

BAB I

PENDAHULUAN

Dalam melaksanakan penelitian diperlukan hal-hal penting yang digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaannya. Bab ini akan menjelaskan mengenai latar belakang mengapa permasalahan ini diangkat, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian yang dilakukan.

1.1 LATAR BELAKANG

Pada era globalisasi ini semakin banyak industri yang bermunculan. Industri tersebut disamping memenuhi segala kebutuhan hidup manusia, juga memberikan dampak negatif terhadap manusia akibat terjadinya pencemaran lingkungan. Seiring dengan bertambahnya industri, maka tak sedikit pula yang mulai memperhatikan isu pencemaran lingkungan. Isu pencemaran lingkungan mulai ramai dibicarakan sejak diselenggarakannya Konferensi PBB tentang Lingkungan Hidup di Stockholm, Swedia, pada tanggal 15 Juni 1972. Di Indonesia, tonggak sejarah masalah lingkungan hidup dimulai dengan diselenggarakannya Seminar Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Pembangunan Nasional oleh Universitas Pajajaran Bandung pada tanggal 15 – 18 Mei 1972.

Salah satu dampak dari aktivitas industri tersebut adalah limbah yang dihasilkan oleh perusahaan. Menurut Kepmen Perindustrian dan Perdagangan RI No.137/MPP/Kep/6/1996, limbah adalah bahan atau barang sisa atau bekas dari suatu aktivitas proses produksi yang fungsinya sudah berubah dari aslinya. Jenis limbah berdasarkan pada wujudnya dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu limbah cair, limbah padat dan limbah gas. Limbah tidak hanya dihasilkan dari aktivitas produksi perusahaan, tetapi juga dapat dihasilkan dari aktivitas *supply chain*, dimana *supply chain* tersebut mencakup proses dari hulu ke hilir yaitu proses untuk mendapatkan bahan mentah hingga pendistribusiannya ke konsumen. Limbah dan emisi yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* merupakan sumber utama masalah pencemaran lingkungan diantaranya pemanasan global dan hujan asam (Bloemhof-Ruward,1995). *Supply Chain Management* (SCM) yang berorientasi terhadap lingkungan disebut *Green Supply Chain Management* (GSCM). Dengan menerapkan GSCM diharapkan dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas *supply chain*

perusahaan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menerapkan GSCM adalah dengan menggunakan *Life Cycle Assessment (LCA)*.

LCA adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari suatu produk, proses atau aktivitas selama seluruh siklus hidup dengan mengukur penggunaan sumber daya dan emisi lingkungan yang berkaitan dengan sistem yang sedang dievaluasi. Menurut Hermawan, Marzuki, Abduh, dan Driejana (2013) ruang lingkup dari LCA yaitu *cradle to grave*, *cradle to gate*, *gate to gate*, dan *cradle to cradle*. *Cradle to grave* merupakan penilaian siklus hidup secara keseluruhan mulai dari pengambilan *raw material* dari bumi untuk membuat produk dan berakhir pada titik dimana seluruh material kembali ke bumi. *Cradle to gate* merupakan penilaian dari sebagian siklus hidup produk. *Gate to gate* merupakan ruang lingkup yang terpendek karena hanya menilai pada proses yang memiliki nilai tambah dalam aliran produksi. Dan *cradle to cradle* merupakan analisa daur hidup mulai dari *raw material* sampai pada daur ulang material.

Dalam penelitian ini, ruang lingkup yang digunakan adalah *cradle to gate*. *Cradle to gate* merupakan penilaian dari sebagian siklus hidup produk mulai dari ekstraksi sumber daya sampai produk didistribusikan ke konsumen. Pada ruang lingkup ini, fase kegunaan (*use*) dan pembuangan (*disposal*) dari produk dihilangkan. *Cradle to gate* dipilih karena berdasarkan fakta yang ada, dampak lingkungan yang terdapat di sekitar perusahaan merupakan limbah yang dihasilkan dari aktivitas internal *supply chain* perusahaan terutama pada bagian produksi. Selain itu, menurut Thom, Kraus dan Parker (2011) fase penggunaan produk merupakan fase yang sangat sulit untuk dievaluasi karena sulit untuk memprediksikan bagaimana konsumen akan menggunakannya. Sulit untuk menentukan apa yang terjadi pada produk setelah proses produksi dan pengiriman. Tidak ada cara untuk mengetahui berapa lama produk akan bertahan, atau ketika konsumen akan membuangnya. Dengan alasan ini, menggunakan LCA dengan ruang lingkup *cradle to gate* memungkinkan untuk menghasilkan hasil yang mewakili dan lebih akurat.

PT Kasin Malang merupakan produsen kulit dan merupakan salah satu pabrik tertua yang berada di Kota Malang. PT Kasin didirikan sejak tahun 1941 oleh Bapak Tan IK Wan di kawasan kampung Kasin, Kota Malang. Namun, karena adanya perluasan industri oleh pemerintah kota Malang, maka sejak April 1951 PT Kasin dipindah. Produk yang dihasilkan oleh PT Kasin adalah kulit *box* dan kulit sol. PT Kasin yang

bergerak di bidang penyamakan kulit merupakan salah satu contoh industri yang berbahaya karena menghasilkan sejumlah limbah, baik berupa limbah cair, limbah padat dan limbah gas. Dari ketiga jenis limbah tersebut, limbah cair merupakan limbah yang paling banyak dihasilkan. Industri ini menghasilkan limbah cair yang mengandung sisa bahan penyamak kimia seperti krom, kapur dan amonia dalam jumlah besar. Air buangan limbah industri penyamakan kulit umumnya mengandung kromium. Senyawa kromium (Cr) dalam limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari proses penyamakan (*tanning*), dimana dalam proses penyamakan tersebut menggunakan senyawa kromium sebesar 60%-70%. Dalam proses tersebut, tidak semua larutan kromium dapat terserap oleh kulit sehingga sisanya dikeluarkan dalam bentuk cairan sebagai limbah cair. Keberadaan kromium dengan konsentrasi yang tinggi dalam limbah cair industri penyamakan kulit tentunya dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan (Joko, 2003).

PT Kasin sebagai industri yang bergerak dibidang penyamakan kulit, dalam aktivitas *supply chain* perusahaan menghasilkan limbah yang berdampak terhadap lingkungan. Hal ini dibuktikan dengan adanya laporan warga ke DPRD Kota Malang pada 20 Januari 2014 mengenai adanya limbah yang mencemari sungai di lingkungan sekitar PT Kasin. Selain mencemari sungai, limbah PT Kasin diduga juga mencemari air sumur warga sekitar. Berdasarkan data yang didapatkan dari perusahaan, nilai BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan krom total pada limbah cair penyamakan kulit yaitu 105.55 mg/L, 180.26 mg/L dan 10.97 mg/L. Nilai baku mutu air limbah untuk penyamakan kulit yang sudah ditetapkan oleh Gubernur Jawa Timur melalui Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri atau Kegiatan Usaha Lainnya adalah 50 mg/L untuk BOD, 110 mg/L untuk COD, dan 0.6 mg/L untuk krom total. Dengan melihat nilai tersebut dapat dikatakan bahwa nilai baku mutu pada limbah cair penyamakan kulit memiliki nilai diatas ambang batas, sehingga dapat dikatakan pula bahwa limbah PT Kasin terbukti mencemari Kali Badek di Kelurahan Ciptomulyo, Kecamatan Sukun Kota Malang.

Dengan melihat permasalahan tersebut, agar dapat mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Dalam metode ini

akan menggambarkan aktivitas *supply chain* perusahaan serta menggambarkan limbah yang dihasilkan dari kegiatan *supply chain* tersebut. Dari metode ini nantinya akan menghasilkan *output* berupa proses atau aktivitas yang memiliki dampak terbesar terhadap lingkungan. Hasil tersebut akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan alternatif-alternatif perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan.

Pada penelitian ini, pemilihan alternatif dilakukan dengan menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP) untuk mengestimasi pembobotan dari tiap kriteria. ANP dipilih karena keunggulannya dalam menangkap interaksi ketergantungan dan interdependensi antar kriteria dan subkriteria. ANP memberikan kerangka baru untuk menangani permasalahan keputusan tanpa membuat asumsi independensi elemen yang lebih tinggi levelnya dari elemen yang lebih rendah, bahkan ANP menggunakan jaringan tanpa perlu menetapkan level seperti dalam hirarki. Dalam penelitian ini, alternatif akan dipilih berdasarkan analisa *Benefits Opportunities Costs and Risks* (BOCR). Keempat kriteria tersebut nantinya akan digunakan sebagai kriteria utama dalam ANP. Analisa BOCR dipilih karena mampu untuk menganalisa secara keseluruhan baik dari sisi *internal* yang berupa *benefits* dan *costs* tetapi juga dari sisi *external* berupa *opportunities* dan *risks*.

1.2 IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka identifikasi masalah yang didapat yaitu:

1. Limbah yang dihasilkan oleh PT Kasin terbukti mencemari sungai.
2. Adanya laporan warga sekitar PT Kasin pada DPRD Kota Malang terkait limbah yang mencemari sungai.

1.3 PERUMUSAN MASALAH

Dari latar belakang dan identifikasi masalah diatas, maka rumusan masalah yang didapat yaitu:

1. Limbah apa saja yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan?
2. Dampak lingkungan apa yang ditimbulkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan?
3. Proses apa yang memiliki dampak lingkungan paling besar?
4. Apa saja solusi yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan?

1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah:

1. Mengidentifikasi limbah yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan.
2. Menganalisa dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan.
3. Mengetahui proses yang paling banyak menghasilkan dampak lingkungan.
4. Mengetahui solusi yang dapat digunakan untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Melalui penelitian ini diharapkan diperoleh manfaat sebagai berikut :

1. Mengetahui proses atau aktivitas yang memiliki dampak lingkungan terbesar.
2. Memberikan saran perbaikan untuk mengurangi limbah yang dihasilkan oleh PT Kasin.
3. PT Kasin mampu membuat produk yang lebih ramah terhadap lingkungan.

1.6 BATASAN MASALAH

Adapun penelitian ini diberi batasan-batasan masalah sebagai berikut

1. Produk yang akan digunakan sebagai objek penelitian yaitu produk kulit *box*.
2. Penelitian ini menggunakan ruang lingkup *cradle to gate*.
3. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisis biaya untuk pemilihan alternatif perbaikan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan penelitian diperlukan dasar-dasar teori yang berhubungan dengan konsep-konsep permasalahan penelitian dan akan dipakai dalam analisis. Dalam bab ini akan dijelaskan beberapa dasar-dasar teori dan argumentasi yang digunakan dalam penelitian.

2.1 HASIL PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian terdahulu yang mendasari penelitian ini antara lain:

1. Purba (2013) melakukan penelitian di PT Lotus Indah Textile Industries dengan menggunakan metode LCA dan ANP. PT Lotus Indah Textile Industries merupakan perusahaan yang bergerak di Industri Tekstil, yang memproduksi produk tekstil berupa benang pintal, kain sulaman, dan kain tanpa tenun. Dalam penelitian ini dibatasi pada produk kain sulaman. Meningkatnya isu lingkungan dan *green product* menuntut setiap perusahaan menghasilkan produk yang ramah lingkungan. Pada penelitian ini akan diidentifikasi apakah produk kain sulaman memiliki kriteria ramah lingkungan dilihat dari sisi *life cycle* produk dengan menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Dari hasil LCA diketahui bahwa bagian proses *embroidery* dan pewarnaan memiliki dampak terbesar yaitu sebesar 3,34 GPT. Dari hasil LCA tersebut kemudian diusulkan dua alternatif utama untuk mengurangi dampak lingkungan pada proses *embroidery* dan pewarnaan dengan menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP). Dari hasil analisis dengan ANP tersebut ditemukan alternatif terbaik untuk mengurangi dampak lingkungan yaitu mengganti zat kimia soaping dengan alkil benzene sulfonat dan zat pendispersi dengan sodium perborat dengan bobot sebesar 0,75.
2. Hascaryo (2010) melakukan penelitian di PT Adiprima Suraprinta dengan menggunakan metode LCA dan AHP. Latar belakang dilakukannya penelitian ini adalah berkembangnya sektor industri secara pesat sehingga tidak hanya berperan terhadap pertumbuhan perekonomian, tetapi juga memberikan dampak lingkungan yang cukup signifikan seperti pencemaran limbah. Sehingga perlu adanya suatu identifikasi lingkungan dan setelah itu dapat dilakukan perbaikan pada sektor tersebut untuk mengurangi dampak lingkungan dengan memunculkan beberapa alternatif dengan didukung beberapa kriteria sehingga dalam pengambilan

keputusan akan diperoleh alternatif perbaikan yang terbaik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Life Cycle Assessment*. Dalam melakukan metode ini akan dibantu dengan menggunakan *Software SIMAPRO 5.0*, dimana ditemukan bahwa bahan kimia memberikan kontribusi sebesar 60 % dari seluruh *life cycle* pada produk kertas, dan dari bahan kimia tersebut difokuskan pada minimalisasi CaCO_3 karena memberikan kontribusi paling besar sekitar 81% dari seluruh bahan kimia. Dari usulan perbaikan terdapat tiga alternatif untuk mengurangi atau mengganti CaCO_3 . *Analytical Hierarchy Process* digunakan untuk memilih alternatif terbaik dengan beberapa kriteria pendukung, dengan dibantu dengan *software expert choice 2000* dan melalui pendekatan benefit cost ratio sebagai metode untuk menentukan rasio yang terbaik (>1) pada tiap alternatif untuk *benefit* dan *cost*-nya, dimana akan dipilih alternatif pertama yaitu mengurangi 20 % CaCO_3 dengan menambah 15 % H_2O_2 dengan *benefit cost ratio* sebesar 1.20.

3. Idawati (2009) melakukan penelitian di Gedung Kuliah Jurusan Teknik Industri ITS Surabaya. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu LCA dan LCC. Latar belakang dilakukannya penelitian ini adalah tidak berimbangnya pasokan yang dimiliki PLN (Perusahaan Listrik Negara) dengan permintaan masyarakat. Hal ini menyebabkan semua pihak berupaya meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Perhitungan efisiensi ini dilakukan dengan menghitung kalor yang ditimbulkan dari bangunan terhadap kapasitas pendinginan yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan LCC dan LCA. LCC digunakan untuk melihat efisiensi biaya dari keseluruhan *life cycle* pemakaian produk mengingat faktor biaya tidak hanya dapat dilihat dari investasi saja. LCA digunakan untuk mengkaji emisi CO_2 yang dikeluarkan dari pembakaran bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik. Biaya emisi CO_2 diperhitungkan sebagai biaya externalities yang diikutsertakan dalam perhitungan LCC. Penelitian ini menghasilkan perancangan susunan AC yang dapat mengurangi biaya operasional sebesar 31,64% dari kondisi eksisting.

Secara ringkas, perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Objek Penelitian	Metode	Hasil
Purba (2013)	PT Lotus Textile	<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> , <i>Analytical Network Process (ANP)</i>	Proses <i>embroidery</i> dan pewarnaan memiliki dampak terbesar yaitu sebesar 3,34 GPT Dan solusi yang dipilih adalah mengganti zat kimia <i>soaping</i> dengan alkil benzen sulfonat dan zat pendispersi dengan sodium perborat
Hascaryo (2010)	PT Adiprima Suraprinta	<i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> , <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i> dan BC Ratio	Alternatif yang digunakan yaitu mengurangi 20 % CaCO ₃ dengan menambah 15 % H ₂ O ₂ dengan benefit cost ratio sebesar 1.20.
Idawati (2009)	Gedung Kuliah Jurusan Teknik Industri ITS Surabaya	<i>Life Cycle Cost (LCC)</i> dan <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	Perancangan susunan AC yang dapat mengurangi biaya operasional sebesar 31,64% dari kondisi eksisting

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya, yaitu terletak pada metode pembobotan dan kriteria yang digunakan. Pada penelitian ini, untuk tahap analisis dampak lingkungan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. Dalam metode ini akan menggambarkan aktivitas *supply chain* perusahaan serta menggambarkan limbah yang dihasilkan dari kegiatan *supply chain* tersebut. Dari metode ini nantinya akan menghasilkan *output* berupa proses atau aktivitas yang memiliki dampak tertinggi terhadap lingkungan. Dari hasil tersebut, akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan alternatif-alternatif perbaikan yang digunakan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan. Untuk menentukan alternatif perbaikan tersebut, digunakan metode *Analytical Network Process (ANP)* dengan menggunakan kriteria utama *Benefits, Opportunities, Costs, and Risks (BOCR)*.

2.2 SUPPLY CHAIN DAN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Menurut Pujawan (2005) definisi dari *Supply Chain* adalah jaringan perusahaan-perusahaan yang bekerja untuk menciptakan dan menghantarkan suatu produk ke tangan pemakai akhir secara bersama-sama. Perusahaan-perusahaan tersebut biasanya pemasok, pabrik, distributor, toko atau ritel, serta perusahaan-perusahaan pendukung seperti perusahaan jasa logistik. Sedangkan menurut Chopra dan Meindl (2007) *supply chain* terdiri dari semua pihak yang terlibat baik secara langsung atau tidak langsung dalam memenuhi permintaan konsumen. *Supply chain* tidak hanya mencakup produsen dan pemasok, tetapi juga pengangkut, gudang, pengecer dan bahkan pelanggan sendiri.

Dalam setiap organisasi, seperti produsen, *supply chain* meliputi semua fungsi yang terlibat dalam menerima dan mengisi permintaan konsumen.

SCM dapat didefinisikan sebagai sekumpulan aktivitas (dalam bentuk entitas atau fasilitas) yang terlibat dalam proses transformasi dan distribusi barang mulai dari bahan baku paling awal dari alam sampai produk jadi pada konsumen akhir.

The Council of Logistics Management mendefinisikan bahwa SCM adalah sistematis, koordinasi strategis dari fungsi bisnis tradisional dalam sebuah perusahaan swasta dan menyeberangi bidang usaha dalam *Supply Chain* untuk tujuan meningkatkan kinerja jangka panjang dari perusahaan individu dan *Supply Chain* sebagai keseluruhan. Menurut Heizer dan Render (2005), definisi SCM adalah pengintegrasian aktivitas pengadaan bahan dan pelayanan, pengubahan menjadi barang setengah jadi, dan produk akhir, serta pengiriman ke pelanggan.

Dengan definisi ini tidak jarang *supply chain* juga banyak diasosiasikan dengan suatu jaringan *value adding activities*. Keunggulan kompetitif dari SCM adalah bagaimana ia mampu *manage* aliran barang atau produk dalam suatu rantai *supply*. Dengan kata lain, model SCM mengaplikasikan bagaimana suatu jaringan aktivitas produksi dan distribusi dari suatu perusahaan dapat bekerja bersama-sama untuk memenuhi tuntutan konsumen.

2.3 GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT (GSCM)

GSCM telah muncul sebagai sebuah filosofi organisasi yang penting untuk mengurangi risiko lingkungan. Dan yang menjadi perhatian khusus disini adalah bagaimana untuk meningkatkan kesadaran lingkungan organisasi dalam menggabungkan praktek manajemen lingkungan hidup ke dalam aktivitas logistik mereka (Zhu, Sarkis, Cordeiro, dan Lai, 2008).

Menurut Gilbert (2001), *green supply chain* adalah proses memasukkan kriteria lingkungan atau masalah lingkungan ke dalam keputusan pembelian dalam organisasi dan hubungan jangka panjang dengan pemasok. Sedangkan menurut Zhu dan Sarkis (2008) GSCM mencakup seperangkat praktek-praktek pengelolaan lingkungan hidup yang berguna untuk manajemen logistik dan dirancang untuk memasukkan pertimbangan lingkungan ke dalam *forward* dan *reverse* logistik. Menurut Srivastava (2007) GSCM didefinisikan sebagai mengintegrasikan pemikiran lingkungan dalam *supply chain management*, termasuk desain produk, seleksi dan sumber material, proses

produksi, pengiriman produk akhir pada konsumen serta manajemen akhir hidup produk. Contoh praktik GSCM termasuk mengurangi limbah, menilai pemasok yang didasarkan pada kinerja lingkungan, lebih mengembangkan produk dan kemasan ramah lingkungan dan mengurangi emisi karbon yang dikaitkan dengan distribusi barang (Walker, Di Sisto dan Mc Bain, 2008).

Ada tiga pendekatan yang dapat digunakan dalam *green supply chain* yaitu lingkungan, strategi, dan juga logistik. Pendekatan ini dipakai karena *green supply chain* sendiri merupakan strategi yang berhubungan dengan pertimbangan terhadap perlindungan lingkungan, kebijakan pengambilan keputusan jangka panjang dan sangat dipengaruhi oleh aktivitas pemesanan *raw material*, *material handling*, distribusi penyimpanan dan pembuangan material.

2.4 LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)

ISO 14040 mendefinisikan LCA sebagai kumpulan dan evaluasi dari *input* dan *output* serta potensi dampak lingkungan dari siklus hidup sebuah sistem produk. Menurut Curran (1996) LCA adalah suatu metode pengukuran dampak suatu produk tertentu terhadap ekosistem yang dilakukan dengan mengidentifikasi, mengukur, menganalisis, dan menakar besarnya konsumsi energi, bahan baku, emisi serta faktor-faktor lainnya yang berkaitan dengan produk tersebut sepanjang siklus hidupnya. LCA merupakan suatu tujuan dari proses yang digunakan untuk mengevaluasi beban lingkungan yang berhubungan dengan produk, dan proses atau aktivitas produksinya. LCA dilengkapi dengan identifikasi serta kuantifikasi energi dan penggunaan bahan dan juga pelepasan ke lingkungan.

Penggunaan LCA juga dapat diterapkan pada strategi bisnis perusahaan agar menghasilkan produk-produk yang ramah lingkungan (*green product*) dan melalui proses-proses yang bersih (*clean production*). LCA tidak harus mencakup keseluruhan daur hidup produk, mulai dari bahan mentah, proses, distribusi sampai pada pembuangan produk, namun dapat juga dilakukan di beberapa tahapan yang dilalui oleh produk. LCA dapat juga dilakukan di bagian-bagian tertentu dalam daur hidup yang dianggap memiliki dampak paling besar terhadap lingkungan.

LCA dapat diterapkan dalam pengembangan strategis dan pemasaran produk. Metodologi LCA telah dikembangkan secara ekstensif selama dekade terakhir ini.

Selain itu, sejumlah standar yang terkait LCA (ISO 14040-14043) dan laporan teknis telah diterbitkan dalam ISO untuk merampingkan metodologi tersebut (Curran, 1996)

LCA dapat digunakan untuk membantu strategi bisnis dalam pembuatan keputusan, untuk peningkatan kualitas produk dan proses, untuk menetapkan kriteria *eco-labelling*, dan untuk mempelajari aspek lingkungan dari suatu produk. Elemen utama dari LCA antara lain:

1. Mengidentifikasi dan mengkuantifikasikan semua bahan yang terlibat, misalnya energi dan bahan baku yang dikonsumsi, emisi dan limbah yang dihasilkan.
2. Mengevaluasi dampak yang potensial dari bahan-bahan tersebut terhadap lingkungan.
3. Mengkaji beberapa pilihan yang ada untuk menurunkan dampak tersebut.

Konsep dasar dari LCA 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-material yang diambil dari lingkungan dan *output*nya akan dibuang ke lingkungan kembali. *Input* dan *output* dari sistem industri ini tentu saja akan memberikan 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, gas) akan banyak memberi dampak negatif terhadap lingkungan.

Tujuan LCA adalah untuk membandingkan semua kemungkinan kerusakan lingkungan yang dapat diakibatkan dari suatu produk maupun proses, agar dapat dipilih produk maupun proses yang mempunyai dampak paling minimum.

Salah satu manfaat yang diperoleh dalam penerapan metode *Life Cycle Assessment* adalah membantu perusahaan untuk mengerti dampak lingkungan dari keseluruhan operasinya, barang dan jasa yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi peluang perbaikan proses di perusahaannya (Lewis and Demmers, 1996).

Kelemahan yang dimiliki LCA adalah metode ini dianggap terlalu kompleks sehingga menghabiskan waktu yang lama, serta relatif mahal dibandingkan dengan penggunaan praktisnya dalam memperbaiki kinerja lingkungan perusahaan (Lewis and Demmers, 1996)

Prosedur dari *life cycle assessment* (LCA) merupakan bagian dari ISO 14000 *environmental management standards: in ISO 14040:2006 and 14044:2006. (ISO 14044 replaced earlier versions of ISO 14041 to ISO 14043).*

2.4.1 Ruang Lingkup *Life Cycle Assessment*

Menurut Hermawan (2013), ruang lingkup dalam LCA dapat dibagi menjadi empat ruang lingkup, yaitu :

1. *Cradle to grave*

Cradle to grave merupakan penilaian siklus hidup secara keseluruhan mulai dari pengambilan *raw material* dari bumi untuk membuat produk dan berakhir pada titik dimana seluruh material kembali ke bumi. *Cradle to grave* mencakup keseluruhan dari daur hidup produk, yaitu: proses pengekstrakan, pemrosesan bahan mentah, pemanufakturan, transportasi dan distribusi, penggunaan atau penggunaan ulang, pemeliharaan, daur ulang, dan pembuangan akhir.

2. *Cradle to cradle*

Cradle to cradle merupakan bagian dari analisa daur hidup yang menunjukkan ruang lingkup dari *raw material* sampai pada daur ulang material. *Cradle to cradle* merupakan pendekatan yang lebih spesifik dari *cradle to grave*, dimana tahap pembuangan akhir dalam *cradle to grave* merupakan daur ulang dalam *cradle to cradle*.

3. *Cradle to gate*

Cradle to gate merupakan penilaian dari sebagian siklus hidup produk mulai dari ekstraksi sumber daya sampai produk didistribusikan ke konsumen. Pada ruang lingkup ini, fase kegunaan (*use*) dan pembuangan (*disposal*) dari produk dihilangkan.

4. *Gate to gate*

Gate to gate merupakan ruang lingkup yang terpendek karena hanya menilai pada proses yang memiliki nilai tambah dalam aliran produksi.

Menurut Thom et al (2011) kebanyakan pendekatan LCA selalu menggunakan ruang lingkup *cradle to grave* yang meliputi fase ekstraksi material hingga penggunaan produk. Namun, fase penggunaan produk merupakan fase yang sangat sulit untuk dievaluasi karena sulit untuk memprediksikan bagaimana konsumen akan menggunakannya dan bagaimana konsumen akan membuang produk tersebut. Sulit untuk menentukan apa yang terjadi pada produk setelah proses produksi dan pengiriman. Tidak ada cara untuk mengetahui berapa lama produk akan bertahan, atau ketika konsumen akan membuangnya. Dengan alasan ini, menggunakan LCA dengan ruang lingkup *cradle to gate* memungkinkan untuk menghasilkan hasil yang mewakili dan lebih akurat.

Cradle to gate mampu memperbaiki akurasi dari LCA. Fokus pada tahapan dari siklus produk yang dapat dikendalikan oleh produsen dan pemasok akan menjadi pendekatan yang lebih praktis daripada berusaha untuk memperhitungkan seluruh siklus kehidupan (Thom et al, 2011).

2.4.2 Tahapan Amatan pada *Life Cycle Assessment*

Menurut EPA (1993) dalam Curran (1996), tahapan amatan dari *Life Cycle Assessment* adalah sebagai berikut :

1. Geografis

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

2. Ekstraksi *Raw Material*

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

3. *Material processing* dan manufaktur

Tahap ini adalah tahap utama dalam analisa siklus hidup. Pada tahap ini, bahan mentah diolah menjadi produk jadi maupun produk setengah jadi. Banyak proses yang terlibat dalam produksi, bahkan untuk produk yang sederhana sekalipun.

4. *Use/reuse*

Tahap ini melibatkan penggunaan, *reuse*, dan *maintenance* aktual konsumen atas produk. Setelah didistribusikan pada konsumen, seluruh aktivitas berhubungan dengan waktu guna produk turut diperhitungkan. Termasuk di dalamnya kebutuhan energi dan buangan *environmental* dari penyimpanan produk dan konsumsi. Produk atau material mungkin memerlukan *recondition*, perbaikan atau servis sehingga dapat mempertahankan performansinya (EPA, 1993) dalam Curran (1996). Saat konsumen tidak memerlukan produk, produk ini akan *direcycle* atau dibuang.

5. *Recycle*

Tahap ini turut memperhitungkan kebutuhan energi dan buangan ke lingkungan sehubungan atas disposisi produk dan material (EPA, 1993) dalam Curran (1996).

2.4.3 Langkah-langkah *Life Cycle Assessment*

Berdasarkan ISO 14040 dan 14044 *standards, life cycle assessment* dilaksanakan dalam empat langkah utama, yaitu :

1. *Goal and scope definition.*

Langkah ini merupakan proses mengidentifikasi alasan untuk melaksanakan LCA. Pada langkah ini akan dilakukan penentuan ruang lingkup dan batasan dari pembahasan, seperti penentuan produk, proses, maupun pelayanan yang akan dipelajari, pemilihan unit fungsional dari produk, penentuan pilihan tentang batasan sistem, termasuk batasan ruang maupun waktu. Batasan sistem menentukan unit proses mana yang tercakup dalam pembahasan LCA dan batasan tersebut harus mencerminkan tujuan dari pembahasan. Kesimpulannya, tahap ini mencakup deskripsi dari metode yang diaplikasikan untuk memperkirakan potensi dampak lingkungan dan dampak mana yang akan diperhitungkan.

2. *Life Cycle Inventory*

Langkah kedua dalam LCA merupakan langkah yang digunakan untuk menginventarisasikan *input*, seperti bahan baku dan energi, dan *output*, seperti produk, produk samping, limbah, dan emisi, yang terjadi dan digunakan sepanjang daur hidupnya. Langkah ini merupakan langkah yang membutuhkan porsi waktu dan data paling banyak diantara langkah-langkah yang lain.

3. *Life Cycle Impact Assessment*

Langkah ketiga ini merupakan kumpulan bahan atau material yang terkandung dari setiap bahan yang digunakan atau yang dikeluarkan. Untuk mengubah tiap elemen dalam inventarisasi tersebut menjadi suatu kajian kualitatif terhadap terhadap kondisi lingkungan maka memerlukan suatu langkah untuk memperkirakan dampak lingkungan yang merupakan akibat dari emisi dan bahan yang digunakan. Kesimpulannya, langkah ketiga ini adalah untuk memperkirakan dampak lingkungan dari semua *input* dan *output* yang sudah terkumpul dalam langkah dua.

Dalam *life cycle impact assessment* terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Dan setiap metode tersebut memiliki kriteria yang berbeda. Dalam

penelitian ini metode yang digunakan yaitu metode EDIP/UMIP 97 (*Environmental Design of Industrial Product*). Metode ini memiliki 16 kategori yang digunakan untuk menilai dampak lingkungan. Penjelasan mengenai kategori tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kategori Dampak Lingkungan Dalam Metode EDIP/UMIP 97

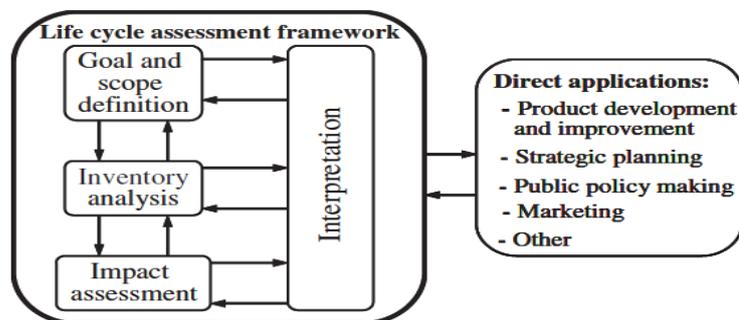
No.	Impact Category	Penjelasan
1	<i>Global Warming</i>	Proses meningkatnya suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan di bumi sehingga menyebabkan bumi terasa lebih panas.
2	<i>Ozone Depletion</i>	Proses penipisan lapisan ozon stratosfir yang akan menyebabkan lebih banyak sinar <i>ultraviolet</i> memasuki bumi.
3	<i>Acidification</i>	Juga dikenal sebagai hujan asam, terjadi ketika emisi sulfur dioksida dan nitrogen oksida bereaksi di atmosfer dengan air, oksigen, dan oksidan hingga terbentuk berbagai senyawa asam.
4	<i>Eutrophication</i>	Penurunan kualitas air yang disebabkan oleh pembebanan gizi, yang menyebabkan pergeseran dalam komposisi spesies dan peningkatan produktivitas biologis seperti ganggang. Nitrogen dan Fosfor adalah dua zat yang paling terlibat dalam eutrofikasi
5	<i>Photochemical smog</i>	Polusi udara yang disebabkan oleh reaksi antara sinar matahari dan polutan seperti hidrokarbon dan nitrogen dioksida. Meskipun kabut asap fotokimia sering terlihat, itu bisa sangat berbahaya, menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan dan mata.
6	<i>Ecotoxicity water chronic</i>	Efek samping terhadap ekosistem air dari suatu zat yang dihasilkan. Akibat dari efek ini dapat terasa ketika mengalami paparan berulang-ulang dalam jangka waktu yang lama (bulan atau tahun).
7	<i>Ecotoxicity water acute</i>	Efek samping terhadap ekosistem air dari suatu zat yang dihasilkan dalam waktu singkat (biasanya kurang dari 24 jam).
8	<i>Ecotoxicity soil chronic</i>	Efek samping terhadap ekosistem tanah dari suatu zat yang dihasilkan. Akibat dari efek ini dapat terasa ketika mengalami paparan berulang-ulang dalam jangka waktu yang lama (bulan atau tahun).
9	<i>Human toxicity air</i>	Emisi dari beberapa zat (seperti logam berat) yang dapat berdampak pada kesehatan manusia melalui media udara.
10	<i>Human toxicity water</i>	Emisi dari beberapa zat (seperti logam berat) yang dapat berdampak pada kesehatan manusia melalui media air.
11	<i>Human toxicity soil</i>	Emisi dari beberapa zat (seperti logam berat) yang dapat berdampak pada kesehatan manusia melalui media tanah.
12	<i>Bulk waste</i>	Jenis-jenis limbah yang memiliki ukuran terlalu besar untuk dapat diterima oleh pengumpulan sampah biasa seperti sofa, lemari es, TV, dll.
13	<i>Hazardous waste</i>	Limbah yang menimbulkan ancaman besar atau potensial terhadap kesehatan masyarakat atau lingkungan. Limbah ini dapat ditemukan dalam keadaan fisik yang berbeda seperti gas, cairan, atau padatan.
14	<i>Radioactive waste</i>	Limbah yang mengandung bahan radioaktif. Limbah radioaktif biasanya oleh-produk dari pembangkit tenaga nuklir dan aplikasi lainnya dari fisi nuklir atau teknologi nuklir
15	<i>Slags/ashes</i>	Limbah padat yang berupa abu, biasanya hasil pembakaran. Sampah ini mudah terbawa angin karena ringan dan tidak mudah membusuk.
16	<i>Resource (All)</i>	Efisiensi sumber daya yang digunakan.

Sumber: SimaPro Database Manual Methods

4. Interpretation Step

Langkah keempat ini merupakan langkah yang digunakan untuk menginterpretasikan hasil dari langkah ketiga, bila mungkin disertakan saran untuk langkah perbaikan. Jika *life cycle impact assessment* ditujukan untuk membandingkan produk, langkah ini bisa berisi tentang rekomendasi produk yang paling ramah terhadap lingkungan. Jika hanya satu produk yang dianalisis, saran untuk memodifikasi produk

bisa ditambahkan dalam tahap ini. Untuk lebih jelasnya, langkah-langkah LCA dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Langkah-langkah dalam *life cycle assessment*
Sumber: ISO (2006)

2.4.4 Software SimaPro 8.0.3.14

Software SimaPro merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan untuk memodelkan *life cycle assessment*. *Software* SimaPro (*System for Integrated environMental Assessment of PROducts*) merupakan *software* yang dikembangkan oleh Dutch PRé Consultants. *Software* ini dapat digunakan sebagai alat analisis dan pemodelan LCA. SimaPro merupakan *software* yang sudah diterima secara internasional dan merupakan alat yang sudah tervalidasi. Sejak pengembangannya pada tahun 1990, SimaPro telah digunakan diberbagai macam studi tentang LCA baik oleh konsultan, lembaga penelitian, serta mahasiswa. *Software* SimaPro yang digunakan di dalam analisis LCA ini adalah SimaPro versi 8.0.3.14. *Software* SimaPro dengan versi terbaru ini memiliki *update database* dari standar-standar di dalam analisis ekologi, dan pada versi terbaru ini memiliki *database* LCA atau *database* eko inventori yang terbaru.

Untuk menggunakan *software* SimaPro harus terlebih dahulu dilakukan tahapan LCA. Berikut merupakan tahapan LCA yang dilakukan pada *software* SimaPro.

1. Penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian

Sebelum melakukan pengukuran dampak lingkungan maka harus ditentukan terlebih dahulu tujuan yang ingin dicapai. Selain menentukan tujuan, dalam tahap ini akan dilakukan pembatasan ruang lingkup. Hal ini dilakukan agar tujuan yang diperoleh lebih terfokus.

2. Penginventarian

Tahap ini merupakan tahap pengumpulan data yang berhubungan dengan bahan baku, energi, serta alat transportasi yang digunakan sepanjang daur hidup suatu

produk. Pada tahapan ini akan dilakukan penyesuaian antara *database* yang ada dengan kondisi aktual perusahaan.

3. *Impact Assessment*

Tahap ini merupakan perhitungan terhadap dampak negatif yang diterima lingkungan. Dalam tahap ini dilakukan perhitungan karakterisasi, normalisasi, serta pembobotan sehingga akan diketahui proses yang memiliki dampak lingkungan terbesar.

4. Interpretasi

Tahap ini merupakan tahap terakhir pada LCA. Pada tahap ini akan dilakukan penarikan kesimpulan. Hasil dari interpretasi ini akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan alternatif perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan.

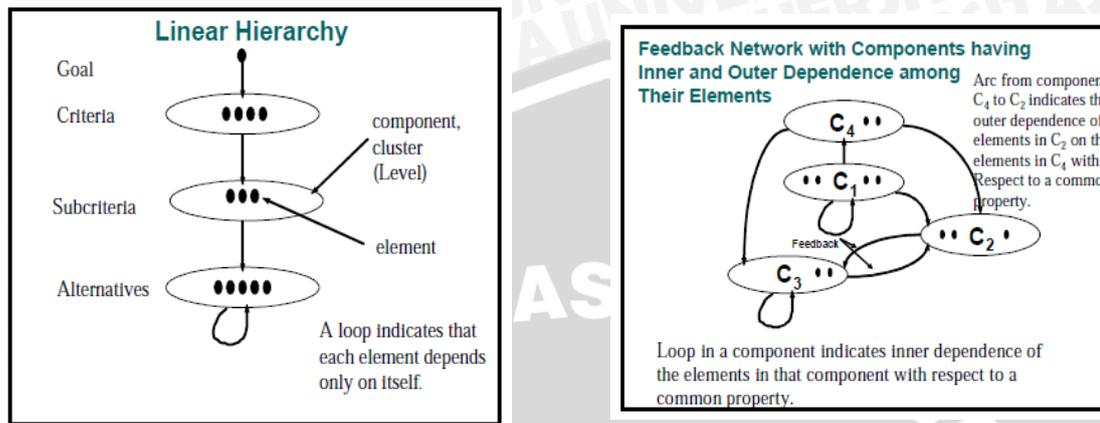
2.5 BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND (BOD) DAN CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)

Biological Oxygen Demand (BOD) atau kebutuhan oksigen Biokimia BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organiknya yang mudah terurai. Bahan organik yang tidak mudah terurai umumnya berasal dari limbah pertanian, pertambangan dan industri. Sehingga makin banyak bahan organik dalam air, makin besar BOD nya sedangkan DO (*Dissolved Oxygen*) akan makin rendah. DO adalah oksigen terlarut yang terkandung di dalam air, berasal dari udara dan hasil proses fotosintesis tumbuhan air. Oksigen diperlukan oleh semua makhluk yang hidup di air seperti ikan, udang, kerang dan hewan lainnya termasuk mikroorganisme seperti bakteri. Sedangkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau kebutuhan oksigen kimiawi menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi secara biologis menjadi CO₂ dan H₂O (Boyd, 1998).

2.6 ANALYTICAL NETWORK PROCESS (ANP)

ANP merupakan generalisasi dari *Analytic Hierarchy Process* (AHP), dengan mempertimbangkan ketergantungan antara unsur-unsur hirarki. Banyak masalah keputusan tidak dapat terstruktur secara hirarki karena mereka melibatkan interaksi dan ketergantungan elemen tingkat yang lebih tinggi dalam hirarki pada elemen tingkat

yang lebih rendah. Oleh karena itu, ANP diwakili oleh jaringan, bukan hirarki. Struktur umpan balik tidak memiliki bentuk atas ke bawah hirarki tetapi lebih mirip jaringan, dengan siklus menghubungkan komponen elemen, yang tidak dapat disebut sebagai tingkatan. Berikut merupakan perbedaan antara AHP dan ANP



Gambar 2.2 Perbedaan antara AHP dan ANP

Sumber : Saaty dan Vargas (2006)

Pembobotan dalam ANP membutuhkan model yang merepresentasikan hubungan saling keterikatan antar kriteria dan subkriteria yang dimilikinya. Ada 2 kontrol yang perlu diperhatikan dalam memodelkan sistem (Saaty, 2001), yaitu:

1. Kontrol hierarki yang menunjukkan keterkaitan kriteria dan subkriterianya dalam satu set elemen (*inner dependence*). Pada kontrol ini tidak membutuhkan struktur hierarki seperti pada metode AHP.
2. Kontrol keterkaitan yang menunjukkan adanya saling keterkaitan antar kriteria atau elemen yang berbeda (*outer dependence*).

Sebuah sistem umpan balik diwakili oleh jaringan, dimana *node* sesuai dengan tingkat atau komponen. *Node* di *cluster* (tingkat) dapat mempengaruhi beberapa atau semua *node* di *cluster* lain. Hubungan dalam suatu jaringan diwakili oleh busur dan arah busur menandakan ketergantungan.

ANP memiliki keunggulan dalam menangkap interaksi ketergantungan dan interdependensi antar kriteria dan subkriteria. ANP memberikan kerangka baru untuk menangani permasalahan keputusan tanpa membuat asumsi independensi elemen yang lebih tinggi levelnya dari elemen yang lebih rendah, bahkan ANP menggunakan jaringan tanpa perlu menetapkan level seperti dalam hirarki. AHP memiliki struktur linier dengan *goal* dan kriteria pada level atas akan mempengaruhi alternatif di level bawah namun tidak untuk sebaliknya, sedangkan struktur ANP memungkinkan tidak

hanya tingkat kepentingan kriteria menentukan tingkat kepentingan alternatif seperti di hirarki, tapi juga tingkat kepentingan alternatif sendiri menentukan tingkat kepentingan kriteria. Dengan menggunakan ANP dapat diidentifikasi hubungan antara subkriteria.

Langkah utama yang harus dilakukan pada proses ANP, yaitu:

1. Pembuatan model dan menyusun permasalahan

Pembuatan sebuah model untuk mengukur suatu permasalahan yang kompleks dilakukan dengan cara mengidentifikasi kriteria-kriteria yang terkait.

2. *Pairwise comparison* antar level komponen

Penentuan prioritas dan rasio konsistensi dalam metode ANP dilakukan berdasarkan *eigenvector* dan *eigenvalue*. *Eigenvector* digunakan untuk menentukan ranking dari alternatif yang dipilih, sedangkan *eigenvalue* digunakan untuk memberikan ukuran konsistensi dari proses perbandingan. Pada dasarnya, ranking diwakili oleh *vector* prioritas sebagai hasil dari normalisasi dari *eigenvector* utama. Pada ANP, ditetapkan skala kuantitatif 1 sampai 9 seperti pada AHP untuk menilai perbandingan tingkat kepentingan suatu elemen terhadap elemen lainnya. Skala penilaian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tabel Perbandingan Skala Verbal dan Skala Numerik

Intensitas Kepentingan	Keterangan	Penjelasan
1	Kedua elemen sama pentingnya	Dua elemen mempunyai pengaruh yang sama beserta tahap tujuan
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting	Pengalaman dan penilaian sedikit menyokong satu elemen dibandingkan elemen lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting	Pengalaman dan penilaian sangat kuat menyokong satu elemen dibandingkan elemen lainnya
7	Elemen yang satu jelas lebih mutlak	Satu elemen yang kuat disokong dan dominan terlihat dalam praktek
9	Elemen yang satu jelas lebih mutlak penting	Bukti yang mendukung elemen yang satu terhadap elemen yang lainnya memiliki tingkat penegasan tertinggi yang mungkin menguatkan
2,4,6,8	Nilai antara dua pertimbangan berdekatan yang	Nilai ini diberikan bila ada dua kompromi di antara dua pilihan
Kebalikan (1/3, 1/5, ...)	Jika untuk aktivitas I mendapat satu angka dibandingkan dengan aktivitas j, maka j mempunyai nilai kebalikan I.	

Sumber : Mulyono (1996)

Salah satu keutamaan model ANP yang membedakannya dengan model-model pengambilan keputusan yang lain adalah tidak adanya syarat konsistensi mutlak. Dengan model ANP yang memakai persepsi *decision maker* sebagai inputnya maka ketidakkonsistenan mungkin terjadi karena manusia memiliki keterbatasan dalam menyatakan persepsinya secara konsisten terutama kalau harus membandingkan banyak kriteria. Berdasarkan kondisi ini maka pengambil keputusan dapat menyatakan

persepsinya tersebut akan konsisten nantinya atau tidak. Pengukuran konsistensi dari suatu matriks itu sendiri didasarkan atas *eigenvalue* maksimum. Thomas L. Saaty telah membuktikan bahwa indeks konsistensi dari matriks berordo n dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \quad (2-1)$$

CI = Rasio Penyimpangan (deviasi) konsistensi (*consistency indeks*)

λ_{\max} = Nilai eigen terbesar dari matriks berordo n

n = Orde matriks

Apabila CI bernilai nol, maka matriks *pairwise comparison* tersebut konsisten. Batas ketidakkonsistenan (*inconsistency*) yang telah ditetapkan oleh Thomas L. Saaty ditentukan dengan menggunakan Rasio Konsistensi (CR), yaitu perbandingan indeks konsistensi dengan nilai Random Indeks (RI) yang didapatkan dari suatu eksperimen oleh Oak Ridge National Laboratory yang kemudian dikembangkan oleh Wharton School. Nilai ini bergantung pada ordo matriks n . Dengan demikian, Rasio Konsistensi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2-2)$$

CR = Rasio Konsistensi

RI = Indeks Random

Bila matriks matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dengan nilai CR lebih kecil dari 0,100 maka ketidakkonsistenan pendapat dari *decision maker* masih dapat diterima jika tidak maka penilaian perlu diulang. Metode pembobotan pada masalah yang kompleks dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Super Decision*. *Software* ini akan menghasilkan *output* berupa hasil pembobotan berpasangan pada masing-masing kriteria atau subkriteria beserta rasio konsistensinya. Seperti pada AHP, dalam menggunakan metode ANP dimungkinkan untuk diperoleh penilaian yang didasarkan pada penilaian dengan menggunakan kuesioner.

3. Pembentukan supermatriks

Setelah perbandingan berpasangan telah selesai dilakukan, maka tahapan berikutnya adalah membuat sebuah supermatriks. Supermatriks dihitung dengan empat langkah, yaitu *unweighted supermatrix*, *weighted supermatrix*, *limitting supermatrix*, dan *limitting matrix*. Tahapan-tahapan ini dilakukan apabila terdapat hubungan keterkaitan, baik internal maupun eksternal pada *cluster*. Tahap *unweighted supermatrix*

dilakukan dengan cara memasukkan semua *eigenvector* yang telah dihitung kedalam sebuah supermatriks. Setelah itu kemudian dilakukan tahap pembuatan *weighted supermatrix* dengan cara melakukan perkalian setiap isi *unweighted supermatrix* dengan bobot yang terdapat pada clusternya. Tahap selanjutnya adalah komposisi *limiting supermatrix* hingga stabil yaitu ketika nilai pada semua kolom pada *supermatrix* hingga masing-masing *node* telah terdistribusi secara rata.

4. Pemilihan alternatif terbaik

Tahapan terakhir adalah menentukan normalisasi pada *limit matrix*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai bobot prioritas *node* pada masing-masing *cluster*.

2.6.1 Software Super Decision

Software Super Decisions dibuat oleh William J. Adams dari Embry Riddle Aeronautical University, Daytona Beach, Florida yang bekerja sama dengan Rozann W. Saaty untuk membantu menyelesaikan kasus AHP dan ANP dengan komputer. *Super Decisions* adalah sebuah perangkat lunak manajemen perusahaan berbasis *Open Source* yang digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan dan mengimplementasikan ANP. *Software super decisions* merupakan alat pengambilan keputusan yang menggunakan paket sederhana dalam membangun model keputusan dengan ketergantungan dan *feedback* serta komputasi hasil menggunakan supermatriks ANP.

Langkah pertama yang dilakukan untuk membuat model ANP pada *Super Decisions* adalah dengan membuat *cluster* dan *node*. *Cluster* merupakan kriteria utama dalam ANP sedangkan *node* merupakan subkriteria yang sudah ditentukan sebelumnya. Setelah menentukan kriteria dan subkriteria maka langkah selanjutnya adalah menentukan hubungan ketergantungan antara kriteria dan subkriteria. Dalam menentukan hubungan ketergantungan ini nantinya akan diketahui hubungan *inner dependence* dan *outer dependence*. Dari beberapa langkah tersebut nantinya akan dihasilkan sebuah *network*. *Network* tersebut berisi *cluster*, *node* serta hubungan *inner dependence* dan *outer dependence*. Setelah membuat *network*, langkah selanjutnya adalah melakukan pembobotan. Hasil pembobotan tersebut merupakan hasil dari kuesioner yang disebarkan kepada pihak yang memiliki keahlian dibidangnya. Setelah melakukan pembobotan maka akan diketahui nilai *Consistency Ratio* (CR). CR dianggap konsisten jika memiliki nilai < 0.1 . Setelah menentukan nilai CR, langkah selanjutnya adalah menentukan *unweighted supermatrix*, *weighted supermatrix*, dan *limiting matrix*.

Setelah menentukan *supermatrix* tersebut akan didapatkan sebuah nilai prioritas akhir. Dan nilai prioritas akhir tersebut merupakan hasil akhir dari pembobotan menggunakan ANP.

2.6.2 *Benefits, Opportunities, Costs, and Risks (BOCR)*

Benefits, Costs, Opportunities and Risks merupakan pertimbangan-pertimbangan yang selalu diperhitungkan dalam suatu keputusan dan dikenal sebagai *merits* (faedah-faedah), mereka bisa dikelompokkan dalam kelompok yang diinginkan dan yang tidak diinginkan (Saaty, 2001). Analisa BOCR secara keseluruhan sama halnya dengan analisa SWOT (*strength, weakness, opportunities and threats*) dimana tidak hanya faktor *strength* dan *weakness* dari internal perusahaan yang dapat mempengaruhi perusahaan dalam menyusun strategi akan tetapi juga terdapat faktor eksternal yaitu *opportunities* dan *threats*. Dalam hal ini *benefits* dan *opportunities* termasuk dalam kelompok yang diinginkan dan *costs* serta *risks* termasuk dalam kelompok yang tidak diinginkan. Sehingga banyak contoh kasus yang menggunakan rasio BO/CR untuk evaluasi terhadap keputusan akhir. Rasio ini mengasumsikan keempat faedah tersebut sama pentingnya. Adapun penjelasan dari masing-masing elemen BOCR adalah sebagai berikut :

1. *Benefits*

Benefits adalah manfaat yang bisa didapat apabila melaksanakan alternatif yang ada ditinjau dari kriteria yang dipertimbangkan.

2. *Opportunities*

Opportunities adalah manfaat dalam bentuk peluang baik secara langsung maupun tak langsung bila melaksanakan alternatif yang bersangkutan

3. *Costs*

Costs disini merupakan biaya yang mungkin timbul apabila melaksanakan alternatif tertentu di masa sekarang atau di masa yang akan datang.

4. *Risks*

Risks merupakan resiko yang mungkin timbul apabila melaksanakan alternatif tertentu.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan cara atau prosedur beserta tahapan-tahapan yang jelas dan disusun secara sistematis dalam proses penelitian. Penelitian harus punya tujuan dan arah yang jelas. Oleh karena itu diperlukan sistematika aktivitas yang akan dilaksanakan dengan metode dan prosedur yang tepat mengarah kepada sasaran atau target yang telah ditetapkan.

3.1 METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk jenis penelitian deskriptif. Menurut Hussey (1997), penelitian deskriptif adalah penelitian yang menggambarkan fenomena yang sedang terjadi, digunakan untuk mengidentifikasi dan memperoleh informasi mengenai karakteristik dari suatu masalah. Tujuan dari penelitian deskriptif ini adalah mencari penjelasan atas suatu fakta atau kejadian yang terjadi, misalnya kondisi atau hubungan yang ada, pendapat yang berkembang, akibat atau efek yang terjadi, atau kecenderungan yang sedang berlangsung. Pada penelitian ini akan menggambarkan penyebab dari pencemaran lingkungan yang terjadi di sekitar PT Kasin. Untuk mengetahui penyebab dari pencemaran lingkungan tersebut maka akan dilakukan identifikasi dan analisa mengenai dampak lingkungan yang dihasilkan dari data-data penelitian.

3.2 WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT Kasin Malang yang beralamat di Jl. Peltu Sujono no 25, Kota Malang. Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Maret 2014 sampai dengan Januari 2015.

3.3 DATA – DATA PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis data, yaitu data primer dan sekunder.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh melalui pengamatan atau pengukuran secara langsung oleh peneliti dari obyek penelitian. Data ini diperoleh melalui observasi dan wawancara. Adapun data primer yang dibutuhkan adalah data aktivitas *supply chain* perusahaan.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data atau informasi yang telah tersedia oleh pihak perusahaan atau pihak lain yang dianggap berkompeten. Data-data tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Data umum perusahaan yang meliputi sejarah perusahaan dan struktur organisasi.
- b. Data produk yang diproduksi di PT Kasin.
- c. Data *supplier* bahan baku.
- d. Data alat transportasi yang digunakan untuk mendistribusikan bahan baku dan produk.
- e. Data penggunaan bahan baku selama proses produksi.
- f. Data jumlah energi yang dibutuhkan selama satu tahun.
- g. Data konsumen atau pemesan produk.

3.4 LANGKAH-LANGKAH PENELITIAN

Langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan dalam penelitian ini untuk mendapatkan data-data dari PT Kasin untuk mengungkapkan permasalahan yang sedang diteliti.

2. Studi Pustaka

Studi pustaka digunakan untuk mempelajari teori dan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti. Sumber pustaka berasal dari buku, jurnal, serta studi terhadap penelitian terdahulu dengan topik utama dalam penelitian ini yakni *Life Cycle Assessment (LCA)* dan *Analytical Network Process (ANP)*. Sumber pustaka diperoleh dari perpustakaan, perusahaan dan internet.

3. Identifikasi masalah

Identifikasi masalah merupakan tahap awal penelitian yang bertujuan memahami permasalahan dan kondisi *real* di PT Kasin.

4. Perumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah dengan seksama, tahap selanjutnya adalah merumuskan masalah sesuai dengan kenyataan yang ada di PT Kasin. Dalam perumusan masalah ini nantinya akan disebutkan rincian dari permasalahan yang akan dikaji dan akan menunjukkan tujuan dari penelitian.

5. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya. Hal ini ditunjukkan untuk menentukan batasan-batasan yang perlu dalam pengolahan dan analisis hasil pengukuran selanjutnya. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* PT Kasin sehingga diketahui proses atau aktivitas yang memiliki dampak terbesar pada lingkungan.

6. Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi empat metode, yaitu:

a. Observasi

Observasi merupakan aktivitas pengamatan langsung yang dilakukan di PT Kasin dengan mengamati aktivitas *supply chain* perusahaan, limbah yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* dan dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain*.

b. Wawancara

Wawancara merupakan aktivitas yang dilakukan untuk mendapatkan informasi dengan cara bertanya secara langsung kepada karyawan PT Kasin yang berkaitan dengan aktivitas *supply chain*.

c. Diskusi

Diskusi adalah aktivitas bertukar pikiran dengan karyawan atau manajemen yang *capable* di PT Kasin berkaitan dengan limbah yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan.

d. Dokumentasi

Dokumentasi merupakan metode pengumpulan data dengan cara mempelajari dokumen-dokumen perusahaan yaitu mengenai sejarah perusahaan dan struktur organisasi.

7. Pengolahan dan Analisis Data

Setelah melakukan pengamatan dan pengambilan data di perusahaan, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mengolah data-data tersebut untuk kemudian diselesaikan dengan metode yang terkait. Metode pengolahan dan analisis data yang digunakan mengacu pada prinsip LCA dan ANP dengan urutan sebagai berikut:

a. Menganalisis dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan menggunakan metode LCA. Tahap-tahap dari LCA yaitu :

- 1) Mendefinisikan tujuan, ruang lingkup dan batasan dari penelitian.

Pada tahap ini akan menentukan produk, dan proses yang akan diteliti. Tahap ini mencakup deskripsi dari sistem yang diamati sehingga dapat memperkirakan potensi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh PT Kasin.

- 2) Mendefinisikan *input* dan *output* dari tiap-tiap proses yang dilakukan.

Proses ini dimulai dengan mendefinisikan *input*, seperti bahan baku, energi dan mesin yang digunakan. Sedangkan *output*, seperti produk, produk sampingan dan limbah yang dihasilkan. Pada tahap ini nantinya juga akan dilakukan identifikasi limbah yang dihasilkan dari tiap proses produksi kulit.

- 3) Mengidentifikasi dampak lingkungan yang akan terjadi selama aktivitas *supply chain*.

Proses ini bertujuan untuk memperkirakan dampak lingkungan dari semua *input* dan *output* yang sudah terkumpul. Langkah ketiga ini merupakan kumpulan bahan atau material yang terkandung dari setiap bahan yang digunakan atau yang dikeluarkan.

- 4) Mengetahui dampak lingkungan terbesar.

Langkah ini dilakukan untuk menginterpretasikan hasil dari langkah ketiga. langkah ini bisa berisi tentang rekomendasi perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan.

- b. Melakukan pembobotan alternatif perbaikan menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP).

- 1) Menentukan kriteria dan sub kriteria

Setelah melakukan pengolahan data dengan menggunakan metode LCA, maka akan didapatkan *output* berupa proses yang memiliki dampak terbesar terhadap lingkungan. Selanjutnya, menentukan kriteria dan sub kriteria yang akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan alternatif perbaikan. Dalam hal ini kriteria yang digunakan adalah *benefits, opportunities, costs and risks*.

- 2) Menentukan alternatif perbaikan

Dalam menentukan alternatif perbaikan harus mempertimbangkan kriteria dan sub kriteria yang sudah ditentukan sebelumnya.

- 3) Mengidentifikasi dan menentukan hubungan antara kriteria, sub kriteria, dan alternatif

Sebelum dilakukan pembobotan, dilakukan identifikasi terlebih dahulu hubungan antar kriteria dan alternatif yang akan dipilih.

4) Memberikan pembobotan dengan ANP

Dari kriteria yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian akan dilakukan pemberian nilai bobot untuk masing-masing kriteria dan sub kriteria. Pemberian bobot dilakukan dengan menggunakan metode ANP. Pengolahan data ini nantinya akan dibantu dengan menggunakan *software* Super Decision. Tujuan dari pemberian bobot ini adalah untuk mengetahui tingkat prioritas yang paling penting dalam pemilihan alternatif perbaikan.

8. Analisis dan Pembahasan

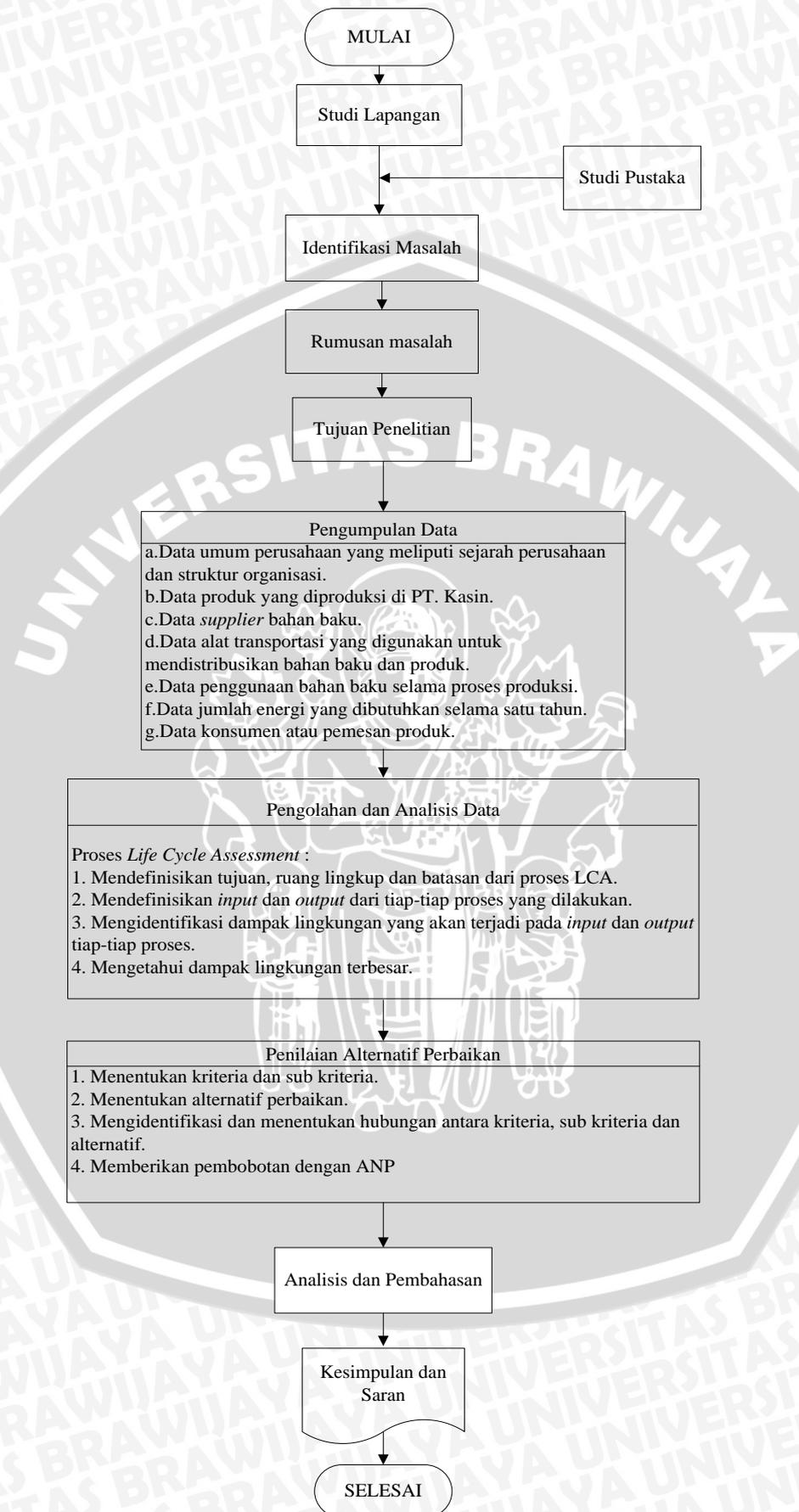
Tahap ini merupakan tahap yang dilakukan untuk melakukan analisis dan pembahasan dari saran perbaikan yang dipilih. Selanjutnya, saran perbaikan ini akan dianalisis menggunakan *benefits, opportunities, costs and risks*.

9. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan langkah akhir dari proses penelitian. Kesimpulan dapat digunakan sebagai dasar yang menjawab tujuan dari penelitian. Sedangkan saran merupakan masukan untuk objek yang diteliti guna mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas *supply chain* perusahaan

3.5 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Diagram alir penelitian memberikan gambaran mengenai langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi lapangan dan studi pustaka. Setelah itu menentukan identifikasi masalah, perumusan masalah dan tujuan penelitian. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data dan mengolahnya dengan metode yang sudah ditentukan sebelumnya. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA) dan *Analytical Network Process* (ANP). Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian