

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan setiap penelitian diperlukan dasaran teori dan argumen yang saling berhubungan dengan konsep-konsep permasalahan penelitian dan akan dipakai dalam analisis. Dalam bab ini akan menjelaskan tentang beberapa dasar-dasar teori dan argumen yang dapat mendukung penelitian ini.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang mendasari penelitan ini antara lain :

1. Darwin (2013) melakukan penelitian berjudul “Manajemen Kinerja Lingkungan dengan pendekatan LCA dan ANP pada Departemen *Processing* di PT Lotus Indah Textile Industries”. Pada penelitian ini, peneliti mengidentifikasi apakah produk kain sulaman memiliki kriteria ramah lingkungan dilihat dari sisi *life cycle* produk dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya isu lingkungan dan *green product* yang menuntut setiap perusahaan menghasilkan produk yang ramah lingkungan. Dari hasil *Life Cycle Assessment* (LCA) tersebut kemudian diusulkan dua alternatif utama untuk mengurangi dampak lingkungan pada proses *embroidery* dan pewarnaan dengan menggunakan metode *Analytic Network Process* (ANP). Metode ANP diterapkan pada penelitian ini, karena data-data yang ada memiliki hubungan keterkaitan antara satu elemen kriteria dengan elemen kriteria lainnya dan hubungan keterkaitan antara kriteria dengan subkriterianya. Dalam pemilihan alernatif terdapat tiga kriteria dan subkriteria yang diperhitungkan untuk proses pengambilan keputusan alternatif terbaik. Kriteria–kriterianya adalah kriteria biaya, SDM dan bahan baku produk. Sedangkan subkriteria yang telah ditentukan mencakup biaya material, bahan pendukung pewarnaan, dan kemampuan SDM. Hasil yang didapatkan merupakan alternatif terbaik untuk mengurangi dampak lingkungan yang terjadi.
2. Hascaryo (2007) melakukan penelitian berjudul “Penerapan *Life Cycle Assessment* melalui Pendekatan *Analytical Hierarchy Process* dan *Benefit Cost Ratio* pada Produk Kertas di PT Adiprima Suraprinta”. Pada penelitian ini, peneliti mengidentifikasi menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk mengetahui apakah produk kertas NPP memiliki dampak yang besar terhadap lingkungan. Dari hasil *Life Cycle Assessment* (LCA) didapatkan bahwa CaCO_3 memberikan kontribusi paling besar

sehingga peneliti mengusulkan tiga alternatif untuk mengurangi atau mengganti CaCO_3 . Pemilihan alternatif terbaik yaitu menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) melalui pendekatan *benefit cost ratio*. Dalam pemilihan alternatif terdapat tujuh kriteria yang diperhitungkan yang kemudian dikelompokkan berdasarkan *benefit* dan *cost*. Kriteria-kriterianya adalah biaya investasi, biaya produksi, dampak lingkungan, kualitas, pendapatan, kemudahan proses, dan *image* perusahaan.

- Wulandari (2008) melakukan penelitian berjudul "*Life Cycle Assesment (LCA) Kemasan Botol PET (Polyethylena Terephtalate) dan Botol Gelas*". Penelitian ini dilakukan di salah satu perusahaan manufaktur penghasil minuman teh. Hasil yang didapatkan pada perbandingan analisis inventori dan dampak lingkungan, kemasan botol PET lebih baik dibandingkan dengan kemasan botol gelas. Namun disisi lain, kemasan botol PET memiliki kelemahan yaitu hanya dapat digunakan satu kali pemakaian, sedangkan botol gelas dapat digunakan kembali minimal 20 kali pemakaian. Berdasarkan *Life Cycle Assesment (LCA)* dapat disimpulkan bahwa kemasan botol gelas lebih baik terhadap lingkungan dibandingkan kemasan botol PET.

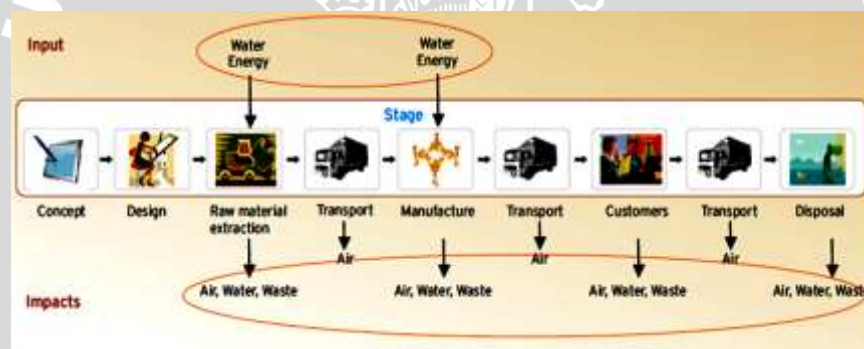
Secara ringkas, perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Perbandingan dengan PenelitianTerdahulu

Peneliti	Objek Penelitian	Metode			Hasil
		LCA	AHP	ANP	
Darwin (2013)	PT Lotus Indah Textile Industries	√		√	Terjadi pengurangan dampak pada proses produksi sebesar 2,883 GPt dari kondisi <i>existing</i> karena mengganti zat kimia soaping dengan alkali benzene sulfonat dan zat pendispersi dengan sodium perborat
Hascaryo (2007)	PT Adiprima Suraprinta	√	√		Terjadi pengurangan takaran CaCO_3 sebanyak 5 % dan menambah carta DH sebanyak 5 %
Wulandari (2008)	Industri kemasan botol PET dan botol gelas	√			Kemasan botol gelas lebih baik terhadap lingkungan daripada kemasan botol PET karena dapat digunakan 20 kali
Penelitian ini (2014)	PT Kertas Leces Persero	√		√	Diharapkan mampu memberikan rekomendasi perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan akibat <i>life cycle</i> produk kertas.

2.2 Supply Chain Management

Rantai pasok (*Supply Chain*) adalah sebagai jejaring seluruh organisasi (mulai dari pemasok sampai ke pengguna akhir) dan aktivitas yang berhubungan dengan aliran dan transformasi dari barang, informasi, dan uang (Handfield dan Nichols, 2002). Sedangkan Manajemen Rantai Pasok (*Supply Chain Management*) merupakan pengintegrasian proses bisnis berupa kolaborasi antar mitra rantai pasok dalam menyediakan produk, jasa, dan informasi untuk meningkatkan kinerja perusahaan dan memberikan nilai tambah ke pelanggan dan pemangku kepentingan lainnya (Ho, Shalishali, Tseng, dan Ang, 2009). Rantai pasok terdiri dari lima bagian yaitu bahan baku, industri, distribusi, konsumen, dan limbah. Setiap tautan dalam rantai pasok dapat menyebabkan terjadinya polusi, limbah, dan bahaya lain terhadap lingkungan (Gambar 2.1). Selain itu, mulai dari tahap konsep sampai dengan barang dimusnahkan selalu terdapat penggunaan sumber daya secara berlebihan (boros) yang mengakibatkan total ongkos logistik menjadi lebih mahal serta berdampak terhadap kelestarian lingkungan.



Gambar 2.1 Dampak Lingkungan dari Aktivitas *Supply Chain*
Sumber: Kumar dan Chandrakar (2012)

Konsep *supply chain* tradisional digambarkan sebagai suatu proses yang terpadu, dimana *raw material* diproses sedemikian rupa sehingga menjadi produk akhir yang kemudian didistribusikan ke konsumen melalui jalur distribusi, retail, atau keduanya. Desain, model, dan analisa *supply chain* tradisional terutama difokuskan pada optimalisasi pembelian *raw material* dari supplier dan distribusi produk ke konsumen (Beamon, 1999). Adanya tekanan pasar dan juga regulasi perlindungan pada lingkungan yang cenderung semakin ketat menyebabkan perusahaan berusaha untuk memperbaiki konsep *supply chain* yang ada untuk mempertimbangkan pengaruh lingkungan pada semua produk dan proses, mulai dari bahan baku, produk jadi, sampai dengan penggunaan akhir dari produk tersebut (Lamming, 1996).

Selain itu, kondisi ini juga mendorong penggunaan strategi *environmental management* pada konsep *supply chain*. Pertimbangan inilah yang mengarah pada suatu

konsep *supply chain* yang terintegrasi dengan pertimbangan dampak lingkungan. Konsep *supply chain* ini mencakup semua hal yang ada dalam *supply chain* tradisional dengan menyertakan aktivitas *remanufacturing*, *reuse*, dan *recycling* serta identifikasi *waste* disetiap rantainya. Konsep *supply chain* inilah yang mengarah pada kondisi *green supply chain*.

Green Supply Chain menyebabkan industri meningkatkan keseimbangan antara kinerja *marketing* dengan isu lingkungan yang melahirkan isu baru seperti penghematan penggunaan energi dan pengurangan polusi bukan hanya untuk *long term survival* tetapi juga untuk *long term profitability* (Gifford, 1997). 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 kegiatan pemesanan *raw material*, *material handling*, distribusi, penyimpanan dan pembuangan material.

Menurut Ho, Shalishali, Tseng, dan Ang (2009), *Supply Chain Management* tradisional dengan *Green Supply Chain Management* berbeda dalam beberapa cara. Pertama, *Supply Chain Management* tradisional sering berkonsentrasi pada tujuan ekonomi dan nilai, sedangkan *Green Supply Chain Management* selain pencapaian tujuan ekonomi dan nilai juga memberikan pertimbangan yang signifikan terhadap ekologis. *Supply Chain Management* tradisional hanya mempertimbangkan efek pertimbangan toksikologis manusia dan meninggalkan dampak terhadap lingkungan.

Berbeda dengan *Green Supply Chain Management* yang terpadu dengan ekologis, mengoptimalkan cakupan lingkup rantai pasok tidak hanya untuk efek toksikologi manusia, tetapi juga untuk ekologis dampak negatif terhadap lingkungan alam, serta nilai tambah seluruh proses, sehingga dampak ekologis rendah selama tahapan proses di *supply chain*. Persyaratan ekologis dianggap sebagai kriteria utama untuk produk dan produksi dan pada saat yang sama perusahaan harus menjamin keberlanjutan ekonomi dengan tetap kompetitif dan menguntungkan. Tabel 2.2 merupakan perbedaan *Supply Chain Management* tradisional dan *Green Supply Chain Management*.

Tabel 2.2 Perbedaan antara *Supply Chain Management* Tradisional dan *Green Supply Chain Management*

Karakteristik	SCM Tradisional	Green SCM
Tujuan dan nilai-nilai	Ekonomis	Ekonomis dan ekologi
Optimasi Ekologi	Dampak terhadap ekologi tinggi	Pendekatan terpadu Dampak terhadap ekologi rendah

Sumber: Ho, Shalishali, Tseng, dan Ang (2009)

Lanjutan Tabel 2.2 Perbedaan antara *Supply Chain Management* Tradisional dan *Green Supply Chain Management*

Karakteristik	SCM Tradisional	Green SCM
Kriteria Seleksi Pemasok	Harga Hubungan jangka pendek	Aspek ekologi dan harga Hubungan jangka panjang
Biaya dan Harga jual	Biaya produksi murah Harga jual murah	Biaya produksi murah Harga jual kadang-kadang mahal
Kecepatan dan Fleksibilitas	Tinggi	Sedang

Sumber: Ho, Shalishali, Tseng, dan Ang (2009)

Menurut Salam (2008), manfaat penerapan *Green Supply Chain Management* sebagai berikut:

1. Peningkatan ekonomi melalui peningkatan efisiensi.
2. Keuntungan berkompetisi melalui inovasi.
3. Meningkatkan kualitas produk.
4. Memelihara konsistensi terhadap lingkungan.
5. Meningkatkan citra perusahaan.
6. Konservasi alam.
7. Pengurangan limbah.
8. Menghemat biaya.
9. Mengurangi jumlah zat-zat atau bahan berbahaya.

Green Supply Chain Management sebagai proses menggunakan *input* yang ramah lingkungan dan mengubah *input* tersebut menjadi keluaran yang dapat digunakan kembali pada akhir siklus hidupnya sehingga menciptakan rantai pasok yang berkelanjutan (Penfield, 2007). Sebuah rantai pasok yang ramah lingkungan bertujuan membatasi limbah dalam sistem industri guna menghemat energi dan mencegah disipasi bahan berbahaya ke lingkungan. Menurut Beamon (1999), diperkirakan 75% dari konsumen mengklaim bahwa daya beli mereka dipengaruhi oleh reputasi lingkungan perusahaan dan 80% akan bersedia membayar lebih untuk barang ramah lingkungan.

2.3 Life Cycle Assessment

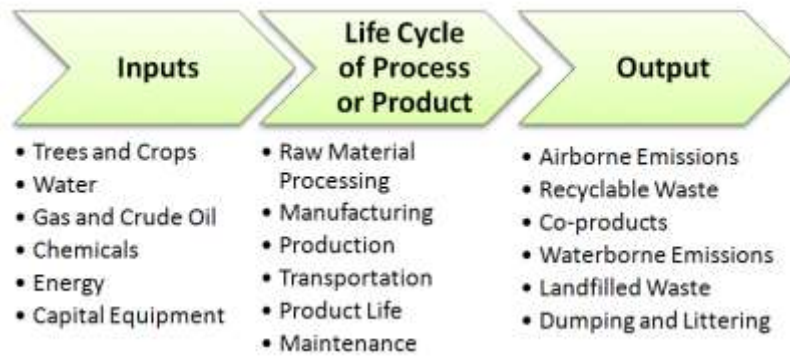
Dengan kesadaran akan pentingnya *Green Supply Chain Management* telah meningkatkan kepentingan dalam pengembangan metode yang lebih baik dan dapat mengurangi dampak tersebut. Salah satu metode yang dikembangkan untuk tujuan tersebut adalah *Life Cycle Assessment* (LCA).

2.3.1 Pengertian *Life Cycle Assessment*

Dalam melakukan analisa dampak lingkungan, perlu dilakukan secara keseluruhan yang meliputi *life cycle* suatu produk. Menurut Curran (1996), *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah suatu metode pengukuran dampak suatu produk tertentu terhadap ekosistem yang dilakukan dengan mengidentifikasi, mengukur, menganalisis, dan menakar besarnya konsumsi energi, bahan baku, emisi serta faktor-faktor lainnya yang berkaitan dengan produk tersebut sepanjang siklus hidupnya. Siklus hidup suatu produk dimulai dari bahan baku yang diambil dari alam, diproses di pabrik, diberikan kepada konsumen (transportasi), digunakan oleh konsumen sampai menjadi limbah yang dibuang kembali ke alam. Penakaran siklus ini sifatnya menyeluruh sehingga biasa disebut analisis “*cradle to grave*”. Pada setiap tahapan siklus hidup pasti mengkonsumsi sumber daya sehingga menghasilkan emisi atau limbah.

Dalam suatu sistem industri terdapat *input* dan *output*. *Input* dalam sistem berupa material-material yang diambil dari lingkungan dan *output*nya akan dibuang ke lingkungan kembali. *Input* dan *output* sistem industri ini akan menghasilkan dampak terhadap lingkungan. Pengambilan *input* material yang berlebihan akan mengakibatkan semakin berkurangnya persediaan di alam, sedangkan hasil keluaran dari sistem industri yang bisa berupa limbah (padat, cair, atau udara) akan memberi dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan menerapkan LCA dapat dilakukan evaluasi untuk meminimalkan pengambilan material dari lingkungan dan limbah industri yang dihasilkan.

Selain itu, 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*). Gambar 2.1 yang merupakan skema dari *Life Cycle Product*. Pengkajian LCA sangat penting dilakukan karena berorientasi produk atau jasa, pendekatan integratif, dan dirancang untuk menyediakan informasi paling ilmiah dan kuantitatif yang dapat mendukung pengambilan keputusan. Pengambilan keputusan yang dapat dilakukan antara lain seperti pemilihan strategi bisnis bagi produk, perbaikan desain proses, serta menata kriteria eko-labeling (Darwin, 2013).



Gambar 2.2 Skema *Life Cycle Product*
Sumber: Williams (2009)

Menurut Purwanto (2000), alasan perusahaan harus menggunakan *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah:

1. Berorientasi produk dan jasa, sangat penting dalam setiap masyarakat. Semua aktivitas ekonomi tergantung pada penggunaan dan konsumsi produk dan jasa. Produk dan jasa-jasa adalah sumbu dimana aktivitas ekonomi berjalan. Kebijakan pada produk dan jasa dalam bisnis dan pemerintahan merupakan alat yang penting untuk membuat aktivitas ekonomi lebih berkelanjutan.
2. Pendekatan integratif, dengan pendekatan ini LCA 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
3. LCA dirancang untuk menyediakan informasi paling ilmiah dan kuantitatif yang mungkin untuk mendukung pengambilan keputusan. Tipe kriteria lain seperti ekonomi, sosial, dan politik memasuki diskusi ketika pengambil keputusan menggunakan keseluruhan informasi yang disediakan LCA untuk menganalisa informasi secara lengkap.

Menurut Megasari, Swantomo, dan Christina (2008) manfaat LCA antara lain:

1. Perbaikan produk. LCA dapat mengidentifikasi pilihan biaya paling efisien dan efektif bagi pengurangan dampak lingkungan dari produk atau jasa. Perbaikan semacam itu dapat membuat produk lebih diinginkan oleh konsumen.
2. Perbaikan proses. LCA dapat digunakan untuk mengevaluasi operasi dan proses produksi perusahaan. Hal ini adalah cara yang berguna untuk menghitung sumber daya dan penggunaan energi. Selain itu, dapat menawarkan pilihan bagi perbaikan efisiensi

seperti menghindari pengolahan limbah, penggunaan sumber daya lebih sedikit, dan memperbaiki kualitas proses.

3. Perencanaan strategis. LCA dapat digunakan sebagai perencanaan strategis. Begitu peraturan lingkungan meningkat, akan mengakibatkan peningkatan tekanan terhadap perusahaan untuk memperbaiki kinerja operasinya.

2.3.2 *Stage Amatan Life Cycle Assessment*

Menurut EPA (1993) dalam Curran (1996), bagian-bagian yang menjadi fokus pengamatan dalam pelaksanaan *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah:

1. Geografis

Tempat pelaksanaan aktivitas manufaktur berpengaruh besar terhadap *impact* 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. Banyak proses yang terlibat dalam produksi, bahkan 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*.

- a. *Material manufacture*

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

- b. *Product fabrication*

Langkah ini yaitu ketika material yang dimanufaktur diproses hingga menjadi produk yang siap diisi atau dikemas.

c. *Filling packaging*

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

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 didalamnya kebutuhan energi dan buangan *environmental* dari penyimpanan produk dan konsumsi. Produk atau material mungkin memerlukan *recondition*, perbaikan atau servis sehingga dapat mempertahankan performansinya. 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.

Adapun ruang lingkup pada *Life Cycle Assessment* 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.

2. *Cradle to gate*

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

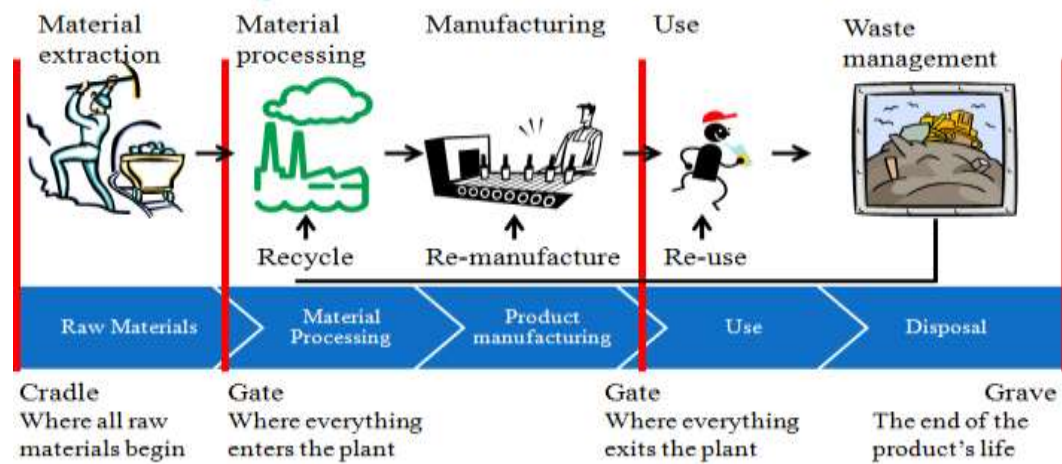
3. *Gate to gate*

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

4. Cradle to cradle

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

Gambar 2.3 menunjukkan ruang lingkup dari *Life Cycle Assesment*:



Gambar 2.3 Ruang lingkup *Life Cycle Assesment*
Sumber: Thom et al (2011)

Menurut Thom, Kraus, dan Parker (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 untuk 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 *gate to gate* memungkinkan untuk menghasilkan hasil yang mewakili dan dapat dipercaya.

2.3.3 Langkah-langkah *Life Cycle Assessment*

Menurut EPA (1993) dalam Curran (1996), *Life Cycle Assessment* dilaksanakan dalam empat langkah utama yaitu tujuan dan ruang lingkup, *Life Cycle Inventory* (LCI), *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), dan *improvement assessment*. berikut ini merupakan penjelasan dari masing-masing langkah.

1. Tujuan dan cakupan (*Goal and Scoping*)

Langkah pertama dalam LCA adalah menentukan ruang lingkup, asumsi, dan batasan yang berhubungan dengan dampak pada siklus hidup dari sistem yang sedang dievaluasi. Langkah ini dinamakan *goal and scope definition*. Pada tahap ini, alasan untuk

melaksanakan LCA diidentifikasi: penentuan produk, proses, maupun pelayanan yang akan dipelajari; pemilihan unit fungsional dari produk; penentuan pilihan tentang batasan sistem, termasuk batasan ruang maupun waktu. Yaitu, inventarisasi kegiatan yang diperkirakan dapat menimbulkan dampak penting yang ditimbulkan oleh proses atau produk tertentu terhadap lingkungan. Batasan dan ruang lingkup pelaksanaan LCA harus ditentukan secara jelas pada tahapan ini karena akan sangat menentukan bagaimana LCA akan dilaksanakan. Selain itu, agar pengukuran dampak lingkungan menggunakan LCA juga dapat dilaksanakan secara terfokus dan tepat sasaran.

Batasan sistem yang dimaksud disini adalah 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. Analisis inventori (*Inventory Analysis*)

Langkah kedua dalam *life cycle assessment* adalah melakukan identifikasi dan kuantifikasi *input* (seperti penggunaan bahan baku dan energi) dan *output* (seperti produk, produk samping, limbah, dan emisi) yang digunakan sepanjang daur hidupnya. Analisis inventori merupakan bagian LCA yang berisi inventori *input* yang berupa energi maupun bahan baku, dan *output* yang berupa emisi maupun limbah. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mengetahui keseluruhan penggunaan sumber daya, penggunaan energi, dan pelepasan ke lingkungan terkait dengan sistem yang sedang dievaluasi. Langkah ini terkadang membutuhkan porsi waktu dan data paling banyak di antara langkah-langkah yang lain.

3. Penakaran dampak (*Impact Assessment*)

Hasil dari langkah *life cycle inventory* merupakan kumpulan bahan/material yang terkandung dari setiap bahan yang digunakan atau yang dikeluarkan. Untuk mengubah tiap elemen dalam inventarisasi tersebut menjadi suatu kajian kualitatif terhadap kondisi lingkungan, maka memerlukan suatu langkah untuk memperkirakan dampak lingkungan yang merupakan akibat dari emisi dan bahan yang digunakan. Sehingga, langkah ketiga ini adalah untuk memperkirakan dampak lingkungan dari semua *input* dan *output* yang sudah terkumpul dalam inventaris tahap dua. Langkah ini disebut *impact assessment*. Penakaran dampak digunakan untuk menganalisis dampak suatu proses terhadap lingkungan dan

kesehatan manusia yang telah didata secara kuantitatif pada penakaran inventori. Berikut ini merupakan proses-proses yang ada dalam tahap *impact assessment*.

a. *Classification and characterization*

Classification adalah langkah mengidentifikasi dan mengelompokkan substansi yang berasal dari LCI kedalam kategori *impact* yang heterogen yang telah ditentukan sebelumnya. Kategori *impact* meliputi *global warming*, *acidification*, *ozone depletion*, *eutrophication*, *human toxicity*, *ecotoxicity*, *photochemical smog*, dan sebagainya. *Characterization* merupakan penilaian besarnya substansi yang berkontribusi pada kategori *impact*. Nilai kontribusi relatif dari substansi dapat diketahui dengan mengalikan substansi yang berkontribusi pada kategori *impact* dengan *characterization factors*.

b. *Normalization*

Normalization adalah prosedur yang diperlukan untuk menunjukkan kontribusi relatif dari semua kategori *impact* pada seluruh masalah lingkungan di suatu daerah dan dimaksudkan untuk menciptakan satuan yang seragam untuk semua kategori *impact*. Nilai *normalization* dapat diketahui dengan mengalikan nilai *characterization* dengan nilai “normal”, sehingga semua *impact category* sudah memakai unit yang sama dan bisa dibandingkan.

c. *Weighting*

Weighting merupakan tahapan dimana keseluruhan dampak yang telah dinilai akan dibandingkan dan disederhanakan dalam suatu bisnis ukuran yang sama. *Weighting* didapatkan dengan mengalikan kategori *impact* dengan *weighting factor* dan ditambahkan untuk mendapatkan nilai total.

d. *Single score*

Single score digunakan untuk mengklasifikasikan nilai kategori *impact* berdasarkan aktivitas atau proses. Dari nilai *single score* akan terlihat aktivitas mana yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan.

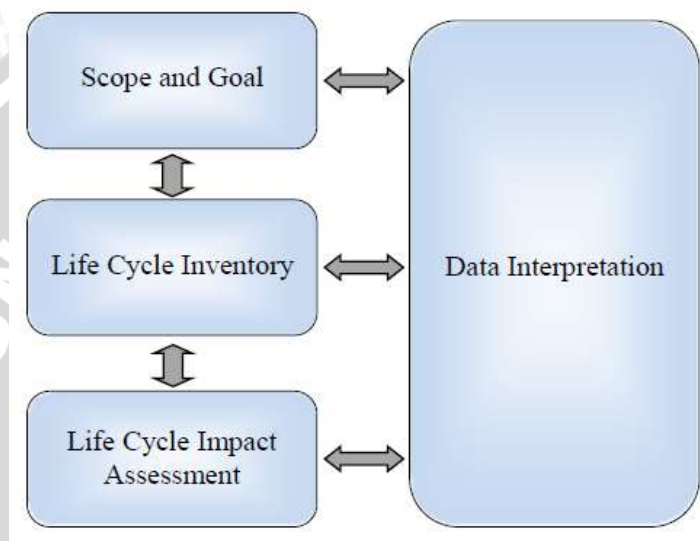
4. Interpretasi atau analisis perbaikan (*Improvement Analysis*)

Langkah keempat dalam *life cycle assessment* adalah untuk menginterpretasikan hasil dari langkah ketiga, bila mungkin disertakan saran langkah perbaikan untuk mengurangi dampak negatif lingkungan yang ditimbulkan selama daur hidup produk. Oleh karena itu, langkah ini merupakan langkah terpenting dalam metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Jika *life cycle 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. Langkah keempat ini disebut *improvement analysis* atau *interpretation step*. Adapun hal-hal utama yang diperlukan dalam tahap ini yaitu:

- Mengevaluasi hasil dari langkah-langkah yang sudah dilakukan.
- Menganalisis langkah-langkah tersebut untuk membuat alternatif solusi perbaikan pengurangan dampak lingkungan.
- Membuat suatu tindakan hasil dari alternatif solusi yang sudah dibuat yang berwawasan lingkungan.

Gambar 2.4 menunjukkan tahap dalam *Life Cycle Assessment*.



Gambar 2.4 Tahap dalam *Life Cycle Assessment* (LCA)
Sumber: Williams (2009)

2.4 Konsep *Multi Criteria Decision Making* (MCDM)

Secara umum masalah pengambilan keputusan merupakan suatu permasalahan dimana harus memperhitungkan beberapa alternatif potensial (solusi atau keputusan yang mungkin) sehingga dapat memilih satu alternatif yang dianggap paling baik atau mengurutkan alternatif-alternatif tersebut dari yang paling baik sampai yang paling buruk. Metode yang digunakan untuk pengambilan keputusan tersebut adalah *Multi Criteria Decision Making* (MCDM). MCDM adalah suatu *tool* atau metode dalam pengambilan keputusan berdasarkan teori, proses, dan analisis yang mempertimbangkan dinamika, ketidakpastian, serta kriteria pemilihan keputusan yang majemuk (Saaty, 2007). Kriteria itu sendiri adalah ukuran, aturan, atau standart untuk membantu dalam proses pengambilan keputusan. MCDM ini digunakan ketika banyak kriteria yang harus dipertimbangkan dalam suatu permasalahan. Semakin banyak kriteria yang dipertimbangkan, maka semakin

tinggi tingkat kesulitan dalam pengambilan keputusan. Terdapat berbagai macam metode yang dikembangkan dalam MCDM.

Salah satu tipe dari proses pendukung keputusan yang dapat membantu dalam pengambilan keputusan pada saat menghadapi *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) adalah *Analytic Hierarchy Process* (AHP). AHP adalah salah satu pendekatan metode riset dengan konsep analisis proses yang terhierarki dengan membuat asumsi-asumsi tentang independensi elemen-elemen pada level yang lebih tinggi dari elemen-elemen pada level yang lebih rendah (Gorener, 2012). Dikarenakan banyak masalah keputusan tidak dapat terstruktur secara hirarki, maka muncullah metode *Analytic Network Process* (ANP). Metode ini merupakan generalisasi dari *Analytic Hierarchy Process* (AHP), dengan menggunakan jaringan tanpa harus menetapkan level seperti pada hierarki yang digunakan dalam *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

2.4.1 *Analytic Network Process* (ANP)

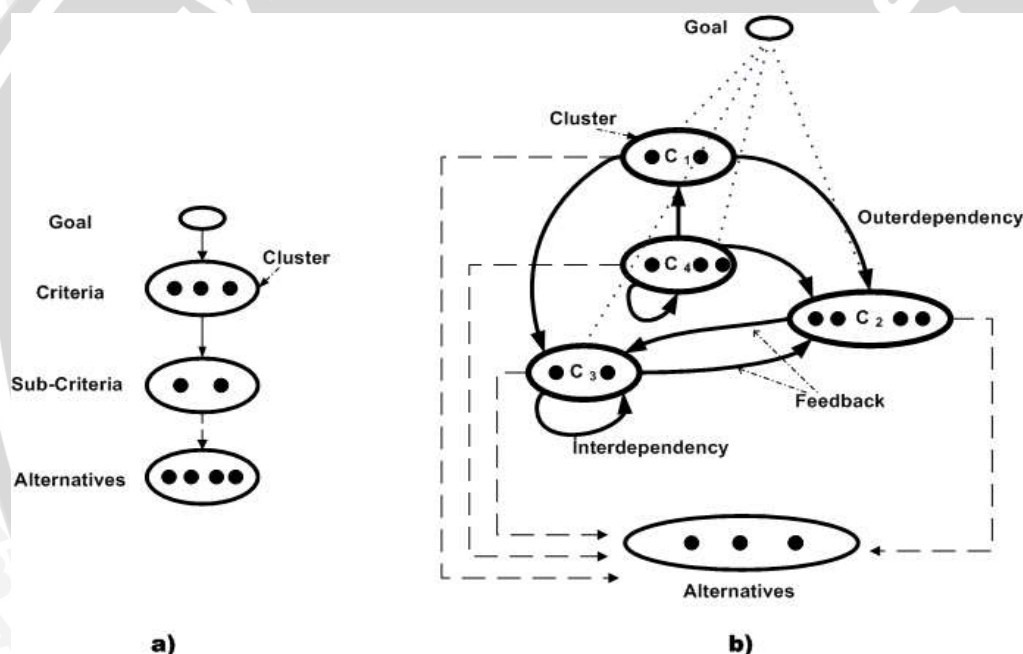
Analytic Network Process atau ANP merupakan pendekatan baru metode kualitatif dengan mempertimbangkan ketergantungan antara unsur-unsur hirarki. Diperkenalkan oleh Saaty (2001), dimaksudkan untuk “menggantikan” metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Kelebihan ANP dari metodologi yang lain adalah kemampuannya melakukan pengukuran dan sintesis sejumlah faktor-faktor dalam hierarki atau jaringan. Tidak ada metodologi lain yang mempunyai fasilitas sintesis seperti metodologi ANP.

Menurut Saaty (2001), ANP digunakan untuk menurunkan rasio prioritas komposit dari skala rasio individu yang mencerminkan pengukuran relatif dari pengaruh elemen-elemen yang saling berinteraksi berkenaan dengan kriteria kontrol. ANP merupakan teori matematika yang memungkinkan seseorang untuk memperlakukan *dependence* dan *feedback* secara sistematis yang dapat menangkap dan mengkombinasi faktor-faktor *tangible* dan *intangible*.

ANP merupakan pendekatan baru dalam proses pengambilan keputusan yang memberikan kerangka kerja umum dalam memperlakukan keputusan-keputusan tanpa membuat asumsi-asumsi tentang independensi elemen-elemen pada level yang lebih tinggi dari elemen-elemen pada level yang lebih rendah dan tentang independensi elemen-elemen dalam suatu level. Berbeda dengan *Analytic Hierarchy Process* (AHP), ANP dapat menggunakan jaringan tanpa harus menetapkan level seperti pada hierarki yang digunakan dalam AHP. Konsep utama dalam ANP adalah *influence* ‘pengaruh’, sementara

konsep utama dalam AHP adalah *preference* 'preferensi'. AHP dengan asumsi-asumsi dependensinya tentang *cluster* dan elemen merupakan kasus khusus dari ANP.

Dalam membuat keputusan, perlu dibedakan antara struktur hirarki dan jaringan yang digunakan untuk mencerminkan bagian-bagiannya. Dalam hirarki level disusun secara *descending* menurut pengaruhnya. Pada jaringan, komponen (sebutan level pada jaringan) tidak disusun pada urutan tertentu, namun dihubungkan secara berpasangan dengan garis lurus. Arah panah mencerminkan pengaruh dari sebuah komponen terhadap komponen yang lain. Perbandingan berpasangan dalam suatu komponen dibuat menurut dominasi pengaruh dari setiap pasangan elemen dalam sistem. Dalam jaringan sistem komponen dapat dianggap sebagai elemen yang berinteraksi dan mempengaruhi satu sama lain dengan mengacu pada suatu kriteria. Gambar 2.5 menunjukkan perbedaan antara hierarki dan jaringan.



Gambar 2.5 Perbedaan Hierarki dan Jaringan
Sumber: Gorener (2012)

Hierarki hanya menggambarkan suatu hubungan ketergantungan fungsional satu arah, yaitu ketergantungan fungsional (level) bagian bawah terhadap komponen (level) bagian atas. Jaringan mampu mengakomodasi ketergantungan fungsional dua arah, yaitu komponen bagian bawah dan bagian atas saling tergantung secara fungsional. Keterkaitan dalam metode ANP terdapat dua jenis yaitu keterkaitan dalam satu set elemen (*inner dependence*) dan keterkaitan antar elemen yang berbeda (*outer dependence*). Tabel 2.3 merupakan skala yang digunakan dalam ANP.

Tabel 2.3 Perbandingan Skala Verbal dan Skala Numerik

Skala Verbal	Skala Numerik
Amat sangat lebih besar pengaruh/tingkat kepentingannya	9
Di antara nilai 7-9	8
Sangat lebih besar pengaruh/tingkat kepentingannya	7
Di antara nilai 5-7	6
Lebih besar pengaruh/tingkat kepentingannya	5
Di antara 3-5	4
Sedikit lebih besar pengaruh/tingkat kepentingannya	3
Di antara 1-3	2
Sama besar pengaruh/ tingkat kepentingannya	1

Sumber: Saaty (2001)

2.4.2 Prinsip Dasar ANP

Prinsip-prinsip dasar ANP adalah berpikir secara analitis, pengambilan keputusan dalam metode ANP berdasarkan prinsip-prinsip sebagai berikut (Hennytasari, 2009):

1. Penyusunan struktur jaringan

Penyusunan struktur jaringan adalah langkah untuk mendefinisikan permasalahan yang kompleks ke dalam kluster dan elemennya, serta identifikasi hubungan interaksi ketergantungan yang ada di dalamnya. Struktur ini disusun berdasarkan pandangan dan pihak-pihak yang memiliki keahlian dan pengetahuan di bidang yang bersangkutan.

2. Penentuan prioritas

Penentuan prioritas terdiri dari elemen-elemen kriteria yang dapat dipandang sebagai bobot atau kontribusi elemen tersebut terhadap tujuan pengambilan keputusan. ANP melakukan analisis prioritas elemen dengan menggunakan metode perbandingan berpasangan antar dua elemen. Prioritas ini ditentukan berdasarkan pandangan para pakar dan pihak-pihak yang berkepentingan terhadap keputusan tersebut, baik secara langsung (wawancara) maupun tak langsung (kuesioner).

3. Konsistensi logis

Konsistensi jawaban para responden dalam menentukan prioritas elemen merupakan prinsip pokok yang akan menentukan validitas data dan hasil pengambilan keputusan. Secara umum, responden harus memiliki konsistensi dalam perbandingan elemen.

2.4.3 Tahap-tahapan dalam ANP

Menurut Saaty (2001) tahapan pengambilan keputusan dengan ANP adalah sebagai berikut:

1. Menyusun struktur masalah dan mengembangkan model keterkaitan

Melakukan penentuan sasaran atau tujuan yang diinginkan, menentukan kriteria mengacu pada kriteria kontrol, dan menentukan alternatif pilihan. Jika terdapat elemen-elemen yang memiliki kualitas setara maka dikelompokkan ke dalam suatu komponen yang sama.

2. Menghitung rata-rata bobot menggunakan rata-rata geometri

Menurut Xu (2000), bobot penilaian dari beberapa responden dalam suatu kelompok dirata-ratakan dengan rata-rata Geometrik penilaian (*Geometric Mean*). Tujuannya adalah untuk mendapatkan suatu nilai tunggal yang mewakili sejumlah responden.

Rumus Rata-rata Geometrik adalah sebagai berikut:

$$G = x_1^{w_1} * x_2^{w_2} \dots \dots \dots * x_n^{w_n} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

G = Rata-rata Geometrik

X_n = Penilaian ke 1,2,3...n

∑_{i=1}ⁿ W_n = 1 = Bobot ke 1,2,3....n

N = Jumlah penilaian

3. Membentuk matriks perbandingan berpasangan

ANP mengasumsikan bahwa pengambil keputusan harus membuat perbandingan kepentingan antara seluruh elemen untuk setiap level dalam bentuk berpasangan.

Perbandingan tersebut ditransformasi ke dalam bentuk matriks A. Nilai *a_{ij}* merepresentasikan nilai kepentingan relatif dari elemen pada baris ke-i terhadap elemen pada kolom ke-j, misalnya *a_{ij}* = $\frac{w_i}{w_j}$ Jika ada n elemen yang dibandingkan

maka matriks perbandingan A didefinisikan sebagai:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.2)$$



Berdasarkan matriks perbandingan berpasangan maka dilakukan normalisasi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Bobot setiap kolom_j dijumlahkan, total nilai kolom dilambangkan dengan S_{ij} .

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^n a_{ij} \dots \dots \dots (2.3)$$

- b. Nilai setiap kolom dibagi dengan total nilai kolomnya. Hasil dari pembagian itu dilambangkan dengan V_{ij} .

$$V_{ij} = \frac{a_{ij}}{S_{ij}}, ij = 1,2,3, \dots, n \dots \dots \dots (2.4)$$

- c. Selanjutnya dengan menghitung vektor prioritas relatif dari setiap kriteria dengan merata-ratakan bobot yang sudah dinormalisasi dengan baris ke-i. Prioritas kriteria ke-i dilambangkan dengan P_i .

$$S_{ij} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n} \dots \dots \dots (2.5)$$

4. Menghitung bobot elemen

Jika perbandingan berpasangan telah lengkap, vektor prioritas w yang disebut sebagai *eigen vector* dihitung dengan rumus:

$$A \times W = \lambda_{max} \times W \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan A adalah matriks perbandingan berpasangan dan λ adalah *eigen value* terbesar dari A . *Eigen vector* merupakan bobot prioritas suatu matriks yang kemudian digunakan dalam penyusunan supermatriks.

5. Menghitung rasio konsistensi

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 persepinya secara konsisten terutama jika harus membandingkan banyak kriteria. Berdasarkan kondisi ini, maka pengambil keputusan dapat menyatakan persepinya tersebut akan konsisten nantinya atau tidak. Pengukuran konsistensi dari suatu matriks itu sendiri didasarkan atas *eigen value* maksimum. Saaty (2001) telah membuktikan bahwa indeks konsistensi dari matriks berordo n dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \dots \dots \dots (2.7)$$

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

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

Apabila CI bernilai nol, maka matriks *pair wise comparison* tersebut konsisten. Batas ketidakkonsistenan (*inconsistency*) yang telah ditetapkan oleh 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 :

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots (2.8)$$

CR = Rasio Konsistensi

RI = Indeks Random

Bila matriks perbandingan berpasangan (*pair-wise comparison*) dengan nilai CR lebih kecil dari 0,100 maka ketidakkonsistenan pendapat dari *decision maker* masih dapat diterima, jika tidak maka penilaian perlu diulang. Nilai RI merupakan nilai random indeks yang dikeluarkan oleh Oarkridge *Laboratory* yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Tabel Nilai Random Indeks

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56

Sumber : Saaty (2001)

6. Membuat Supermatriks

Supermatriks merupakan hasil vektor prioritas dari perbandingan berpasangan antar *cluster*, kriteria, dan alternatif. Supermatriks terdiri dari tiga tahap, yaitu Supermatriks Tidak Tertimbang (*Unweighted Supermatrix*), Supermatriks Tertimbang (*Weighted Supermatrix*), dan Supermatriks Limit (*Limmiting Supermatrix*).

a. Tahap *Unweighted Supermatrix*

Unweighted Supermatrix dibuat berdasarkan perbandingan berpasangan antar *cluster*, kriteria, dan alternatif dengan cara memasukkan vektor prioritas (*eigen vector*) kolom ke dalam matriks yang sesuai dengan selnya.

b. Tahap *Weighted Supermatrix*

Weighted Supermatrix diperoleh dengan cara mengalikan semua elemen pada *unweighted supermatrix* dengan nilai yang terdapat dalam matriks *cluster* yang sesuai sehingga setiap kolom memiliki jumlah satu.

c. Tahap *Limmiting Supermatrix*

Selanjutnya untuk memperoleh *limmiting supermatrix*, *weighted supermatrix* dinaikkan bobotnya. Menaikkan bobot *weighted supermatrix* dilakukan dengan cara mengalikan supermatriks tersebut dengan dirinya sendiri sampai beberapa kali. Ketika bobot pada setiap kolom memiliki nilai yang sama, maka *limmiting supermatrix* sudah didapatkan.

