < 1$ maka digunakan teorema Thales :

$$x = \frac{g_j(a_j) - g_j(a_k) - p_j}{x_j - p_j} \quad (2.13)$$

- Matriks derajat output

Matriks derajat *outranking* $\delta(a_j, a_k)$ untuk menyatakan kredibilitas *outranking* dari a_j terhadap a_k , nilainya berkisar antara 0 sampai 1. $\delta(a_j, a_k)$ dapat dibuat dengan nilai *concordance* dan *discordance*. $\delta(a_j, a_k)$ adalah himpunan kriteria dimana $d_j(a_j, a_k) > c(a_j, a_k)$. $\delta(a_j, a_k)$ dapat dinyatakan sebagai berikut (Tabuchanon et al, 1999):

$$\delta(a_j, a_k) = c(a_j, a_k) \text{ bila } d_j(a_j, a_k) \leq c(a_j, a_k) \forall_{jj} \quad (2.14)$$

$$\delta(a_j, a_k) = c(a_j, a_k) \prod_{j \in J(a_j, a_k)} \frac{1 - d_j(a_j, a_k)}{1 - c(a_j, a_k)} \quad (2.15)$$

- Hasil perankingan

Metode ELECTRE III ini memiliki 2 macam hasil perankingan yaitu *descendance destilation* dan *ascendance destilation*. *Descendance destilation* merupakan perankingan alternatif dari yang paling disukai sampai dengan yang paling tidak disukai. Sedangkan *ascendance destilation* sebaliknya. Pada *software* ELECTRE III, hasil perankingan akhir dapat dilihat pada hasil *final graph*.

- Analisa sensitivitas terhadap hasil perankingan.

Hasil perankingan dari *software* ELECTRE III, bila terjadi perubahan pada bobot kriteria tentu akan berpengaruh pada hasil perankingan tersebut. Begitu pula pada pemilihan nilai *threshold* yang juga memiliki subyektivitas yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukannya

analisis sensitivitas yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana keakuratan data, perubahan pada bobot dan *veto values* mempengaruhi urutan alternatif.

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini bertujuan untuk memudahkan dalam melakukan penelitian sehingga penelitian yang dilakukan dapat terstruktur dengan baik. Hasil yang diperoleh dari suatu tahap akan menjadi masukan bagi tahap berikutnya. Langkah-langkah penelitian terdiri dari tiga tahapan yaitu identifikasi awal, pengumpulan dan pengolahan data, serta analisa dan kesimpulan.

3.1 Tahap Identifikasi Awal

Tahap identifikasi awal merupakan tahap pengumpulan informasi untuk menentukan, mengidentifikasi dan merumuskan masalah dari latar belakang yang ada, kemudian menentukan tujuan yang hendak dicapai, serta menentukan batasan dan asumsi dari penelitian yang dilakukan.

3.1.1. Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap yang dilakukan setelah identifikasi permasalahan. Perumusan masalah inilah yang nantinya menjadi fokus dari penelitian. Pada tahap ini dilakukan *screening* dan melakukan analisa dampak lingkungan pada sistem produksi kikir (*files*) sehingga didapatkan *boundaries* atau batasan yang akan diteliti yang menyebabkan dampak pada lingkungan yang paling besar. Setelah itu dapat dirumuskan masalah yaitu evaluasi *life cycle* produk kikir (*files*) di PT. Jaykay Files Indonesia serta usulan perbaikan dan penentuan alternatif optimal.

3.1.2. Penetapan Tujuan Penelitian

Setelah merumuskan masalah, selanjutnya menetapkan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian. Dimana secara umum tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi *life cycle* kikir (*files*) di PT. Jaykay Files

Indonesia serta memberi usulan perbaikan untuk menurunkan dampak lingkungan.

3.1.3. Studi Kepustakaan

Merupakan tahap penelusuran referensi yang biasanya bersumber pada buku, jurnal, artikel dari internet dan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pemecahan masalah yang akan dihadapi dalam penelitian ini. Pada penelitian ini teori yang digunakan antara lain adalah metode *Life Cycle Assessment (LCA)* dan aplikasi model multi kriteria yaitu pendekatan ELECTRE III. Teori tersebut dijelaskan acuan dalam melakukan pengolahan dan analisa hasil pengolahan data.

3.1.4. Studi Pendahuluan Lapangan

Studi pendahuluan lapangan dimaksudkan untuk mengetahui kondisi riil perusahaan dalam hubungannya dengan *life cycle* produk kikir (*files*).

3.1.5. Menentukan Asumsi dan Batasan Penelitian

Peneliti melakukan penentuan asumsi untuk menyederhanakan kondisi nyata yang akan dijadikan obyek dalam penelitian. Sedangkan batasan diberikan untuk membatasi ruang lingkup penelitian. Hal ini memiliki tujuan untuk memudahkan peneliti melakukan penelitian, sehubungan dengan batasan waktu yang ada.

3.2. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap ini merupakan tahap pengumpulan seluruh data-data yang terkait dengan penelitian untuk kemudian diolah dengan metode-metode yang sudah dijelaskan pada studi pustaka. Tahapan ini dibagi menjadi dua yaitu :

3.2.1. Pengumpulan Data

Pada tahap dilakukan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk pengolahan data. Data-data yang diperoleh bisa dilakukan dengan :

1. Pengamatan langsung ke sistem produksi
Pengumpulan informasi mengenai penggunaan energi, penggunaan material(input) dan waste yang ditimbulkan(output).
2. Data-data perusahaan (data Primer)
Seperti data tentang jumlah pemesanan ke supplier dan jumlah permintaan konsumen
3. Wawancara dan *Brainstorming*
Wawancara dilakukan untuk pemilihan alternatif perbaikan. Alternatif-alternatif yang nantinya dapat dilakukan untuk menurunkan dampak lingkungan.
4. Literatur dan penelitian terdahulu yang terkait dengan topik ini.
Mencari data tambahan yang dapat dikaitkan dengan data-data pada literatur dan penelitian terdahulu.

3.2.2. Pengolahan Data

Data-data yang telah dikumpulkan di tahap selanjutnya, kemudian diolah dengan langkah :

1. Membuat identifikasi seluruh kegiatan seluruh *life cycle* produk, mulai dari pengambilan *raw material*, proses produksi di *supplier*, transportasi dari *supplier* ke *manufacturer*, proses produksi di *manufacturer*, dan *disposal*.
2. Setelah diidentifikasi, selanjutnya dilakukan pembuatan *Life Cycle Inventory*. Pada tahapan ini dilakukan perhitungan input output di seluruh tahapan *life cycle*. Perhitungan dilakukan pada penggunaan sumberdaya, energi, dan pelepasan ke lingkungan selama siklus hidup produk.
3. Setelah diperoleh *Life Cycle Inventory* hasilnya diusulkan untuk diolah di *software* SimaPro 5.0 untuk mendapatkan nilai *environmental impact* selama siklus hidup produk.
4. Dari hasil *impact assessment* akan diperoleh bagian mana yang perlu perbaikan. Penentuan area perbaikan dilihat dari analisa *impact assessment*.

5. Dari penentuan area perbaikan akan dirumuskan rekomendasi alternatif perbaikan. Perbaikan yang direkomendasikan diharapkan dapat menurunkan dampak lingkungan dari siklus hidup produk.
6. Setelah dirumuskan alternatifnya, selanjutnya akan dilakukan pemilihan alternatif terbaik. Disamping pemilihan dari segi pengurangan dampak, pemilihan juga dilakukan berdasarkan kriteria-kriteria yang penting bagi manajemen perusahaan. Disini akan dilakukan pembobotan dari kriteria-kriteria terpilih berdasarkan kuisioner pada pihak manajemen perusahaan.

3.3. Tahap Analisa

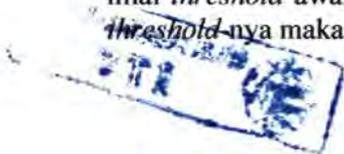
Tahap ini merupakan langkah akhir dari penelitian, dimana akan dilakukan analisis dari interpretasi hasil pengolahan data yang telah dilakukan dan selanjutnya dilakukan penarikan kesimpulan dan saran. Tahap ini terdiri dari:

3.3.1. Analisa Sensitivitas

Untuk menguji seberapa sensitif parameter keputusan terhadap perubahan yang ada sehingga jika parameter dapat memberikan perubahan hasil, seberapa jauh perubahan yang terjadi.

Ada 2 tahapan analisa sensitivitas yaitu:

1. Analisa sensitivitas *threshold*.
Langkah yang perlu dilakukan untuk menganalisa sensitivitas nilai *threshold* ini yaitu dengan cara memperluas nilai *threshold* awal tiap kriteria ke atas dan ke bawah masing-masing sebanyak tiga kali. Besarnya perluasan nilai *threshold* ini tergantung pada besarnya nilai *threshold* awal. Jika salah satu kriteria diubah nilai *threshold*-nya maka nilai *threshold* kriteria lainnya tetap.



2. Analisa Sensitivitas bobot

Jika terdapat perubahan hasil perangkaan awal akibat perubahan nilai *threshold*, maka dilakukan perubahan terhadap bobot dari kriteria tersebut atau bobot dari kriteria yang merubah hasil perangkaan (bobot kriteria kritis).

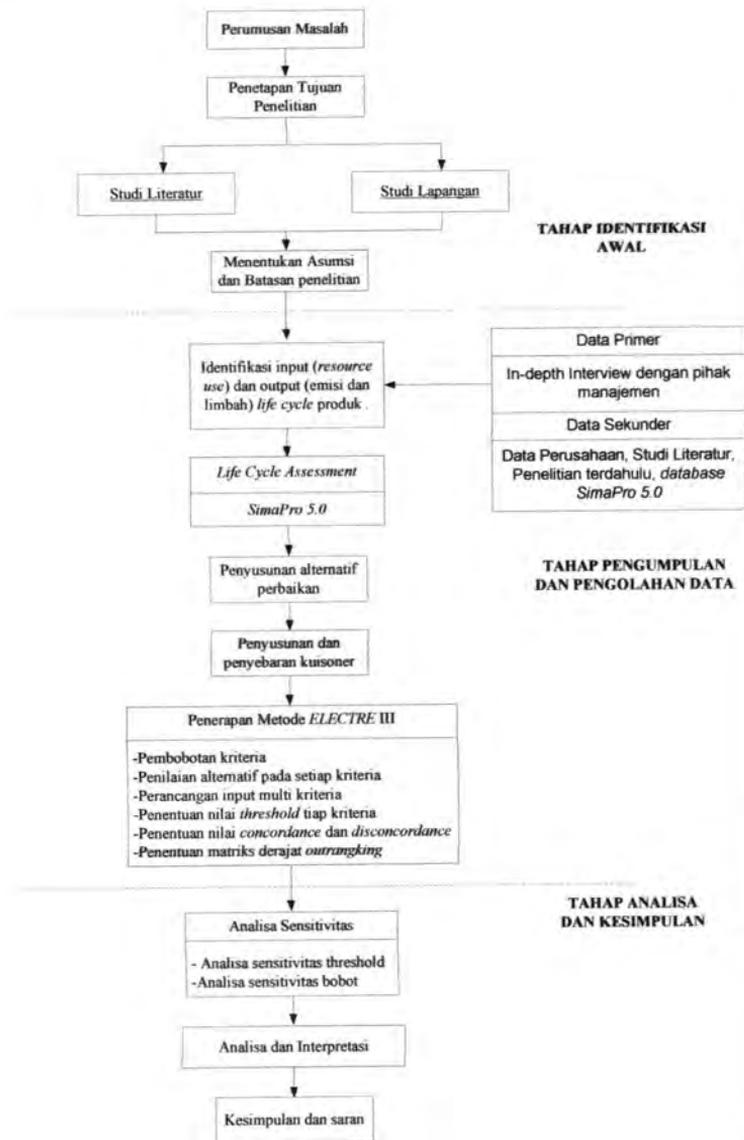
3.3.2. Analisa Dan Interpretasi Hasil

Analisa dilakukan terhadap hasil yang diperoleh dari proses pengolahan data. Hal ini ditujukan untuk lebih menjelaskan maksud dan arti yang terkandung dalam hasil yang telah dicapai. Termasuk didalamnya adalah alternatif perbaikan yang diusulkan.

3.4. Kesimpulan dan Saran

Tahapan akhir yang dilakukan adalah penarikan kesimpulan dan saran dari seluruh tahap yang telah dilalui. Kesimpulan harus dapat mengungkapkan hal-hal pokok yang diperoleh dan intisari dari tujuan dilakukan penelitian. Sedangkan saran ditujukan untuk memberikan petunjuk dan pengembangan dan penelitian sejenis yang terkait yang mungkin akan dilakukan.





Gambar 3.1 Alur Metodologi Penelitian

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab IV ini berisi mengenai pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian. Data-data yang diperoleh berupa data primer dan sekunder. Data primer didapat dari *in-depth interview* dengan pihak perusahaan. Data sekunder diambil dari data perusahaan, baik dari departemen personalia, departemen produksi dan departemen lingkungan. Selain itu, data-data penunjang diambil dari database *software* SimaPro 5.0 maupun dari literatur lain dari proses-proses yang sama.

4.1 Pengumpulan Data

Pada bab ini akan dijelaskan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Data yang diperlukan meliputi deskripsi perusahaan amatan, deskripsi sistem amatan, produk amatan, data produksi berupa bahan baku, energi proses produksi, transportasi, emisi dan limbah yang dihasilkan baik dari *manufacturing* maupun *supplier*, data transportasi sepanjang distribusi, penggunaan selama di konsumen, dan pembuangan produk akhir.

4.1.1. Profil dan Sejarah Umum Perusahaan

PT. Jaykay Files Indonesia didirikan sejak tahun 1974, dengan izin lokasi pada tanggal 18 Maret 1974 oleh *Group Raymond Limited* (selaku induk perusahaan), yang beralamat di Mumbai (India), antara lain M/s Jaykay Org. AG., Zug (Switzerland); M/s Gani Djemat & Partners, Jakarta (Indonesia).

Perusahaan ini dibawah naungan Departemen Perindustrian. Bentuk badan hukumnya adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan produksi awalnya adalah Kikir (*Engineer's steel Files*) dengan bermacam-macam bentuk dan ukuran.

Adapun tujuan berdirinya perusahaan ini pada dasarnya bukan hanya untuk mengejar keuntungan semata, lebih dari itu adalah untuk menunjang kebutuhan masyarakat dan disamping itu untuk menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat Indonesia (umumnya) dan masyarakat sekitar pada khususnya.

Latar belakang berdirinya perusahaan ini adalah didorong oleh suatu kebutuhan dalam negeri dalam hal perindustrian, khususnya kebutuhan Kikir dan perusahaan ini merupakan pelopor atau pabrik Kikir pertama di Indonesia, yaitu dengan kapasitas produksi 750.000 lusin per tahun, yang selanjutnya pada tahun 1979 telah diadakan perluasan (diversifikasi produk) dengan memproduksi Mata bor (*Twist Drill*) dengan kapasitas produksi 3.000.000 biji per tahun, dengan sasaran pasar lokal (domestik) maupun luar negeri (ekspor).

Untuk peningkatan atau pengembangan mutu produk yang berskala Internasional untuk menghadapi pasar bebas pada era globalisasi mendatang, maka PT. Jaykay Files Indonesia telah berupaya semaksimal mungkin dan telah berhasil mendapatkan pengakuan mutu dari Badan Akreditasi Nasional/ Internasional yaitu dengan telah mendapatkannya sertifikat ISO 9002; 1994/SNI-19-9002 pada tanggal 28 Mei 1997 hingga sekarang, yang dikeluarkan oleh Sucofindo *Internasional Certification Services* (PT. SUCOFINDO I.C.S) Jakarta dengan nomor QSC-00043.

Bentuk badan hukum perusahaan ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan Penanaman Modal Asing (PMA) dan telah mendapatkan surat-surat izin operasional dari Instansi yang berwenang seperti Surat Izin Usaha Tetap (SIUT) dari Menteri Perindustrian RI No. 062/DJAI/IUT-D5/PMA/II/1990 tanggal 27 Pebruari 1990 dan Badan Usaha Koordinasi Penanaman Modal (BKPM) Pusat, Jakarta No. 13/T/INDUSTRI/1984 tanggal 8 Pebruari 1984 dan Izin Usaha Industri No. 290/T/INDUSTRI/1993 tanggal 11

Oktober 1993, serta izin HO dari Bupati Kepala Daerah Tk. II Sidoarjo No. 135/K.D./74 tanggal 26 September 1974.

Jenis usaha perusahaan PT. Jaykay Files Indonesia ini adalah perusahaan industri pembuatan alat-alat pertukangan (*Hand Tools*) atau perusahaan manufaktur (produsen). Perusahaan ini merupakan perusahaan *Make To Stock (MTS)*.

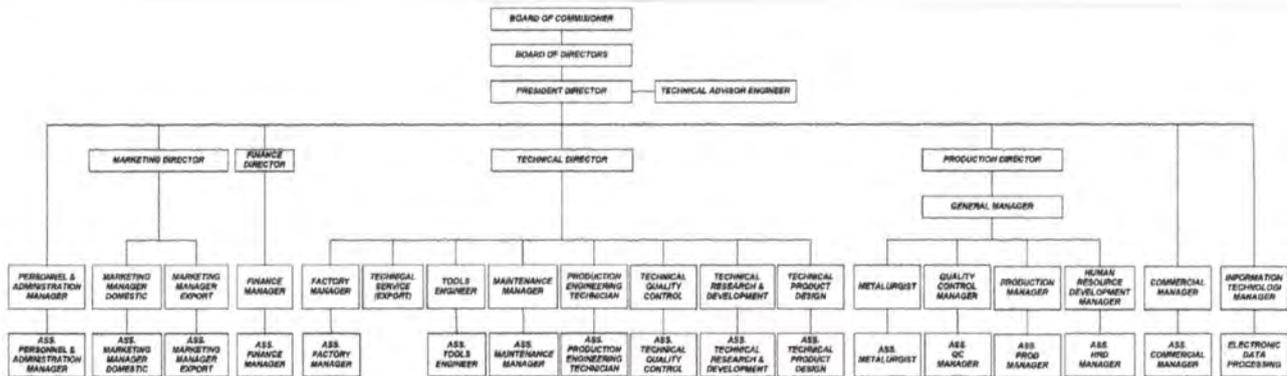
Hasil produksinya 70% dipasarkan di dalam negeri sedangkan sisanya dipasarkan ke luar negeri (ekspor). Untuk pemasaran dalam negerinya menggunakan agen-agen / distributor lokal di seluruh wilayah Indonesia. Sedangkan wilayah eksport-nya meliputi Australia, Philipina, Singapura, Malaysia, Thailand, India, Japan, New Zealand, Fiji Island, Papua New Guinea, Samoa, Saudi Arabia, United Arab Emirates, Canada, Panama, United States of America, Mexico, South Africa (Ivory dan Capetown), Vietnam, Pakistan, Bangladesh, Itali, Jerman, Turki, dan lain-lain.

4.1.2. Struktur Organisasi Perusahaan

Struktur Organisasi PT. Jaykay Files Indonesia adalah struktur organisasi fungsional dan staf, yang merupakan kombinasi dari struktur organisasi fungsional dan struktur organisasi garis dan staf.

Para eksekutif lini mengerjakan yang diperlukan untuk melanjutkan pengoperasian dari perusahaan itu. Pada PT. Jaykay Files Indonesia ini terdiri dari *board of commissioners*, *board of directors*, dan *president director*. Untuk membantu tugas para eksekutif ini, maka diberikan wewenang kepada para manajer-manajer yang menangani proses atau fungsi-fungsi tertentu dengan dibantu para asistennya.

Untuk membantu tugas dari para manajer dan asistennya, maka dibentuklah staf yang merupakan orang-orang spesialis untuk mengendalikan pekerjaan dari fungsi-fungsi dibidangnya masing-masing.



Gambar 4.1. Struktur Organisasi PT. Jaykay Files Indonesia.

4.1.3. Deskripsi Sistem Amatan

Sistem yang diamati dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut :

4.1.3.1. *Supplier*

Suplier pada pembuatan produk Kikir (*Files*) ini meliputi supplier bahan baku utama yaitu *High Carbon File Steel Bard* yang merupakan bahan baku import, dimana supplier bahan baku tersebut terdapat di luar negeri.

Adapun untuk suplier bahan baku penunjang seperti batu gerinda, pahat, dan *hardening salt* ini didapatkan dari India. Oli anti karat didapatkan dari USA. Sedangkan untuk oli pendingin dan Asam Klorida didapatkan dari suplier lokal. Dan pada tahap selanjutnya nanti akan dilakukan perhitungan jarak supplier bahan baku tersebut sebagai bagian dari tahap *life cycle* (lampiran I).

4.1.3.2. Proses Produksi

Berikut ini akan dijelaskan secara rinci proses produksi dari pembuatan Kikir (*Files*) meliputi proses *Cropping, Forging, Annealing, Grinding, Cutting, Stamping, Hardening, Acid treatment, Scouring, Proving, dan Packing.*



Gambar 4.2 Produk Kikir (*Files*)

1. Proses *Cropping*

Adalah proses pemotongan bahan baku disesuaikan dengan spesifikasi yang diminta. *Raw material* yang akan di-*cropping* berbentuk batangan baja *High Carbon*. *Raw material*

ini kemudian akan dipotong-potong menjadi bagian-bagian lebih kecil yang terlebih dahulu disesuaikan dengan spesifikasi produk Kikir yang diminta. Proses ini dilakukan dengan menggunakan *cut off and polishing machine*.

2. Proses Forging

Adalah proses pembuatan tangkai Kikir (*Files*). *Raw material* pada proses ini akan dipipihkan pada salah satu bagian ujungnya. Ujung tersebut nantinya akan digunakan sebagai tempat untuk memegang Kikir (*Files*). Proses ini dilakukan dengan menggunakan *milling machine with deviding heat*.

3. Proses Annealing

Adalah proses pemanasan (*heat treatment*) agar dicapai perubahan struktur dan kekerasan yang merata diseluruh permukaan. *High steel carbon* memerlukan pelunakan pada temperatur rendah dengan jalan memanaskan baja sampai temperatur antara 550 dan 650 ° C dan ditahan pada temperatur tersebut selama satu jam untuk tiap ketebalan 25 mm, kemudian didinginkan ke temperatur kamar dengan laju pendinginan 30 sampai 60 ° C. Pada proses ini menggunakan *welding machine*.

4. Proses Grinding

Adalah proses penghilangan lapisan luar dari Kikir (*Files*) akibat proses *heat treatment*. Pada dasarnya setelah dilakukan proses *heat treatment* ini akan terjadi perubahan struktur permukaan yang merata, tetapi lapisan luar ini perlu dihilangkan agar diperoleh permukaan kikir yang halus dan rata. Kikir (*Files*) ini digerinda secara perlahan-lahan dengan menggunakan *surface grinder*.

5. Proses Cutting

Adalah proses pembuatan gigi Kikir (*Files*). Proses ini dikerjakan dengan menggunakan *drilling machine*. Kikir di-*drill* pada permukaannya agar didapatkan bentuk gigi kikir

yang sesuai dengan spesifikasi produk. Bentuk gigi Kikir ini disesuaikan dengan fungsi kikir.

6. Proses *Stamping*

Adalah proses pemberian stempel/merk pada Kikir. Proses ini juga menggunakan *drilling machine*. Pemberian stempel/merk ini diletakkan diantara tangkai Kikir dan gigi Kikir. Pemberian stempel/merk ini dilakukan agar produk Kikir tidak bisa dipalsukan.

7. Proses *Hardening*

Adalah proses pengerasan Kikir (*Files*). Produk Kikir ini setelah menjalani proses-proses diatas maka selanjutnya akan dikeraskan kembali dengan cara dicelupkan ke dalam oli pendingin selama satu jam.

8. Proses *Acid Treatment*

Adalah proses pembersihan Kikir tahap pertama. Proses ini dilakukan dengan cara mencelupkan Kikir kedalam cairan Asam Klorida (HCl) selama beberapa menit.

9. Proses *Scouring*

Seperti halnya proses *Acid treatment*, proses ini merupakan proses pembersihan Kikir tahap kedua. Proses ini dengan menggunakan *hardening salt*.

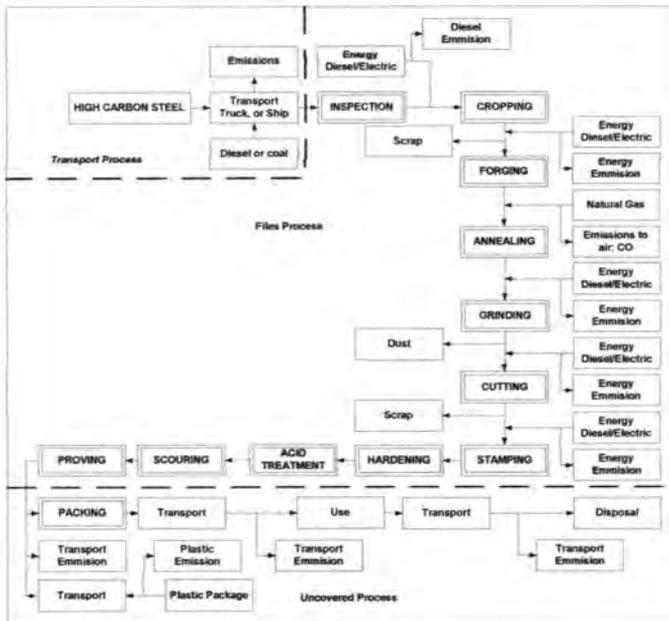
10. Proses *Proving*

Adalah proses pengujian Kikir tahap akhir. Dimana disini akan diuji tingkat kekerasannya dengan menggunakan dua alat yaitu *endorance testing machine* dan *Hardness testing machine*. Jika produk tidak lulus test ini maka akan dianggap sebagai produk *reject*.

11. Proses *Packaging*

Merupakan proses terakhir dari produksi Kikir. Produk yang sudah jadi dan sudah di test maka akan dimasukkan kedalam pembungkusnya.

Secara garis besar aliran sistem produksi Kikir (*Files*) dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.3 Aliran Sistem Produksi Kikir (*Files*)

4.1.3.3. Distribusi

Pada distribusi disini adalah distribusi dari proses produksi ke customer yang sebagian besar adalah agen-agen besar baik dalam negeri maupun luar negeri. Distribusi nantinya akan dihitung berdasarkan tempat tujuan utama distribusi. Sedangkan untuk distribusi dari customer ke end customer tidak diperhitungkan karena setiap customer mempunyai tujuan dan jangkauan distribusi yang berbeda-beda serta karena keterbatasan waktu penelitian (lampiran II).

4.1.3.4. Usage

Pada tahap ini merupakan tahap penggunaan Kikir (*Files*) sebagai alat bantu pertukangan. Pada penggunaan

produk ini terdapat penggunaan energi lagi tetapi tidak dibahas dalam penelitian ini karena keterbatasan data dan waktu.

4.1.3.5. Disposasi

Pada tahap disposasi ini produk Kikir (*Files*) yang telah digunakan akan dibuang dengan berbagai cara, dari data *disposal* tersebut menunjukkan cara pembuangan yang dilakukan oleh *end customer* terhadap produk yang sudah tidak dipakai lagi. Data disposasi yang didapatkan adalah data untuk skenario pembuangan semua jenis sampah di Surabaya. Dapat diasumsikan skenario pembuangan untuk produk yang diamati diasumsikan sebagai berikut 69.7% dibuang ke TPA, 4.6% dibakar (*incinerate*), 0.44 dijadikan kompos sebagai pupuk, 14.29% *direcycling*(Dinas Kebersihan Kotamadya Surabaya,2004). Dimana pada produk kikir ini lebih kearah pembuangan dengan cara dibuang disembarang tempat, karena sifat Kikir yang tidak dapat *direcycling*, tetapi jika dibiarkan di lingkungan terbuka maka lambat laun akan mengering dan hilang dengan sendirinya.

4.1.4. Deskripsi Produk Amatan

Pada penelitian ini akan difokuskan pada produk Kikir (*Files*), dimana produk tersebut merupakan produk yang paling banyak diproduksi di PT. Jaykay Files Indonesia untuk memenuhi demand customer sebagai perangkat pertukangan. Adapun bahan baku dari produk Kikir (*Files*) ini adalah *High Steel Carbon*.

4.1.5. Deskripsi Bahan Baku

Bahan baku utama dari produk Kikir (*Files*) adalah *High Carbon File Steel Bard*. Bahan baku utama ini langsung diimport dari perusahaan utama yang berada di India. Selain bahan baku utama diatas, dalam proses produksi Kikir (*Files*) ini masih memerlukan bahan penolong lainnya seperti:

1. Batu gerinda.

Bahan ini berfungsi untuk membantu menghaluskan permukaan Kikir (*Files*).

2. Pahat.
Bahan ini digunakan dalam proses *cutting*.
3. *Hardening salt*.
Bahan ini digunakan dalam proses *scouring*.
4. Oli anti karat.
Bahan ini berfungsi untuk membantu dalam perawatan mesin-mesin pabrik.
5. Oli pendingin.
Bahan ini digunakan untuk membantu proses *Hardening*
6. Asam Klorida (HCl).
Bahan ini digunakan dalam proses *Acid treatment*.

4.1.6. Data Input Output

Pada data input-output menunjukkan deskripsi sistem amatan yang telah dijelaskan sebelumnya, yang meliputi penggunaan energi dan material yang ada. Data tersebut akan digunakan untuk penilaian dampak lingkungan. Untuk mendapatkan keseluruhan input dan output dalam sistem yang diamati tidak mudah terutama mengenai jumlah emisi yang dihasilkan untuk setiap proses dan bahan yang digunakan. karena keterbatasan data dan waktu penelitian.

Data input-output ini terdiri dari data primer maupun sekunder, data penunjang dari studi literatur, penelitian terdahulu, serta data yang tersedia dalam database SIMAPRO 5.0

4.2 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data ini, data-data yang telah didapat dalam pengumpulan data, dilakukan pengolahan meliputi impact assessment pada proses produksi. Pengolahan ini nantinya menggunakan *software* SimaPro 5.0, sehingga nanti didapat nilai impact assessment yang digunakan sebagai dasar perbaikan dalam penelitian ini.

4.2.1 Pembuatan *tree diagram*

Setelah data-data yang telah ada dilakukan pengolahan dengan cara dimasukkan ke bagian *product stages* dalam SIMAPRO 5.0 untuk *inventory analysis*. Pada bagian *product stages*, inputan akan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu *assembly*, *lifecycle*, *disposal scenario*, *disassembly*, dan *reuse*. Dimana pada *assembly* memuat proses produksi yang dilakukan oleh proses produksi dalam pembuatan kikir. Sedangkan pada *life cycle* memuat seluruh siklus hidup dari produk didalam sistem Sedangkan kelompok *disposal scenario* berisi tentang cara pembuangan produk.

Dari input data tadi, akan didapat *tree diagram* yang menggambarkan secara langsung keseluruhan sistem beserta proses-proses yang ada didalamnya dan seberapa besar kontribusi dari setiap proses yang ada dalam sistem. Dimana besarnya tingkat kontribusi dapat diketahui melalui diagram batang berwarna merah untuk masing-masing proses, *Tree diagram* dapat dilihat pada akhir bab ini.

4.2.2 Impact Assessment

Pada tahap impact assessment ini digunakan metode EDIP/UMIP 96 (*Environmental Design of Industrial Products*) yang sudah ada dalam SIMAPRO 5.0, metode ini dipilih karena dapat mengukur dengan baik nilai dampak terhadap lingkungan dan manusia, dimana dengan metode ini akan dilakukan analisa mengenai impact category seperti dibawah ini:

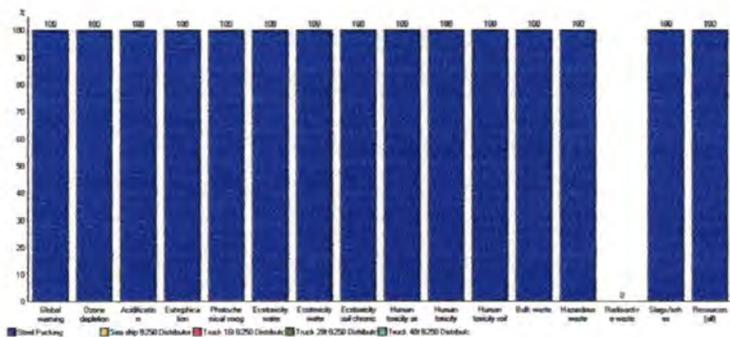
Tabel 4.1 *Impact Category* Menurut Metode EDIP

Impact Category	
Global warming	Human toxicity air
Ozone depletion	Human toxicity water
Acidification	Human toxicity soil
Eutrophication	Bulk waste
Photochemical smog	Hazardous waste
Ecotoxicity water chronic	Radioactive waste
Ecotoxicity water acute	Slag
Ecotoxicity soil chronic	Resource (all)

Dalam metode ini terdapat beberapa tahapan seperti *characterisation*, *normalisation*, *weighting* dan *single score*.

4.2.2.1 *Characterisation*

Characterisation adalah mengalikan substansi yang berkontribusi terhadap *impact category* dengan *characterization* faktor untuk menggambarkan kontribusi relative substansi tersebut.



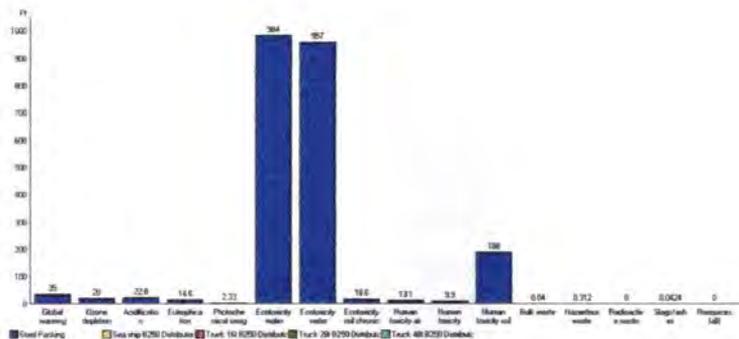
Gambar 4.4 Diagram *Characterisation* Untuk *Impact Assessment*

Tabel 4.3 Nilai *Normalisation* untuk *impact assessment*

Impact category	Unit	Total	Steel Packing	Sea ship B2	Truck 16t B2	Truck 28t B2	Truck 40t B2
Global warming (GW/P 100)		26.9	26.9	9.96E-7	2.8E-5	1.87E-5	1.14E-5
Ozone depletion		0.871	0.871	2.06E-8	5.74E-7	3.82E-7	2.33E-7
Acidification		17.5	17.5	1.04E-6	2.59E-5	1.73E-5	1.05E-5
Eutrophication		12.2	12.2	1.01E-7	1.89E-5	1.26E-5	7.66E-6
Photochemical smog		1.94	1.94	1.08E-8	2.11E-6	1.41E-6	8.56E-7
Ecotoxicity water chronic		428	428	4.2E-7	4.05E-6	2.7E-6	1.65E-6
Ecotoxicity water acute		416	416	1.96E-7	3.73E-6	2.49E-6	1.52E-6
Ecotoxicity soil chronic		8.07	8.07	6.2E-9	9.99E-7	6.66E-7	4.05E-7
Human toxicity air		4.69	4.69	1.77E-7	1.31E-5	8.73E-6	5.32E-6
Human toxicity water		3.96	3.96	1.21E-6	4.27E-6	2.84E-6	1.73E-6
Human toxicity soil		75.2	75.2	1.91E-6	0.000372	0.000248	0.000151
Bulk waste		0.0364	0.0364	x	x	x	x
Hazardous waste		0.284	0.284	x	x	x	x
Radioactive waste		x	x	x	x	x	x
Slags/ashes		0.0385	0.0385	x	x	x	x
Resources (all)		0	0	0	0	0	0

4.2.2.3 Weighting

Weighting adalah mengalikan *impact category* dengan *weighting factor* dan ditambahkan untuk mendapatkan nilai total.

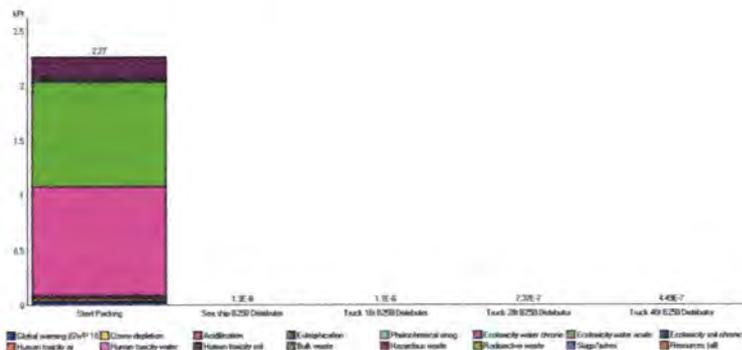
Gambar 4.6 Diagram *weighting* untuk *impact assessment*

Tabel 4.4 Nilai *weighting* untuk *impact assessment*

Impact category	Unit	Total	Steel Packing	Sea ship B2	Truck 16t B2	Truck 28t B2	Truck 40t B2
Total	Pt	2.27E3	2.27E3	1.3E-5	0.0011	0.000737	0.000449
Global warming (GWP 100)	Pt	35	35	1.29E-6	3.64E-5	2.42E-5	1.48E-5
Ozone depletion	Pt	20	20	4.74E-7	1.32E-5	8.9E-6	5.36E-6
Acidification	Pt	22.8	22.8	1.36E-6	3.37E-5	2.24E-5	1.37E-5
Eutrophication	Pt	14.6	14.6	1.21E-7	2.26E-5	1.51E-5	9.19E-6
Photochemical smog	Pt	2.33	2.33	1.3E-8	2.53E-6	1.69E-6	1.03E-6
Ecotoxicity water chronic	Pt	984	984	9.66E-7	9.32E-6	6.21E-6	3.79E-6
Ecotoxicity water acute	Pt	957	957	4.52E-7	8.58E-6	5.72E-6	3.49E-6
Ecotoxicity soil chronic	Pt	18.6	18.6	1.43E-8	2.3E-6	1.53E-6	9.34E-7
Human toxicity air	Pt	13.1	13.1	4.96E-7	3.67E-5	2.45E-5	1.49E-5
Human toxicity water	Pt	9.9	9.9	3.02E-6	1.07E-5	7.11E-6	4.33E-6
Human toxicity soil	Pt	188	188	4.78E-6	0.000929	0.000619	0.000377
Bulk waste	Pt	0.04	0.04	x	x	x	x
Hazardous waste	Pt	0.312	0.312	x	x	x	x
Radioactive waste	Pt	x	x	x	x	x	x
Slags/ashes	Pt	0.0424	0.0424	x	x	x	x
Resources (all)	Pt	0	0	0	0	0	0

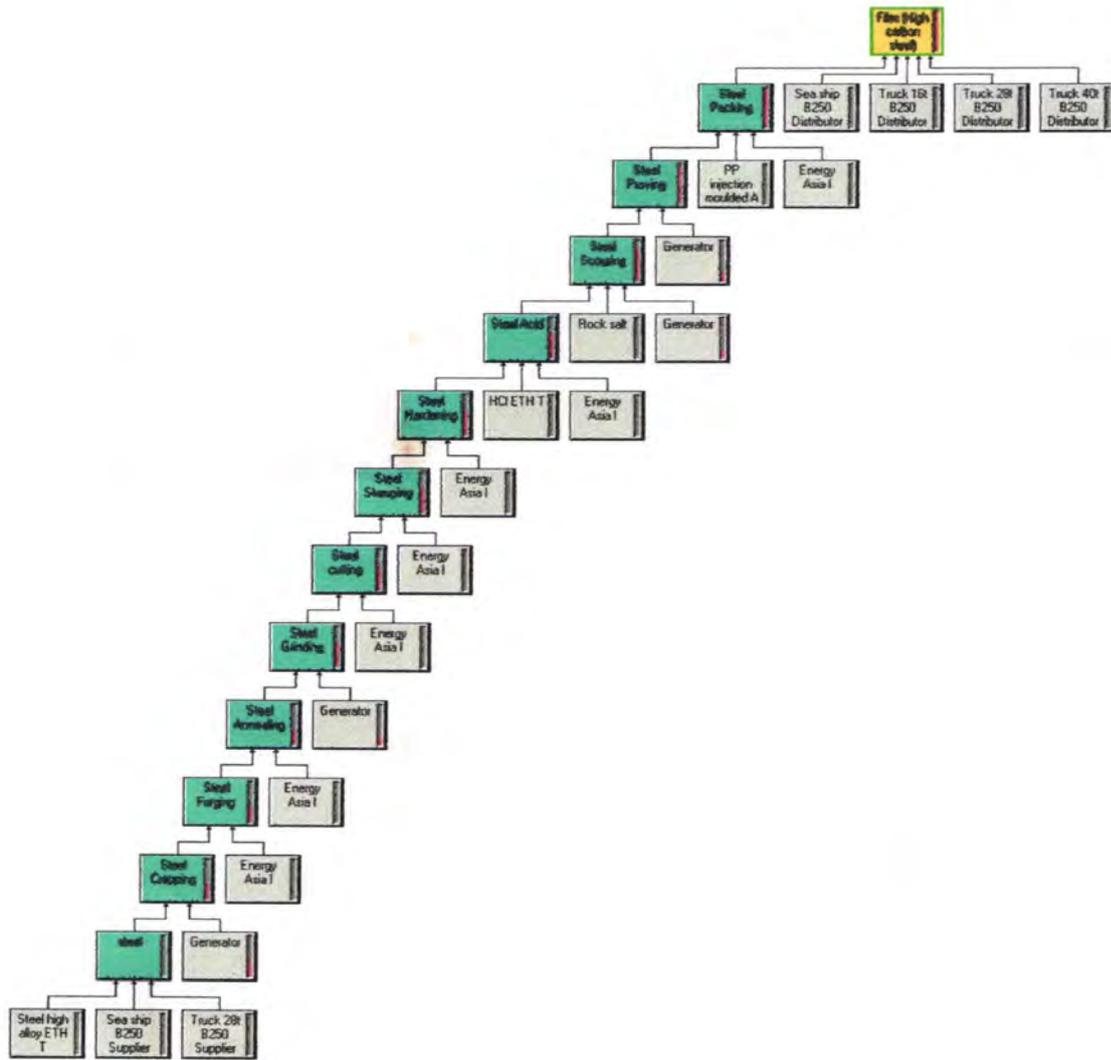
4.2.2.4 Single score

Single score adalah mengklasifikasikan semua nilai-nilai *impact category* berdasarkan proses atau sub assembly pembentuknya. Dari nilai *single score* inilah akan dapat terlihat material atau proses mana yang berkontribusi pada dampak lingkungan.

Gambar 4.7 Diagram *single score* untuk *impact assessment*

Tabel 4.5 Nilai *single score* untuk *impact assessment*

Impact category	Unit	Total	Steel Packing	Sea ship B2	Truck 18t B2	Truck 28t B2	Truck 40t B2
Total	Pt	2.27E3	2.27E3	1.3E-5	0.0011	0.000737	0.000449
Global warming (GWP 100)	Pt	35	35	1.29E-6	3.64E-5	2.42E-5	1.48E-5
Ozone depletion	Pt	20	20	4.74E-7	1.32E-5	8.8E-6	5.36E-6
Acidification	Pt	22.8	22.8	1.36E-6	3.37E-5	2.24E-5	1.37E-5
Eutrophication	Pt	14.6	14.6	1.21E-7	2.26E-5	1.51E-5	9.19E-6
Photochemical smog	Pt	2.33	2.33	1.3E-8	2.53E-6	1.69E-6	1.03E-6
Ecotoxicity water chronic	Pt	984	984	9.66E-7	9.32E-6	6.21E-6	3.79E-6
Ecotoxicity water acute	Pt	957	957	4.52E-7	8.58E-6	5.72E-6	3.49E-6
Ecotoxicity soil chronic	Pt	18.6	18.6	1.43E-8	2.3E-6	1.53E-6	9.34E-7
Human toxicity air	Pt	13.1	13.1	4.96E-7	3.67E-5	2.45E-5	1.49E-5
Human toxicity water	Pt	9.9	9.9	3.02E-6	1.07E-5	7.11E-6	4.33E-6
Human toxicity soil	Pt	188	188	4.78E-6	0.000929	0.000619	0.000377
Bulk waste	Pt	0.04	0.04	x	x	x	x
Hazardous waste	Pt	0.312	0.312	x	x	x	x
Radioactive waste	Pt	x	x	x	x	x	x
Slags/ashes	Pt	0.0424	0.0424	x	x	x	x
Resources (all)	Pt	0	0	0	0	0	0



Gambar 4.8. Tree Diagram Produk Kikir

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB V

ANALISA DAN INTERPRETASI

DATA

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB V

ANALISA DAN INTERPRETASI DATA

Pada bab V ini berisi mengenai analisa dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Adapun analisa data tersebut merupakan analisa mengenai hasil *tree diagram* dan analisa mengenai hasil *single score* dari sistem yang diamati. Setelah itu dilakukan juga analisa mengenai usulan perbaikan yang diberikan, dengan beberapa alternatif yang ada akan dicari alternatif terbaik dengan metode *ELECTRE III* menggunakan software *ELECTRE*.

5.1 Analisa *Tree Diagram* dan *Impact Assessment*

5.1.1 Analisa *Tree Diagram*

Pada analisa *Tree diagram* akan digunakan sebagai tahap awal dalam perhitungan nilai *impact*. Dimana data-data yang didapat dimasukkan melalui software SIMAPRO 5.0 yang mana nantinya pada *software* tersebut akan dikelompokkan pada *product stages* yaitu *assembly*, *lifecycle*, *disposal scenario*. Pada kelompok *assembly* memuat proses produksi dalam menghasilkan Kikir (*Files*) yang terdiri atas *cropping*, *forging*, *annealing*, *grinding*, *cutting*, *stamping*, *acid treatment*, *scouring*, *proving*, dan *packing*. Adapun pada *life cycle* terdiri dari seluruh *life cycle* produk kikir dari pemesanan bahan baku dari *supplier*, proses produksi, dan distribusi ke customer. Seperti *Tree Diagram* pada lampiran dapat dilihat bahwa pada pembuatan kikir (*Files*), kontribusi terbesar pada lingkungan terdapat pada *steel packing*, dimana dapat dilihat melalui garis merah yang ada sebagai indikator, yang dapat digunakan langsung untuk melihat kontribusi masing-masing komponen terhadap lingkungan. Adapun dilihat pada proses sebelumnya, yang menjadi kontributor terbesar adalah penggunaan generator. Generator merupakan salah satu sumber energi yang digunakan dalam proses produksi kikir (*Files*) selain menggunakan energi listrik PLN.

5.1.2 Analisa *Impact Assessment*

Untuk melihat lebih jelas komponen atau proses mana yang memberi kontribusi terbesar serta berapa nilai dampaknya tidak dapat dilihat melalui *tree diagram*, karena hanya berupa garis indikator, maka harus melalui *impact assessment*. Analisa *impact assessment* ini akan dibagi menjadi empat tahap meliputi karakterisasi, normalisasi, pembobotan dan *single score*.

5.1.2.1. Karakterisasi *impact categories*

Adapun dalam *impact assessment* dapat kita lihat hasil pada tabel 5.1 menunjukkan bahwa karakterisasi *impact category* dengan nilai terbesar untuk keseluruhan *stage* yang diamati adalah *Human Toxicity Air*, *global warming*, dan *ecotoxicity water chronic*. Ketiga *impact* tersebut disumbangkan oleh proses *steel packing* dan *truck 16t*. *Steel packing* memberi dampak sebesar $4.3E10$ m³/g pada *human toxicity air*. Hal ini disebabkan adanya pemakaian generator. Kemudian *steel packing* juga menyumbang *global warming* dan *ecotoxicity water chronic* yang juga disebabkan oleh penggunaan energi sepanjang proses produksi serta emisi yang keluar dari proses. Sedangkan *truck 16t* memberi dampak sebesar $1.2E5$ m³/g pada *human toxicity air*, 243 gCO₂ pada *global warming* dan 1.9 m³/g pada *ecotoxicity waterchronic*.

Tabel 5.1 Kontributor Utama Karakterisasi *Impact Categories*

No	<i>Environmental impact categories</i>	Proses kontributor	Score
1	<i>Human toxicity air</i>	<i>Steel packing</i>	4.3E10
		<i>Truck 16t B250</i>	1.2E5
2	<i>Global warming</i>	<i>Steel packing</i>	2.34E8
		<i>Truck 16t B250</i>	243
3	<i>Ecotoxicity water chronic</i>	<i>Steel packing</i>	2.01E8
		<i>Truck 16t</i>	1.9

5.1.2.2 Normalisasi *impact categories*

Normalisasi berarti membandingkan *impact* yang didapat dengan keadaan yang normal/umum di seluruh kategori *impact* dimana konsekuensi terhadap lingkungan *resource* dan lingkungan kerja telah diketahui. Dapat dihitung berdasarkan *inventory* pada saat seluruh aktifitas terjadi, selama beberapa periode waktu tertentu selama siklus hidup produk tersebut berlangsung. Nilai normalisasi dapat dilihat pada tabel 4.4. Secara keseluruhan, *impact* disumbangkan oleh kategori *ecotoxicity water chronic*, *ecotoxicity water acute* dan *Human toxicity soil*. Dua kategori diatas hampir sama dengan kategori karakterisasi kecuali adanya kategori *Human toxicity soil*. Hal ini karena adanya emisi terhadap tanah jika produk tersebut dibuang atau ditanam di tanah.

Tabel 5.2 Kontributor Utama Normalisasi *Impact Categories*

<i>Environmental impact categories</i>	Proses kontributor	Score
<i>Ecotoxicity water chronic</i>	<i>Steel packing</i>	428
	<i>Truck 16t</i>	4.05E-6
<i>Ecotoxicity water acute</i>	<i>Steel packing</i>	416
	<i>Truck 16t</i>	3.73E-6
<i>Human toxicity soil</i>	<i>Steel packing</i>	75.2
	<i>Truck 16t</i>	3.72E-4

5.1.2.3 Pembobotan *impact categories*

Hasil nilai bobot dari masing-masing *impact* yang diperoleh menunjukkan seberapa tinggi tingkat signifikan kebutuhan untuk mereduksi *impact* yang terjadi pada lingkungan. Dilihat pada tabel 4.5 terlihat bahwa Kikir memberi dampak terbesar pada *ecotoxicity water chronic*, *ecotoxicity water acute*, dan *human toxicity soil*. Kontributor utama untuk ketiga *impact*

category tersebut, seperti tampak pada tabel 5.3 ada pada penggunaan *steel packing* yang terjadi pada proses produksi Kikir.

Tabel 5.3 Kontributor Utama Pembobotan *Impact Categories*

No	<i>Environmental impact categories</i>	Proses kontributor	Score
1	<i>Ecotoxicity water chronic</i>	<i>Steel packing</i>	984
		<i>Truck 16t</i>	9.32E-6
2	<i>Ecotoxicity water acute</i>	<i>Steel packing</i>	987
		<i>Truck 16t</i>	8.58E-6
3	<i>Human toxicity soil</i>	<i>Steel packing</i>	188
		<i>Truck 16t</i>	9.29E-4

5.1.2.4. *Single score impact categories*

Untuk melihat bagian mana yang memberi total kontribusi terbesar dapat dilihat pada nilai *single score* yang ada di bab sebelumnya. Nilai-nilai tersebut secara sederhana dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Kontributor Utama *Single Score Impact Categories*

No.	Proses kontributor	Score
1	<i>Steel packing</i>	2.27E3
2	<i>Truck 16t B250</i>	1.1E-3
3	<i>Truck 28t B250</i>	7.37E-4
4	<i>Truck 40t B250</i>	4.49E-4
5	<i>Sea Ship B250</i>	1.3E-5
Total		2.27E3

Seperti tampak pada tabel tersebut, dapat dilihat bahwa nilai *impact* terbesar dihasilkan pada proses *Steel packing*, yang

disini menunjukkan proses dan bahan baku yang dibutuhkan dalam pembuatan Kikir.

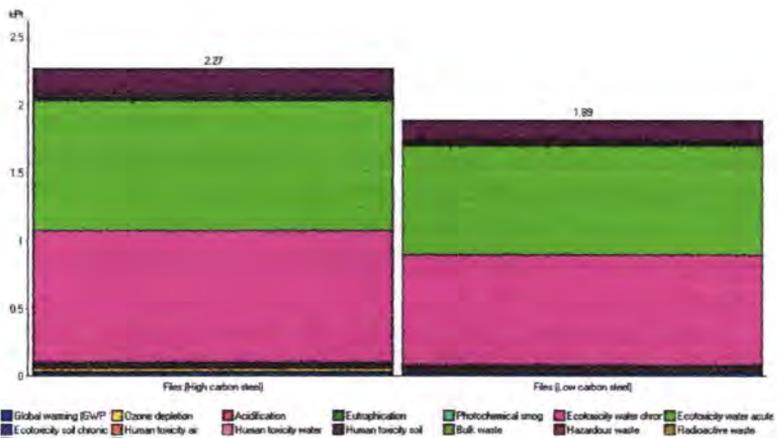
5.2 Penentuan Usulan Perbaikan

Pada nilai *single score* yang didapatkan sebelumnya memunculkan skenario-skenario dan rekomendasi perbaikan. Langkah awal dalam penentuan usulan perbaikan adalah dengan mempertimbangkan berbagai proses penyusun didalam *stage life cycle* yang mempunyai kontributor utama terhadap keseluruhan dampak yang timbul dalam sistem yang ada. Jika dilihat dari *tree diagram* diketahui bahwa yang menjadi kontributor dasar dari *life cycle* adalah penggunaan generator sebagai salah satu penghasil energi. Perusahaan tidak memungkinkan untuk mengganti generator dengan alat penghasil energi yang lainnya. Untuk itu usulan perbaikan diarahkan untuk mengganti bahan baku utama produksi Kikir. Tujuannya adalah untuk mempersingkat waktu proses produksi. Semakin singkat waktu proses produksinya maka akan semakin sedikit pula pemakaian generatormya. Usulan perbaikan ini nantinya akan menurunkan dampak secara keseluruhan. Setelah melakukan wawancara/*brainstorming* dengan bagian *metallurgy* dari pihak perusahaan maka didapat beberapa alternatif usulan perbaikan sebagai berikut:

1. Mengganti *High carbon steel bard* dengan *Low carbon steel bard*

Low carbon steel bard merupakan baja dengan kandungan karbon yang lebih sedikit daripada *high carbon steel bard*. Kandungan karbon yang dimiliki oleh baja jenis *low carbon steel bard* adalah diantara 0,15-0,30%C. (Edgar, 1966). Baja jenis ini sangat luas pemakaiannya, sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan beberapa perkakas pertukangan lainnya. Sturkturnya terdiri dari *ferrite* dan sedikit *pearlite*, sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak, tetapi keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan machining. Baja jenis *low carbon steel bard* tingkat kekerasannya lebih sedikit

daripada tingkat kekerasan yang dimiliki oleh *High carbon steel bard*. Baja jenis *low carbon steel bard* memiliki kekuatan tarik yang rendah tetapi mempunyai tingkat formabilitas dingin yang baik. *Tensile strength* yang dimiliki sebesar 79.000 psi. Sedangkan *yield strength* yang dimiliki adalah sebesar 71.000 psi.(Edgar,1966). Selain itu tingkat kekerasan baja ini dalam kondisi normal sekitar 149 BHN.(Suherman,1987). Hal ini dapat mempersingkat waktu proses produksi. Semakin tinggi tingkat kekerasan suatu baja maka semakin lama waktu yang digunakan untuk melakukan proses produksinya. *Low carbon steel bard* merupakan salah satu solusi untuk mempercepat waktu proses produksi, atas saran dari perusahaan inilah sehingga dengan melakukan alternatif 1 dapat dilihat hasil perbandingannya sebagai berikut:

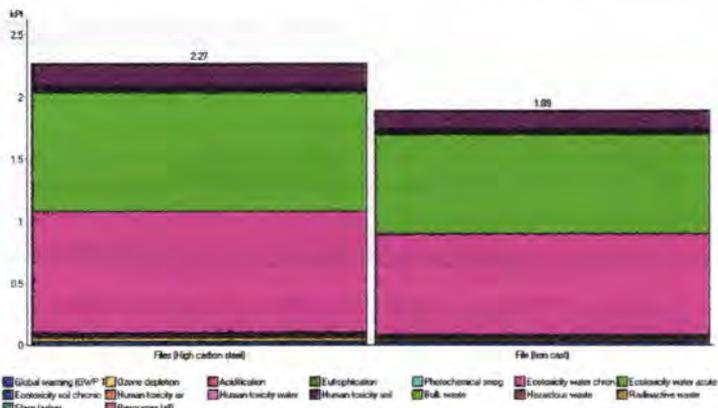


Gambar 5.1 Diagram *Single score* perbandingan pada alternatif 1

Dapat dilihat dari gambar diagram *single score* diatas, dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan alternatif 1 yaitu menggantikan *high carbon steel bard* dengan *low carbon steel bard* dapat menurunkan nilai impact yang semula pada *Files* sebesar 2.27 kPt menjadi 1.89 kPt.

2. Mengganti *High carbon steel bard* dengan *grey cast iron*

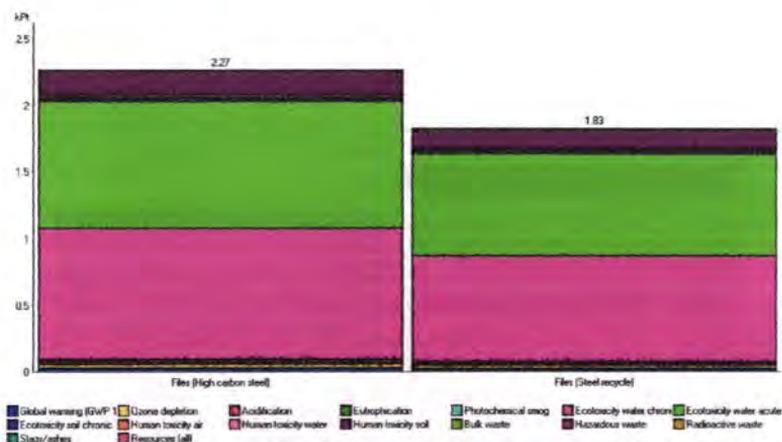
Grey cast iron atau biasa disebut dengan besi tuang kelabu adalah besi tuang yang paling banyak digunakan. Besi tuang kelabu ini pada dasarnya adalah paduan besi dan karbon juga tetapi dengan kadar karbon yang lebih tinggi, lebih dari 2 %, yang banyak digunakan biasanya antara 2,5 – 4 % C. Karbon dalam besi tuang dapat berupa sementit (Fe_3C) atau karbon bebas (grafit). (Suherman, 1987). Grafitnya berbentuk *flake* (serpih, berbentuk lempengan melengkung). *Grey cast iron* ini kekuatan tariknya tidak begitu tinggi dan keuletannya juga rendah. Logam ini jelas memiliki tingkat kekerasan yang jauh lebih kecil daripada baja. Tetapi jika ditambahkan dengan paduan nikel didalamnya akan sedikit meningkatkan tingkat kekerasannya. Kekuatan kompresi dari *cast iron* setelah ditambahkan kandungan nikelnya akan didapatkan kekuatan antara 60.000 sampai dengan 160.000 psi. Sedangkan *tensile strength*nya sebesar 25.000 sampai dengan 50.000 psi. (Edgar, 1966). Selain itu tingkat kekerasan dari besi tuang jenis ini sebesar 174 BHN. Hal ini dapat mempersingkat waktu proses produksi sehingga dapat mengurangi penggunaan generator dalam jangka waktu yang lama. Jika dibandingkan dengan *high carbon steel bard* maka didapatkan perbandingan *impact* nya sebagai berikut:



Dapat dilihat dari gambar diagram *single score* diatas, dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan alternatif 2 yaitu menggantikan *high carbon steel bard* dengan *cast iron* dapat menurunkan nilai *impact* yang semula pada *Files* sebesar 2.27 kPt menjadi 1.89 kPt.

3. Mengganti *High carbon steel bard* dengan *recycled steel*.

Sebenarnya kandungan karbon yang dimiliki oleh baja jenis ini adalah sama karena baja jenis ini merupakan peleburan kembali sisa-sisa material setelah proses produksi sebelumnya. Hanya saja terjadi perubahan struktur mikro yang ada dalam baja sehingga mengakibatkan lebih mudah diolah dari baja sebelumnya. Menurut Edgar (1966), *tensile strength* yang dimiliki baja jenis ini sebesar 82.500 psi. Sedangkan *yield strength* yang dimiliki oleh baja jenis ini sebesar 71.000 psi. Selain itu, tingkat kekerasa dari baja ini adalah sebesar 295 BHN. (Suherman, 1987). Jika dibandingkan dengan baja awal maka akan diperoleh perbandingan sebagai berikut:



Gambar 5.3 Diagram *Single score* perbandingan pada alternatif 3

Dapat dilihat dari gambar diagram *single score* diatas, dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan alternatif 3 yaitu menggantikan *high carbon steel bard* dengan *cast iron* dapat menurunkan nilai *impact* yang semula pada *Files* sebesar 2.27 kPt menjadi 1.83kPt.

Usulan perbaikan yang sudah dijelaskan, beberapa diantaranya sulit untuk dikuantifikasi karena hanya berupa metode dan konsep. Namun, perbandingan tetap dilakukan untuk beberapa usulan yang bisa dikuantifikasikan dampaknya. Perbandingan usulan dapat dilihat di tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perbandingan Alternatif Usulan Perbaikan

No.	Usulan Perbaikan	Dampak Life cycle	
		Sebelum	Sesudah
1	<i>Low carbon steel bard</i>	2.27 kPt	1.89 kPt
2	<i>Cast iron</i>	2.27 kPt	1.89 kPt
3	<i>Steel recycled</i>	2.27 kPt	1.83 kPt

5.3 Pemilihan Alternatif Dengan Metode *ELECTRE III*

Alternatif-alternatif diatas hanya diukur dari sisi pengurangan dampak. Padahal dalam kenyataannya ada pertimbangan-pertimbangan lain yang mempengaruhi pemilihan alternatif terbaik. Karena itu untuk pemilihan alternatif terbaik perlu dilakukan pembobotan kriteria-kriteria lain yang dianggap penting oleh manajemen selain pengurangan dampak. Setelah itu masing-masing alternatif akan dipilih berdasarkan kriteria tersebut, hingga didapatkan alternatif terbaik.

5.3.1 Deskripsi kriteria

Kriteria-kriteria yang akan digunakan dalam pemilihan alternatif, didapat dari proses *brainstorming* dengan pihak manajemen. Dalam hal ini diwakili oleh pihak Departemen

Produksi dan *Metallurgy*. Berdasarkan hasil dari *brainstorming* didapat kriteria seperti :

1. Harga Material

Harga Material pada kriteria ini mengenai harga pembelian awal material dari *supplier*. Harga ini didapatkan dari daftar harga-harga *raw material* yang pernah ditawarkan dari PT. Tradiron di Singapura di awal tahun produksi 2007.

2. Pengurangan dampak lingkungan

Yang dimaksud dengan pengurangan dampak lingkungan adalah sejauh mana alternatif perbaikan dapat mengurangi dampak lingkungan dari sistem *life cycle* awal. Pihak manajemen dalam hal ini melihat dari hasil perhitungan *impact assessment* yang sudah dilakukan di bagian sebelumnya.

3. Tingkat Kekerasan

Tingkat kekerasan ini digunakan sebagai salah satu kriteria dikarenakan pihak manajemen mengasumsikan kriteria ini sebagai salah satu ukuran dari kualitas produk. Tingkat kekerasan ini maksudnya adalah tingkat ukuran kekerasan akhir produk jadi. Nilai yang digunakan berdasarkan pengujian *Hardness* dengan menggunakan mesin *Hardness Testing Machine*.

4. Tingkat Kesulitan

Tingkat kesulitan maksudnya adalah mengukur seberapa besar pengaruh pergantian material dan proses produksi. Ada lima skala yang digunakan dalam pengukurannya yaitu cukup sulit, sulit, sedang, mudah, sangat mudah. Kriteria ini digunakan untuk mengetahui apakah material itu sulit apa tidak untuk diolah. Datanya didapatkan dari proses *brainstroming* dengan pihak perusahaan.

Data yang didapatkan dari ketiga alternatif dan keempat kriteria dapat digabungkan menjadi satu tabel seperti tabel dibawah ini.

Tabel 5.6. Data-data Alternatif dan Kriteria

Alternatif	Kriteria			
	Harga Material	Dampak Lingkungan	Tingkat Kekerasan	Tingkat Kesulitan
Low Carbon Steel Bard	Rp 21.573,-/Kg	1.89 kPt	149 BHN	mudah
Grey Cast Iron	Rp 6.370,-/Kg	1.89 kPt	174 BHN	sedang
Steel Recycled	Rp 31.949,-/Kg	1.83 kPt	295 BHN	sulit

5.3.2. Penilaian kriteria

Setelah dilakukan perhitungan nilai bobot untuk masing-masing kriteria dengan menggunakan standar yang diberikan pihak manajemen perusahaan, maka diperoleh nilai bobot berikut ini :

Tabel 5.7. Hasil Pembobotan Kriteria

No	Kriteria	Bobot
1	Harga Pembelian Material	0.05
2	Dampak Lingkungan	0,5
3	Tingkat Kekerasan Akhir Produk	0,35
4	Tingkat Kesulitan Proses Produksi	0,1

5.3.3. Perhitungan Bobot Alternatif

Pada penelitian ini, untuk menghitung nilai bobot dari masing-masing alternatif akan menggunakan pendekatan entropy. Langkah-langkah yang dilakukan untuk perhitungan bobot tersebut adalah sebagai berikut :

1. Normalisasi data awal dengan mengurangi tiap-tiap angka dengan nilai tertinggi pada pembobotan alternatif yaitu 5. Hasil normalisasi data awal dapat dilihat pada Lampiran III.
2. Nilai yang diperoleh dari langkah pertama (kij) dibagi dengan total nilai untuk semua alternatif yang dirumuskan dengan persamaan berikut ini :

$$a_{ij} = \frac{k_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij}} \text{ untuk } m > 1$$

dimana m : jumlah responden

n : jumlah kriteria

Hasil perhitungan a_{ij} dapat dilihat pada Lampiran IV.

3. Nilai entropy untuk tiap alternatif dirumuskan dengan :

$$E_{ij} = \left(-\frac{1}{\ln(m)} \right) \times \sum_j (a_{ij} \ln(a_{ij}))$$

Hasil perhitungan E_{ij} dapat dilihat pada Lampiran V.

4. Dispersi dari tiap alternatif dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$D_j = 1 - E_{ij}$$

Hasil perhitungan D_j dapat dilihat pada Lampiran VI.

5. Asumsi total bobot adalah 1. Maka untuk memperoleh nilai bobot untuk masing-masing alternatif harus dilakukan normalisasi nilai dispersi dengan persamaan berikut ini :

$$W_j = \frac{D_j}{\sum D_j}$$

5.3.4. Penyusunan tabel input ELECTRE III

Dari hasil nilai bobot yang diperoleh, kemudian nilai-nilai tersebut akan digunakan sebagai nilai *input* pada ELECTRE III. Nilai yang digunakan pada tabel input adalah nilai bobot dari tiap alternatif untuk masing-masing kriteria yang ada. Tabel *input multicriteria* yang digunakan dapat dilihat pada lampiran VII.

5.3.5. Perhitungan nilai *threshold*

Nilai yang digunakan untuk membandingkan tiap-tiap alternatif nantinya adalah dengan menggunakan nilai *threshold*. Dimana besarnya nilai *threshold* pada ELECTRE III adalah bergantung dari tingkat preferensi pengambil keputusan, namun untuk menghindari tingkat subjektivitas yang tinggi diperlukan perhitungan terlebih dahulu untuk memperoleh nilai *threshold* yang sesuai.

Matriks nilai absolut dapat diperoleh dengan cara berikut ini :

1. Menghitung selisih absolut untuk tiap alternatif pada setiap kriteria dengan perhitungan :

$$\text{Selisih} = |g(a_i) - g(a_j)|$$

Berikut ini adalah contoh matriks absolut untuk kriteria harga material. Untuk matriks absolut yang lain dapat dilihat pada lampiran IX.

Tabel 5.8. Matriks Absolut Kriteria Harga Material

	A1	A2	A3
A1	0		
A2	0.05736	0	
A3	0.12878	0.12878	0

2. Dari langkah pertama, dicari nilai paling maksimum dan paling minimum. Kemudian nilai maksimum dikurangkan dengan nilai yang minimum.
3. Membagi nilai yang diperoleh dari langkah kedua tersebut ke dalam beberapa kelas dengan lebar kelas yang sama.
4. Meletakkan nilai $q_j < p_j < v_j$ di batas kelas pertama, kedua dan ketiga.

Berikut ini adalah nilai *threshold* yang diperoleh dari masing-masing kriteria yang ada setelah melalui langkah-langkah perhitungan diatas :

Tabel 5.9. Nilai *Threshold* Tiap Kriteria

No	Kriteria	Q	p	V
1	Harga Material	0.184273	0.296547	0.44482
2	Dampak Lingkungan	0.0046	0.092007	0.13801
3	Tingkat Kekerasan	0.046003	0.092007	0.13801
4	Tingkat Kesulitan	0.008037	0.016073	0.02411

Sebelum memasukkan nilai *threshold* yang diperoleh dari perhitungan, terlebih dahulu ditentukan jenis perangkingan yang ingin diperoleh, yaitu *direct* dan *inverse*. *Direct* merupakan perangkingan alternatif dari yang terbaik sampai terburuk sedangkan *inverse* adalah perangkingan alternatif dari yang terburuk sampai terbaik. Pada penelitian tugas akhir kali ini akan digunakan perangkingan alternatif dengan perangkingan *direct*. Nantinya, pada saat memasukkan nilai *threshold* sebagai nilai inputan, nilai tersebut akan dibagi menjadi dua macam *threshold*, yaitu *threshold* α dan *threshold* β . Pada ELECTRE III perhitungan nilai *threshold* adalah dengan perhitungan $\alpha * g(a) + \beta$, dimana $g(a)$ adalah nilai performansi kriteria. Sehingga apabila nilai *threshold* menjadi nilai α dan $\beta=0$ maka akan dihitung secara linier, bila menjadi nilai β dan $\alpha=0$ maka nilainya akan konstan. Nilai yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai *threshold* yang bergerak secara linier supaya dapat disesuaikan dengan nilai performasinya.

5.3.6. Perhitungan nilai *concordance*

Penentuan nilai *concordance* dan *discordance* ini adalah bertujuan untuk mengukur nilai kepuasan untuk memilih alternatif a daripada memilih alternatif b. Nilai *concordance* ini adalah berkisar antara 0 sampai dengan 1, dan semakin besar nilai *concordance* yang muncul berarti alternatif tersebut lebih disukai.

Nilai *concordance* ini dinyatakan dengan c_j yang dihitung dari perbandingan alternatif a dan b pada kriteria j. Berikut ini adalah perbedaan yang muncul dari hasil perankingan yang nantinya muncul dari hasil perhitungan nilai *concordance* :

- Jika performansi alternatif a lebih besar atau sama dengan alternatif b atau performansi alternatif a lebih kecil atau sama dengan alternatif b tetapi a indifference b maka $c_j(a,b) = 1$
- Jika alternatif b lebih lemah dari alternatif a, maka $c_j(a,b)$ menyatakan interpolasi dan berada pada nilai 0 sampai dengan 1
- Jika alternatif b lebih kuat dari alternatif a maka $c_j(a,b) = 0$

Berikut ini adalah perhitungan nilai *concordance* dari masing-masing alternatif material pengganti produksi Kikir yang diperoleh dari hasil pengolahan dengan menggunakan software ELECTRE III :

Tabel 5.10. Nilai *Concordance*

	A0001	A0002	A0003
A0001	1	1	0.55
A0002	0.72	1	0.55
A0003	0.95	1	1

5.3.7. Penentuan matriks *outranking*

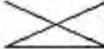
Penentuan matriks *outranking* ini adalah untuk mengetahui hubungan *outranking* antara alternatif satu dengan yang lain. Hubungan ini dapat menyatakan indifference (I), preference (P) atau incomparable (R). Hubungan *outranking* dari tiap alternatif ini memiliki empat macam hubungan yang didefinisikan sebagai berikut :

- Jika a lebih disukai dari b, maka hubungan alternatif ini pada baris alternatif a dan kolom b disimbolkan dengan P

- Jika a sama dengan b maka disimbolkan dengan I
- Jika a tidak lebih disukai dari b maka disimbolkan dengan P
- Jika a tidak dapat dibandingkan dengan b maka disimbolkan dengan R

Hubungan outranking ini disusun berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada *concordance* global dan *discordance*, maka kemudian dinyatakan dengan nilai sebagai berikut :

Tabel 5.11. Matriks *Rangking*

	A0001	A0002	A0003
A0001	I	P	P
A0002	P	I	P
A0003	P	P	I

5.3.8. Rangking Alternatif Pemilihan Material

Dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan, maka hasil akhir yang diperoleh adalah rangking alternatif sebagai urutan dalam prioritas pemilihan alternatif material pengganti untuk meminimasi dampak lingkungan. Berikut ini adalah hasil perankingan yang diperoleh dari software ELECTRE III :



Gambar 5.4. Hasil Perankingan dari *Software ELECTRE III*

Berdasarkan hasil perankingan dengan menggunakan bantuan *software ELECTRE III* dapat diketahui bahwasannya alternatif 1 yaitu *low carbon steel bard* menduduki peringkat pertama. Artinya alternatif 1 dapat dijadikan material pengganti pertama untuk menggantikan material *high carbon steel bard*. Rangkaing 2 diduduki oleh alternatif 3 yaitu *steel recycled* artinya alternatif 3 dapat menjadi alternatif pengganti setelah alternatif 1. sedangkan alternatif 2 yaitu *grey cast iron* menduduki rangkaing 3, artinya alternatif 2 dapat dijadikan alternatif pengganti setelah alternatif 1 dan alternatif 3 sudah dijalankan.

5.4. Analisa Sensitivitas

Tujuan dari analisa sensitivitas adalah untuk mengurangi subyektivitas yang tinggi dalam pemilihan nilai *threshold*. Maka, untuk meminimasi hal ini harus membuat analisa sensitivitas terhadap perubahan parameter keputusan untuk mengetahui seberapa sensitif solusi yang dihasilkan. Atau dengan kata lain, perubahan parameter yang ada akan dapat mengubah hasil, dan jika hasil berubah, seberapa jauh perubahannya.

Analisa sensitivitas yang dilakukan pada penelitian ini terbagi atas dua tahapan antara lain:

1. Merubah nilai *threshold* awal, bertujuan untuk mencari nilai *threshold* terbaik karena selama ini pemakaian nilai parameter diatas masih menggunakan asumsi. Hasil dari tahap ini berupa nilai kriteria yang paling kritis.
2. Merubah bobot dari kriteria yang kritis. Ini dilakukan untuk mengetahui seberapa kritis kriteria tersebut terhadap kriteria lainnya.

5.4.1. Analisa Sensitivitas *Threshold*

Untuk merubah nilai *threshold* ini tetap menggunakan pengkelasan yang dilakukan pada variasi nilai terhadap ketiga parameter (q_j , p_j , dan v_j), sedangkan bobot tidak berubah (tetap). Perubahan nilai ketiga parameter ini dengan melebarkan pengkelasan yang dilakukan satu persatu pada tiap kriteria.

Tabel 5.12. Analisa Sensitivitas *Threshold*

Kriteria	Nilai threshold awal			Nilai threshold baru			Keterangan	Urutan Rangking
	q	p	v	q	p	v		
1	0.184	0.297	0.445	0.284	0.397	0.545	Naik 0.1	A3-A1-A2
				0.234	0.347	0.495	Naik 0.05	A3-A1-A2
				0.209	0.322	0.47	Naik 0.025	A3-A1-A2
				0.084	0.197	0.345	Turun 0.1	A3-A1-A2
				0.134	0.247	0.395	Turun 0.05	A3-A1-A2
				0.159	0.272	0.42	Turun 0.025	A3-A1-A2
2	0.0046	0.092	0.138	0.1046	0.192	0.238	Naik 0.1	A3-A1-A2
				0.0546	0.142	0.188	Naik 0.05	A3-A1-A2
				0.0296	0.117	0.163	Naik 0.025	A3-A1-A2
				-0.0954	-0.008	0.038	Turun 0.1	A3-A1-A2
				-0.0454	0.042	0.088	Turun 0.05	A3-A1-A2
				-0.0204	0.067	0.113	Turun 0.025	A3-A1-A2
3	0.046	0.092	0.138	0.146	0.192	0.238	Naik 0.1	A3-A1-A2
				0.096	0.142	0.188	Naik 0.05	A3-A1-A2
				0.071	0.117	0.163	Naik 0.025	A3-A1-A2
				-0.054	-0.008	0.038	Turun 0.1	A3-A1-A2
				-0.004	0.042	0.088	Turun 0.05	A3-A1-A2
				0.021	0.067	0.113	Turun 0.025	A3-A1-A2
4	0.008	0.016	0.024	0.108	0.116	0.124	Naik 0.1	A3-A1-A2
				0.058	0.066	0.074	Naik 0.05	A3-A1-A2
				0.033	0.041	0.049	Naik 0.025	A3-A1-A2
				-0.092	-0.084	-0.076	Turun 0.1	A3-A1-A2
				-0.042	-0.034	-0.026	Turun 0.05	A3-A1-A2
				-0.017	-0.009	-0.001	Turun 0.025	A3-A1-A2

5.4.2. Analisa Sensitivitas Bobot

Dalam merubah bobot ini dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan bobot. Disini peneliti melakukan analisa sensitivitas bobot dengan beberapa ketentuan yaitu:

1. Analisa sensitivitas bobot untuk bobot terkecil/terburuk.
Disini membandingkan tiap kriteria dengan kriteria yang memiliki bobot terburuk. Jika bobot suatu kriteria diperbesar rangnya maka besarnya penambahan range tersebut diambilkan dari kriteria terburuk yaitu kriteria yang memiliki bobot terkecil, begitu juga sebaliknya jika bobot suatu kriteria diperkecil rangnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah bobot terburuk berpengaruh dalam perubahan urutan perangkingan ini.
2. Analisa sensitivitas bobot untuk bobot terbesar/terbaik.
Disini membandingkan tiap kriteria dengan kriteria yang memiliki bobot terbaik. Namun, bobot suatu kriteria diperbesar rangnya maka besarnya penambahan range tersebut diambilkan dari kriteria terbaik yaitu kriteria yang memiliki bobot terbesar dan jika masih kurang diambilkan dari kriteria terburuk, begitu juga sebaliknya jika bobot suatu kriteria diperkecil rangnya. Pengambilan range pada kriteria dengan bobot terburuk jika besarnya range belum mencukupi dari penambahan range suatu kriteria ini diasumsikan bahwa kriteria dengan bobot terburuk tersebut tidak akan mempengaruhi perubahan urutan alternatif atau dengan kata lainnya pengaruhnya sangat kecil sehingga tidak akan merubah urutan alternatif.
3. Analisa sensitivitas bobot dengan bobot kriteria harga material tetap.
Pada tahap ini peneliti membandingkan tiap kriteria dengan kriteria yang memiliki bobot sebesar 0.05. diambilnya kriteria ini untuk mengetahui apakah kriteria ini yang menyebabkan urutan alternatif material dari yang terbaik hingga terburuk yang ada menjadi A3 – A1 – A2.

seperti pada tahap analisa sensitivitas sebelumnya, bobot suatu kriteria diperbesar rangnya dan besarnya penambahan range tersebut diambilkan dari tiap-tiap kriteria dengan besar yang sama begitu juga sebaliknya jika bobot suatu kriteria diperkecil rangnya.

Hasil analisa sensitivitas bobot dapat dilihat pada tabel 5.13. Dari analisa sensitivitas bobot diketahui bahwa bagaimanapun nilai bobot itu diturunkan ataupun dinaikkan hasilnya tetap menunjukkan rangking 1 tetap diduduki oleh Alternatif 3 yaitu *steel recycled*. Sedangkan rangking 2 diduduki oleh Alternatif 1 yaitu *low carbon steel bard*. Dan rangking 3 tetap diduduki oleh Alternatif 2 yaitu *grey cast iron*. Hal ini menunjukkan bahwa pembobotan yang dilakukan sudah akurat.

Tabel 5.13 Analisa Sensitivitas Bobot

Kriteria	Pasangan Kriteria	Bobot Awal	Bobot P_Kriteria	Bobot Meningkat		Bobot Menurun		Urutan Perangkingan
				Kriteria	Pas_Kriteria	Kriteria	Pas_Kriteria	
1	2	0.05	0.5	0.1	0.45	0.045	0.55	A3 - A1 - A2
	2			0.15	0.4	0.04	0.6	
	2			0.2	0.35	0.035	0.65	
	2			0.25	0.3	0.03	0.7	
1	3	0.05	0.35	0.1	0.3	0.045	0.4	A3 - A1 - A2
	3			0.15	0.25	0.04	0.35	
	3			0.2	0.2	0.035	0.3	
	3			0.25	0.15	0.03	0.25	
1	4	0.05	0.1	0.06	0.09	0.04	0.11	A3 - A1 - A2
	4			0.07	0.08	0.03	0.12	
	4			0.08	0.07	0.02	0.13	
	4			0.09	0.06	0.01	0.14	
2	3	0.5	0.35	0.55	0.3	0.45	0.4	A3 - A1 - A2
	3			0.6	0.25	0.4	0.35	
	3			0.65	0.2	0.35	0.3	
	3			0.7	0.15	0.3	0.25	
2	4	0.5	0.1	0.51	0.09	0.49	0.11	A3 - A1 - A2
	4			0.52	0.08	0.48	0.12	
	4			0.53	0.07	0.47	0.13	
	4			0.54	0.06	0.46	0.14	
3	4	0.35	0.1	0.36	0.09	0.34	0.11	A3 - A1 - A2
	4			0.37	0.08	0.33	0.12	
	4			0.38	0.07	0.32	0.13	
	4			0.39	0.06	0.31	0.14	

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengolahan dan analisa data dapat ditarik kesimpulan sebagai solusi dari permasalahan untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada akhir kesimpulan yang telah dibuat dapat menjadi masukan bagi penelitian *life cycle assessment* selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

1. Performansi produk Kikir (*Files*) memberikan 2,27E3 kiloPart untuk *steel packing*, 1,1E-3 kiloPart untuk penggunaan transportasi truk 16 ton, 7,37E-4 untuk penggunaan transportasi truk 28 ton, 4,49E-4 untuk penggunaan transportasi truk 40 ton, dan 1,3E-5 kiloPart untuk penggunaan *seaship*. Nilai performansi ini menunjukkan seberapa besar *impact* yang disumbangkan ke lingkungan dengan karakterisasi dan kategori yang terdefiniskan dalam *environmental impact assessment* menggunakan metode EDIP dengan bantuan *software* SIMAPRO 5.0.
2. Dampak terbesar yang disumbangkan oleh *life cycle* produk Kikir (*Files*) berupa *impact category: Global warming*.
3. Kontributor utama dalam *life cycle* produk Kikir (*Files*) adalah pada penggunaan generator.
4. Berdasarkan hasil evaluasi *life cycle* dapat disusun beberapa alternatif perbaikan untuk menurunkan dampak lingkungan yaitu :
 - Alternatif penggantian material awal menjadi *low carbon steel bard*.
 - Alternatif penggantian material awal menjadi *grey cast iron*.
 - Alternatif penggunaan *steel recycled*.

5. Dari usulan alternatif perbaikan yang sudah ditentukan selanjutnya dipilih dengan metode ELECTRE III dengan kriteria-kriteria seperti harga material awal, pengurangan dampak lingkungan, tingkat kekerasan produk akhir, dan tingkat kesulitan proses produksi.
6. Berdasarkan nilai pembobotan yang diinginkan oleh pihak manajemen perusahaan maka kriteria pengurangan dampak lingkungan mempunyai nilai bobot terbesar yaitu 0.5. Nilai bobot terbesar selanjutnya oleh tingkat kekerasan produk akhir, tingkat kesulitan proses produksi dan harga pembelian material.
7. Berdasarkan pemilihan alternatif dengan metode ELECTRE III maka diperoleh urutan perangkaian yaitu rangking pertama diduduki oleh *steel recycled*, rangking kedua oleh *low carbon steel bard*, dan rangking ketiga diduduki oleh *grey cast iron*.

6.2 Saran

Dari penelitian ini dapat diberikan saran yang diharapkan bermanfaat bagi penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai LCA untuk produk-produk dan material lain untuk membangun database inventory Indonesia. Sehingga akan diperoleh LCA yang benar-benar detail dan sesuai dengan kondisi di Indonesia.
2. Perhitungan mengenai faktor-faktor tak terduga selama penyusunan LCI seperti adanya kerusakan mesin dan gangguan produksi atau bahan baku perlu dianalisa lebih jauh.
3. Saran bagi pengambil keputusan adalah untuk lebih memperhatikan kriteria-kriteria yang ada agar pelaksanaan usulan perbaikan benar-benar optimal.

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



DAFTAR PUSTAKA

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Daftar Pustaka

- Adiperdana, Angga. 2006. "Implementasi Pendekatan Multi Criteria - AHP Untuk Analisis Lingkungan Pada Supply Chain Produk Pupuk Npk Kebomas / Phonska di PT. Petrokimia Gresik". **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Azapagic, A. Clift, R. 1999. "The application of life cycle assessment to process optimization". **International journal of computers and chemical engineering**, pp. 1509-1526
- Bank Dunia .2003. **Pemantauan Lingkungan Indonesia 2003 : Fokus Utama Mengurangi Polusi di Indonesia**. <URL:[http://siteresources.worldbank.org/INTEASTASIA/PACIFIC/Resourses/Indonesia-03-\(Bahasa\)>](http://siteresources.worldbank.org/INTEASTASIA/PACIFIC/Resourses/Indonesia-03-(Bahasa)>)
- Buchanon, John.1999.**Project Ranking Using Electre III**. New zealand.
- Ciptomulyono, Udisubakti.1998. **Materi Instrument ekonomi lingkungan**. Surabaya
- Ciptomulyono, Udisubakti.2000. "Pengembangan optimasi keputusan multi kriteria atau MCDM (multi criteria decision making) untuk evaluasi dan pemilihan proyek". **Laporan penelitian proyek DUELIKE**. Surabaya.
- Curran, MA .1996. **Environmental Life Cycle Assessment**. New York: McGraw-Hill.
- Edgar, C. 1966. **Fundamental of Manufacturing Process and Materials**. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts.
- Graedel, T.A., B.R. Allenby., and P.R. Comrie. 1995. "Matrix Approaches to Abridged Life Cycle Assessment". **Environmental Science and Technology**,. 29(3):134-139A.

- Hajar, Dewi. 2005. "Analisis Life Cycle Assessment untuk perbaikan kinerja lingkungan di PT. Matsushita Lighting Indonesia (studi kasus Fluorescent lamp 20 watt)". **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Hascaryo, Sri. 2006. "Penerapan Life Cycle Assessment Melalui Pendekatan Analytical Hierarchy Process Dan Benefit Cost Ratio Pada Produk Kertas Di PT. Adiprima Supranita". **Tugas Akhir**. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Huang, Chien-Chung and Hwong-wen Ma. 2003. "A multidimensional environmental evaluation of packaging materials". **Journal of Science of Total Environment**.
- Hwang, C.L, Ming, J.L. 1986. **Multiple Objective Decision Making and Multi Criteria Decision Making: State of The Art**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Indradyanti, Rr, Marina. 2001. "Aplikasi Model Multi Kriteria ELECTRE III Untuk Perangkingan Promosi Investasi Industri Manufaktur di Jawa Timur". **Tugas akhir**. Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Lamsade. 1994. **Manual book of software ELECTRE III-IV**. Université Paris -Dauphine, Place du maréchal de lattré de tassigny, Paris-France.
- Maystre, L.Y, Pictet, J.Simos, J. 1994. "Methods multicriteres ELECTRE: Description, conseils pratiques et cas á la gestion environnementale". Presses Polytechniques et Universitaire Romandes. Lausanne.
- Racmafirdiani, Indriana. 2002. "Pemilihan Industri Pengolahan Potensial Dan Perancangan Strategi Pengembangan Industri Di Jawa Timur Selatan Dengan Menggunakan Metode ELECTRE III dan CSSF". **Tugas Akhir** .

- Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sen, Pratyush, YZang, Jian-Bo. 1998. **Multiple Criteria Decision support in engineering design**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Suherman, W. 1987. **Ilmu Logam**. Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Suherman, W. 1987. **Pengetahuan Bahan**. Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Svoboda, Susan. 1995. Note on Life Cycle Analysis, National Pollution Prevention Center for Higher Education, University of Michigan, Michigan.
- Tabucanon, Mario, T. 1996. **Assessing Sustainability of industries Through Total Impact Assessment: A Case of Carpet Prouction in Nepal**. Bangkok, Thailand
- Tabucanon, Mario, T. 1988. **Multiple criteria Decision Making In Industry**. Elsevier Science Publisher BV. Amsterdam.
- Tripurwanto, Andie. 2000. **Perangkat Manajemen Lingkungan**.
<URL :<http://Tripurwantotri.tripod.com/jurnal/book-1.htm>>
- Wang, Xiaoting, Triantaphyllou, E. 2006. "Ranking Irregularities When Evaluating Alternatives by Using Some ELECTRE Methods". **Omega**, Vol x, No.x, pp.xxx-xxx

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

LAMPIRAN



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Lampiran I

Tabel Bahan Baku Produksi

No	Bahan Baku/ Bahan Penunjang	Kapasitas /Tahun	Bentuk Fisik	Sifat Bahan	Asal Bahan	Penyimpanan
1	High Carbon Steel Bard	1.380.000 kg	padat	-	Import	Gudang
2	Batu Gerinda	3.240 biji	padat	-	Import	Gudang
3	Pahat	16.800 biji	padat	-	Import	Gudang
4	Hardening Salts	56.400 kg	Powder	-	Import	Gudang
5	Oli Anti Karat	600 kg	Cair	-	Import	Gudang
6	Oli Pendingin	600 kg	Cair	-	Lokal	Gudang
7	Asam Clorida (HCL)	600 kg	Cair	-	Lokal	Gudang

Lampiran II

Tabel Distributor Produk Kikir

No	Nama Perusahaan Konsumen	Kota	Jumlah Pengiriman		Transportasi	
			Ton /Kirim	Kirim /tahun	Jarak (km)	Jenis
1	UD. ADA	Surabaya	36	24	8	Truck
2	Sinar Harapan	Semarang	12	24	260	Truck
3	TB. Gobind	Jakarta	24	24	668	Truck
4	AJBS	Surabaya	36	24	8	Truck
5	Tanaya	Semarang	36	24	260	Truck
6	Stanley	Singapore	312	12	1380, 9	Ship, Truck
7	Yamaguchi	Jepang	96	12	4602,11	Ship, Truck
8	Titanco	Thailand	144	12	2242,12	Ship, Truck
9	ISC	Pakistan	420	12	4956,13	Ship, Truck
10	Top Cular	Turkiye	300	12	7670,10	Ship, Truck
11	FFC	USA	72	12	11623,13	Ship, Truck
12	ST Egydejer	Austria	96	12	9558,10	Ship, Truck

Tabel Supplier Material Bahan Baku

No	Bahan Baku	Fungsi	Supplier		Jumlah Pengiriman		Transportasi	
			Nama	Kota	Ton /Kirim	Kirim /tahun	Jarak (km)	Jenis
1	Steel (Grade W2)	Kikir	Tradiron	Singapore	240	48	1380,11	Ship Truck
2	Steel (Grade M2)	Drills	Jiangsi Heye	China China	54 67.2	36 36	3009,23 3009,24	Ship Truck

Tabel Peralatan Produksi

No	Jenis Alat	Jumlah	Negara pembuat	Energi Penggerak	Cemaran
1	Milling Machine with Deviding Heat	1	India	Electric	Panas
2	Drilling Machine	1	India	Electric	Limbah Padat
3	Surface Grinder	1	India	Electric	Debu
4	Tool Test Grinder	1	India	Electric	Debu
5	Welding Machine	1	Indonesia	Electric	Panas
6	Pallet Cart	1	India	Electric	-
7	Snapping Machine	1	India	Electric	-
8	Bench Grinder	1	India	Electric	Limbah Cair
9	Electric Overhead	1	India	Electric	-
10	Mechanical Pallet Truck	1	India	Manual	-
11	Portable Drilling Machine	1	India	Electric	-
12	Hand Grinder	1	India	Electric	Debu
13	Washing & Finishing T	1	India	Electric	Limbah Cair
14	Microscope	2	India	Electric	-
15	Cut off & Polishing M	2	India	Electric	Limbah Padat
16	Babelite Moulding P	1	India	Electric	-
17	Endurance Testing M	1	India	Electric	Limbah Padat
18	Hardness Testing M	1	India	Manual	-
19	Compressor	2	Indonesia	Electric	Bising
20	Air Receiver	1	India	Electric	-
21	Acid Treatment Tank	1	Indonesia	Electric	Limbah Cair
22	Other Accessories		India	Electric	-
23	Generator MWM/TBD	2	China	Engine	Bising

Tabel Penggunaan Bahan Baku

NO	Proses	Material	Jumlah / Volume Penggunaan Material	Unit
1	Cropping	Steel (Grade W2)	1.380.000	kg
2	Forging	Steel (Grade W2)	1.380.000	kg
3	Annealing	Steel (Grade W2)	1.380.000	kg
4	Grinding	Steel (Grade W2)	1.380.000	kg
5	Cutting	Steel (Grade W2)	1.379.900	kg
6	Stamping	Steel (Grade W2)	1.379.700	kg
7	Hardening	Steel (Grade W2)	1.379.700	kg
8	Scouring	Steel (Grade W2)	1.379.700	kg
9	Proving	Steel (Grade W2)	1.397.700	kg

Tabel Emisi

No	Emisi	Jumlah	Unit
1	Karbon Monoksida (CO)	2.0976	ppm
2	Oksida Nitrogen (NO2)	1.2528	ppm
3	Sulfur Dioksida (SO2)	0.0132	ppm
4	Hidrogen Sulfida (H2S)	0.0024	ppm
5	Amonia (NH3)	0.4704	ppm
6	Oksidan (O3)	0.3552	ppm
7	Timah Hitam (Pb)	0.00108	mg/m3
8	Debu	0.9432	mg/m3

Tabel Penggunaan Energi

No	Proses Produksi	Listrik (Kwh)	Natural Gas (m3)
1	Cropping	2880	-
2	Forging	7200	-
3	Annealing	5760	300
4	Grinding	1440	-
5	Cutting	7200	-
6	Stamping	4320	-
7	Hardening	2880	-
8	Acid treatment	576	-
9	Scouring	1440	-
10	Proving	1440	-
11	Packing	576	-

Generator

Lampiran III

Tabel Normalisasi untuk Kriteria Harga Material

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	-1	-4	0	-5

Tabel Normalisasi untuk Kriteria Dampak Lingkungan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0	0	-4	-4

Tabel Normalisasi untuk Kriteria Tingkat Kekerasan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	-4	-3	0	-7

Tabel Normalisasi untuk Kriteria Tingkat Kesulitan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	-3	-1	-2	-6



Lampiran IV

Tabel Perhitungan a_{ij} untuk Kriteria Harga Material

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.2	0.8	0	1

Tabel Perhitungan a_{ij} untuk Kriteria Dampak Lingkungan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0	0	1	1

Tabel Perhitungan a_{ij} untuk Kriteria Tingkat Kekerasan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.571429	0.428571	0	1

Tabel Perhitungan a_{ij} untuk Kriteria Tingkat Kesulitan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.5	0.166667	0.333333	1

Lampiran V

Tabel Perhitungan e_{ij} untuk Kriteria Harga Material

Responden	Alternatif		
	A1	A2	A3
1	-0.32189	-0.17851	0
$\Sigma(a_{ij} \times \ln a_{ij})$	-0.32189	-0.17851	0
E_{ij}	0.32189	0.17851	0

Tabel Perhitungan e_{ij} untuk Kriteria Dampak Lingkungan

Responden	Alternatif		
	A1	A2	A3
1	0	0	0
$\Sigma(a_{ij} \times \ln a_{ij})$	0	0	0
E_{ij}	0.00000	0.00000	0

Tabel Perhitungan e_{ij} untuk Kriteria Tingkat Kekerasan

Responden	Alternatif		
	A1	A2	A3
1	-0.31978	-0.36313	0
$\Sigma(a_{ij} \times \ln a_{ij})$	-0.31978	-0.36313	0
E_{ij}	0.31978	0.36313	0

Tabel Perhitungan e_{ij} untuk Kriteria Tingkat Kesulitan

Responden	Alternatif		
	A1	A2	A3
1	-0.34657	-0.29863	-0.3662
$\Sigma(a_{ij} \times \ln a_{ij})$	-0.34657	-0.29863	-0.3662
E_{ij}	0.34657	0.29863	0.366204

Lampiran VI

Tabel Perhitungan d_{ij} untuk Kriteria Harga Material

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.67811	0.82149	1.00000	2.499598

Tabel Perhitungan d_{ij} untuk Kriteria Dampak Lingkungan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	1.00000	1.00000	1.00000	3

Tabel Perhitungan d_{ij} untuk Kriteria Tingkat Kekerasan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.68022	0.63687	1.00000	2.317092

Tabel Perhitungan d_{ij} untuk Kriteria Tingkat Kesulitan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.65343	0.70137	0.63380	1.988596

Lampiran VII

Tabel Perhitungan Bobot untuk Kriteria Harga Material

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.27129	0.32865	0.40006	1

Tabel Perhitungan Bobot untuk Kriteria Dampak Lingkungan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.33333	0.33333	0.33333	1

Tabel Perhitungan Bobot untuk Kriteria Tingkat Kekerasan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.29357	0.27486	0.43158	1

Tabel Perhitungan Bobot untuk Kriteria Tingkat Kesulitan

Responden	Alternatif			Total
	A1	A2	A3	
1	0.32859	0.35270	0.31872	1

Lampiran VIII

Tabel Input *Software ELECTRE III*

	Cr01	Cr02	Cr03	Cr04
A0001	0.271	0.333	0.294	0.329
A0002	0.329	0.333	0.275	0.353
A0003	0.4	0.333	0.432	0.319

Lampiran IX

Tabel Matriks Absolut untuk Kriteria Harga Material

	A1	A2	A3
A1	0		
A2	0.05736	0	
A3	0.12878	0.12878	0

Tabel Matriks Absolut untuk Kriteria Dampak Lingkungan

	A1	A2	A3
A1	0		
A2	0.00000	0	
A3	0.00000	0.00000	0

Tabel Matriks Absolut untuk Kriteria Tingkat Kekerasan

	A1	A2	A3
A1	0		
A2	0.01871	0	
A3	0.13801	0.15672	0

Tabel Matriks Absolut untuk Kriteria Tingkat Kesulitan

	A1	A2	A3
A1	0		
A2	0.02411	0	
A3	0.00987	0.03398	0

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



BIODATA PENULIS



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Lamongan, 12 Februari 1985, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Bulutengger I, SMPN I Sekaran, SMAN 2 Lamongan. Setelah lulus dari SMAN tahun 2002, Penulis mengikuti Ujian Penerimaan Mahasiswa Baru dan diterima di jurusan Teknik Industri FTI-ITS pada tahun 2003 dan terdaftar dengan NRP. 2503109033. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar yang diadakan oleh jurusan, Staf Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Industri (HMTI) ITS dan aktif sebagai asisten Responsi Perencanaan Fasilitas.