

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan menjelaskan teori-teori dan referensi yang mendukung pembahasan yang berguna untuk menganalisa dan mengolah data pada penelitian ini. Tinjauan pustaka berawal dari jurnal, penelitian terdahulu, buku, internet, dan sumber-sumber lain.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memaparkan beberapa konsep relevan yang berhubungan dengan penelitian ini. Berikut merupakan uraian penelitian terdahulu yang berkaitan dengan *Life Cycle Assessment* yang selanjutnya disebut LCA.

1. Lardon, dkk (2009) melakukan penelitian *Life Cycle Assessment* produksi biodiesel dari mikroalga, pada penelitian ini *life cycle* yang digunakan hanya dalam skala laboratorium, bukan skala industri dikarenakan masih belum adanya teknologi yang belum memenuhi untuk proses produksi mikro alga. Pada penelitian ini spesies yang digunakan adalah *chlorella vulgaris*. Dari hasil penelitian diketahui bahwa biodiesel dari alga mempunyai hasil terburuk pada radiasi ionisasi, fotokimia, oksidasi, toksisitas di laut, dan penurunan abiotik. Namun produksi biodiesel dari alga mempunyai hasil dampak lingkungan terendah pada tes eutrofikasi, penggunaan lahan, dampak rata-rata asidifikasi, toksisitas terhadap manusia dan penipisan ozon.
2. Yin, Shi, dkk (2015) pada penelitian ini dilakukan studi tentang dampak lingkungan dari pembentukan beton seluas 100 m² dengan empat alternatif dengan batasan LCA *cradle to gate*. Alternatif pertama yaitu menggunakan *steel reinforcing mesh* (SRM), yang kedua menggunakan fiber dari *virgin polypropylene* (PP), yang ketiga yaitu PP daur ulang dari limbah industri dan yang keempat yaitu PP daur ulang dari limbah domestik. Untuk mendapatkan kesamaan dari pembentukan beton ini membutuhkan 364 kg SRM untuk alternatif satu, dan 40 kg fiber PP dari masing-masing alternatif kedua, ketiga, dan keempat. Untuk pengukurannya, semua aspek dipertimbangkan mulai dari transportasi, daur ulang dan pemrosesan ulang. Dari hasil LCA menunjukkan bahwa bahan fiber PP dari daur ulang industri lebih rendah tingkat emisi CO₂ setara 50%, PO₄ setara 65%, air setara 29% dan penggunaan minyak 78% jika dibandingkan dengan fiber *virgin* PP. Ketika dibandingkan dengan

SRM bahan fiber dari daur ulang limbah industri lebih rendah di tingkat emisi CO₂ setara 93%, PO₄ setara 97%, air setara 99% dan minyak setara 91%. Pada penggunaan limbah domestik juga mengurangi dampak lingkungan pada perbandingan terhadap *virgin* PP, kecuali pada penggunaan air, karena pada proses pencucian fiber menggunakan lebih banyak air.

3. Kouchaki-Penchah, Hamed (2015), menganalisa LCA tentang *medium density fiberboard*(MDF), pada penelitiannya berkaitan dengan konsumsi energi dan hubungannya terhadap produksi dari satu meter kubik MDF di Iran dan juga menyediakan data *life cycle inventory* (LCI) untuk proses produksi. Analisa ini mengacu pada petunjuk dari ISO 14040. Data penyimpanan untuk penilaian *gate to gate* dari produksi MDF didapatkan dari survei lapangan. Sepuluh dampak yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah *abiotic depletion* (AD), *Acidification* (AC), *Eutrophication* (EP), *Global Warming* (GW), *Ozone Layer Depletion* (OLD), *Fresh Water Aquatic Ecotoxicity* (FE), *Marine Aquatic Ecotoxicity* (ME), *Human Toxicity* (HT), *Terrestrial Ecotoxicity* (TE) dan *Photochemical Oxidation* (PO). Pada penelitian ini diketahui bahwa persiapan fiber mempunyai dampak lingkungan terbesar. Pada urea-formaldehyde (UF) merupakan titik terberat di dampak lingkungannya kecuali pada poin AD, AC, OLD dan PO. Tetapi semua dampak yang terdapat dalam UF berbanding terbalik dengan penggunaan dari penggunaan natural gas, penggunaan listrik, transportasi, dan proses produksi. Namun, *Tube dryer*, *gergaji MDF* dan *Hogger* dimana peralatan ini merupakan yang paling efektif di emisi proses produksi. Hasil dari penggantian penggunaan natural gas menunjukkan bahwa kecuali di beberapa kategori, penggunaan energi panas alternatif seperti sisa kayu dapat meningkatkan emisi dari produksi.
4. Zuhria Kautzar, Galuh. dkk (2015), menganalisa dampak lingkungan pada aktivitas *supply chain* produk kulit menggunakan metode LCA dan ANP di PT XYZ. Pada penelitian ini dampak lingkungan terbesar pada proses tanning memiliki nilai dampak terbesar tidak hanya dalam kategori *ecotoxicity water acute*, tetapi juga memiliki nilai dampak terbesar pada kategori *ecotoxicity water chronic* dan *human toxicity soil* dengan nilai masing-masing sebesar 1.43 dan 0.486. Alternatif-alternatif perbaikan untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses produksi kulit adalah menggunakan senyawa alkali berupa Ca(OH)₂ dan NaHC untuk menurunkan kadar kromium dalam limbah penyamakan kulit, menggunakan limbah lumpur penyamakan kulit yang mengandung kromium sebagai bahan baku

kompos, dan mengaplikasikan metode elektrolisis menggunakan elektroda platina (Pt), tembaga (Cu), dan karbon (C) untuk menurunkan kadar kromium pada limbah penyamakan kulit. Dengan menggunakan metode *Analytical Network Process* (ANP) didapatkan alternatif perbaikan terbaik berdasarkan kriteria *benefit, opportunities, costs and risks* adalah menggunakan limbah lumpur penyamakan kulit yang mengandung chromium sebagai bahan baku kompos dengan nilai prioritas sebesar 0.47249.

5. Pada penelitian ini, Verdian, Erham (2016), menganalisa *life cycle assessment* pada produk *bathtub* dan *basin* di CV Apaiser Indonesia. Pada penelitian ini hasil perhitungan Simapro 8.1 untuk proses pembuatan *bathtub* dampak negatif terhadap lingkungan adalah *Aquatic eutrophication (P)*, *Human toxicity air*, dan *Ecotoxicity soil chronic*. untuk proses pembuatan *basin* total dampak lingkungan tertinggi adalah *Aquatic eutrophication (P)*, *Humantoxicity air*, dan *Human toxicity water*. Rekomendasi yang diberikan oleh penulis adalah penggantian *polyester unsaturated resin* konvensional ke *green polyester unsaturated resin* yang lebih kuat dari resin konvensional senilai 200 psi. Penyesuaian penggunaan masker untuk masing-masing stasiun kerja seperti *full face mask supplied air respirator* di stasiun kerja *spraying*, *full face mask respirator* di stasiun kerja *grinding* dan masker tipe N95 di stasiun kerja lainnya. Pembangunan pengolahan limbah cair perusahaan. Pindahan tempat pembuangan limbah ke daerah tidak produktif. Dan penggantian metode pembuatan *basin* dari teknik *casting* ke teknik *spraying* karena dapat mengurangi rata-rata dampak lingkungan sebesar 60%

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Pengarang	Metode	Masalah	Hasil
Lardon, dkk (2009)	LCA	Bagaimana dampak lingkungan yang terjadi di proses produksi biodiesel menggunakan mikro alga sebagai bahan dasar biodiesel.	Hasil terburuk dari perbandingan dengan lainnya adalah radiasi ionisasi, fotokimia, oksidasi, dan toksisitas di laut, dan penurunan abiotik. Dan hasil terbaik dibandingkan lainnya terdapat pada eutrofikasi, penggunaan lahan, dampak rata-rata asidifikasi, toksisitas terhadap manusia dan penipisan ozon
Yin, Shi, dkk (2015)	LCA	Bagaimana perbandingan dampak lingkungan antara penggunaan plat beton menggunakan <i>steel reinforcing mesh</i> (SRM), <i>virgin polypropylene</i> (PP) dan PP daur ulang.	Bahan fiber PP dari daur ulang industri lebih rendah tingkat emisi CO ₂ setara 50%, PO ₄ setara 65%, Air setara 29% dan penggunaan minyak 78% jika dibandingkan dengan fiber <i>virgin</i> PP. Ketika dibandingkan dengan SRM bahan fiber dari daur ulang limbah industri lebih rendah di tingkat emisi CO ₂ setara 93%, PO ₄ setara 97%, air setara 99% dan minyak setara 91%
Kouchaki-Penchah, Hamed (2015)	LCA	Bagaimana dampak lingkungan yang terdapat pada proses produksi <i>medium density fiberboard</i> (MDF) di Iran	Penggunaan <i>urea-formaldehyde</i> merupakan dampak terbesar terhadap lingkungan.
Zuhria Kautzar, Galuh. dkk (2015)	LCA dan ANP	Bagaimana dampak lingkungan dari industri penyamakan kulit.	Proses <i>tanning</i> memiliki nilai dampak lingkungan terbesar dalam kategori <i>ecotoxicity water acute</i> dengan nilai sebesar 1.58. Proses <i>tanning</i> memiliki nilai dampak terbesar tidak hanya dalam kategori <i>ecotoxicity water acute</i> , tetapi juga memiliki nilai dampak terbesar pada kategori <i>ecotoxicity water chronic</i> dan <i>human toxicity soil</i>
Verdian, Erham, dkk (2016)	LCA	Bagaimana dampak lingkungan yang terjadi dari produk <i>bathtub</i> dan <i>basin</i> di CV Apaiser Indonesia	Pada penelitian ini hasil perhitungan Simapro 8.1 untuk proses pembuatan <i>bathtub</i> dampak negatif terhadap lingkungan adalah <i>Aquatic eutrophication (P)</i> , <i>Human toxicity air</i> , dan <i>Ecotoxicity soil chronic</i> . untuk proses pembuatan <i>basin</i> total dampak lingkungan tertinggi adalah <i>Aquatic eutrophication (P)</i> , <i>Humantoxicity air</i> , dan <i>Human toxicity water</i> .

2.2 Life Cycle Assessment(LCA)

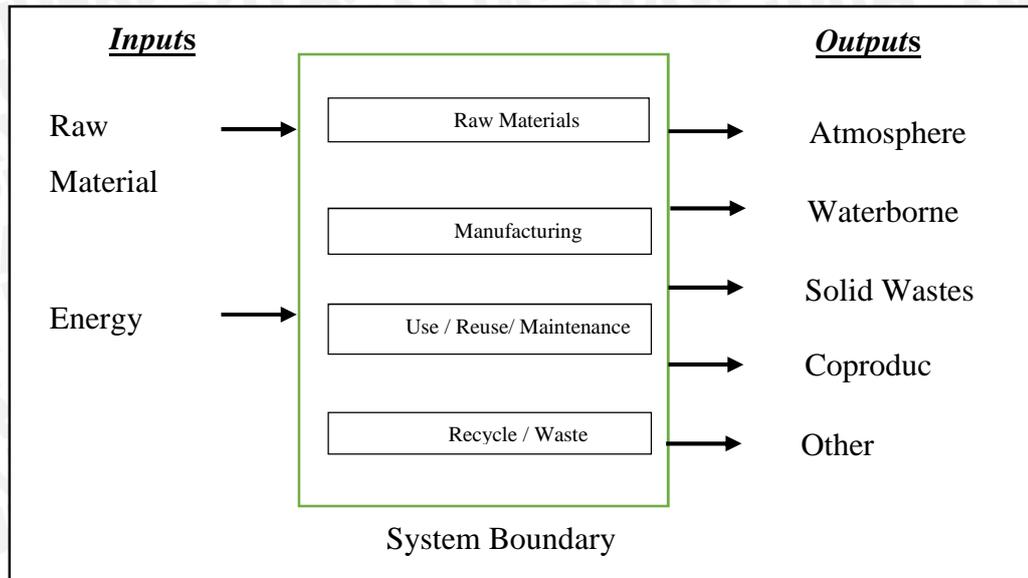
LCA pertama kali dikenalkan oleh Harold Smith yang merupakan *general manager* dari proyek Douglas Point Nuclear Generating Station di Kanada. Pada konferensi energi dunia di tahun 1963, Smith melaporkan kalkulasinya dari kebutuhan energi kumulatif dari produksi bahan kimia menengah dan produk.

Menurut ISO 14040 : 2006, "*life cycle assessment* adalah teknik pengukuran potensi dampak terhadap lingkungan dari siklus hidup produk dari ekstraksi bahan baku hingga produksi, penggunaan, perlakuan di akhir masa penggunaan, daur ulang dan sampai pembuangan akhir". Di ISO 14040 juga menjelaskan bahwa LCA dapat membantu untuk mengidentifikasi peluang untuk meningkatkan performansi lingkungan dari produk di berbagai aspek seperti contohnya dapat menjadikan sebagai dasar untuk membuat alat untuk mengukur performansi perusahaan, sebagai penunjang untuk sistem pemasaran yang dilakukan oleh perusahaan, dan lain sebagainya. Selain itu dengan menggunakan analisis LCA perusahaan dapat mendapatkan informasi tambahan untuk menunjang pengambilan keputusan.

Menurut Bacon (2006) "LCA adalah pendekatan "*cradle to grave*" untuk menilai sistem produksi di industri. Dimulai dari pengumpulan (ekstraksi) bahan baku dari bumi untuk membuat produk dan berakhir pada titik ketika semua material kembali ke bumi". Bacon juga menyatakan bahwa LCA mengevaluasi seluruh tahap dari siklus hidup satu produk dari segi yang interdependen, dalam arti satu operasi menuju selanjutnya. LCA juga menghubungkan estimasi dari dampak lingkungan secara kumulatif di semua tahapan siklus hidup produk,

Menurut Weitz et. Al (1999) LCA merupakan pendukung kerangka, sebuah pendekatan dan metode untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi beban lingkungan yang berhubungan dengan *life cycles* dari material dan jasa, di lingkup *cradle to cradle*.

Istilah dari "*life cycle*" merujuk pada aktivitas utama di rentang perjalanan produk dari proses produksi, masa penggunaan dan pemeliharaan sampai pembuangan akhir, termasuk ekstraksi bahan baku yang dibutuhkan untuk memproduksi produk tersebut. Pada gambar dibawah ini mengilustrasikan tahapan siklus hidup yang dapat dipertimbangkan dalam LCA.



Gambar 2. 1 Siklus hidup
Sumber : EPA 1993

Menurut William (2009) LCA memiliki beberapa kelebihan, berikut adalah kelebihan dari LCA:

1. Dapat mengkalkulasi dampak lingkungan dari produksi maupun penggunaan suatu produk
2. Dapat mengidentifikasi dampak negatif maupun positif dari proses pembuatan produk maupun penggunaan produk tersebut
3. Dapat membandingkan dan menganalisa beberapa proses berdasarkan dari dampak lingkungannya.
4. Dapat mencari cara lain untuk proses produksi dan peningkatan produk
5. Dapat membenarkan perubahan di proses produksi ataupun penggunaan produk secara kuantitatif.

Menurut William (2009), tipe data yang dibutuhkan dalam analisis LCA adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran
2. Model
3. Sampel
4. Data rata-rata
5. Data sepsifik perusahaan
6. Data vendor atau perusahaan
7. Data bakal LCA dan non LCA

Sedangkan untuk sumber data dapat berupa sebagai berikut:

1. Pembacaan pengukuran peralatan

2. Data operasi dan jurnal
3. Laporan industri
4. Hasil tes
5. Laporan, basis data dan dokumen milik pemerintah
6. Data dan laporan yang dipublikasikan
7. Dokumen yang dipublikasikan (jurnal, artiel, dan buku)
8. Penelitian sebelumnya, dan
9. Survei dan audit

2.2.1 Macam-macam Batasan LCA

Terdapat berbagai macam batasan untuk pengukuran di LCA. Berikut adalah macam-macam batasan LCA (Hermawan,2013):

1. *Cradle to cradle*

Cradle to cradle merupakan batasan yang dilakukan di analisis LCA yang meliputi keseluruhan material dari ekstraksi bahan baku sampai dengan menjadi bahan baku kembali atau hingga di daur ulang.

2. *Cradle to grave*

Cradle to grave merupakan batasan yang dilakukan di LCA meliputi ekstraksi baham baku hingga sampai ke pembuangan akhir atau akhir masa hidup produk.

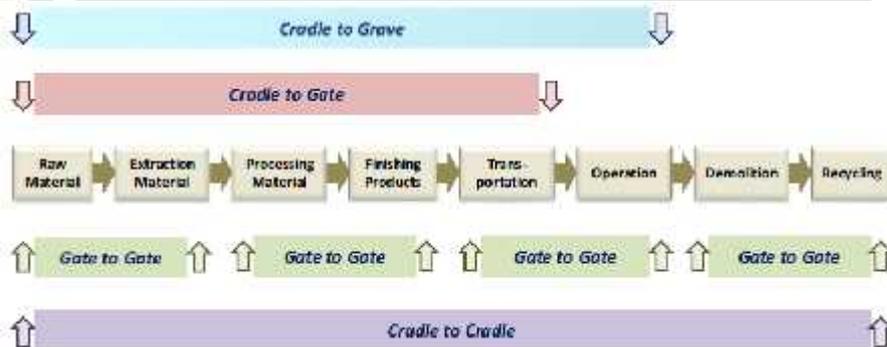
3. *Cradle to gate*

Cradle to gate merupakan batasan yang dilakukan di LCA meliputi ekstraksi bahan baku hingga pengolahan di perusahaan.

4. *Gate to gate*

Gate to gate merupakan batasan yang dilakukan di LCA yang hanya menilai dampak lingkungan dalam proses produksi di perusahaan.

Berikut merupakan skema dari batasan LCA menurut Hermawan (2013)



Gambar 2. 2 Batasan LCA
 Sumber : Hermawan (2013)



2.2.2 Tahapan LCA

Terdapat empat fase penilaian pada analisis LCA, berikut adalah tahapan-tahapan dalam LCA sesuai dengan standar ISO 14040 : 2006, yang dapat diilustrasikan pada gambar 2.5.

1. Penentuan tujuan dan batasan (*goal an Scope Definition*)

Pada standar ISO, ISO tidak mendefinisikan secara detail tahapan pertama ini. Pada tahapan pertama ini tidak ada data yang dikumpulkan dan tidak ada hasil yang didapatkan. Meskipun begitu pada tahapan ini adalah tahapan untuk membuat rencana LCA yang didefinisikan se jelas mungkin dan tidak ambigu. Menurut Curran (2006), penentuan tujuan dan batasan harus meliputi hal berikut:

- a. Aplikasi yang jelas.
- b. Alasan kenapa harus mengambil permasalahan tersebut.
- c. Peserta yang terlibat harus jelas
- d. Apakah hasilnya akan digunakan dalam pernyataan perbandingan yang diungkapkan ke publik.

Aspek yang penting pada penentuan tujuan adalah *functional unit* (FU). FU merupakan penyetaraan untuk beberapa ukuran dengan tujuan membandingkan penggunaan produk. Menurut Curran (2006) FU untuk analisa sistem penerangan sebaiknya menggunakan kata-kata daripada fungsi matematika, dikarenakan hal ini akan memudahkan pembaca laporan LCA untuk memahami maksud dari peneliti.

Untuk penentuan tujuan dan batasan LCA, batasan yang digunakan terhadap sistem yang diamati dan detail dari tingkatan di dalam penelitian. Pada analisis LCA batasan sistem dan detail penelitian tergantung dari penelitian yang dilakukan. Kedalaman dan luasnya penelitian LCA dapat berbeda pada setiap penelitian bergantung pada tujuan dan perincian dari tujuan LCA. Menurut William (2009) berikut adalah pertimbangan yang diperlukan dalam penentuan tujuan:.

- a. Tujuan dari analisis
- b. Pihak yang terlibat
- c. Produksi dan informasi proses
- d. Keakuratan data
- e. Intrepretasi hasil dan pembeberan data
- f. Aturan dasar

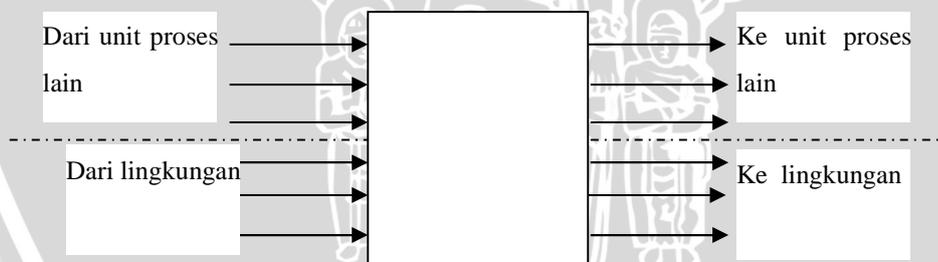
2. *Inventory Analysis*

Pada tahapan *inventory analysis* merupakan analisis data *input* dan *output* dari persediaan terhadap produk yang diteliti. Analisis ini melibatkan kumpulan data yang diperlukan yang sesuai dengan tujuan dari analisis LCA terhadap produk. Pada tahapan ini akan sangat membantu peneliti untuk mencari *improvement*, perubahan desain, dan pengembangan regulasi baru.

ISO mendefinisikan *inventory analysis* atau *life cycle inventory* (LCI) sebagai “ fase dari LCA yang melibatkan kompilasi perhitungan *input* dan *output* untuk produk sepanjang siklus hidupnya”. Hal ini sangat jelas bahwa perhitungan adalah aspek penting. Pada ketentuan data dan kalkulasi merupakan perhatian utama pada *inventory analysis*.

Inventory Analysis dibangun berdasarkan unit proses. Unit proses merupakan elemen terkecil yang benar-benar dipertimbangkan di LCI untuk *input* dan *output* mana yang dihitung. Pada LCA, unit proses diperlakukan sebagai *black box* yang mengkonversi sekumpulan *input* menjadi sekumpulan *output*. *Input* didapatkan dari berbagai tipe, seperti komponen produk, material, jasa, limbah untuk diolah dan sumber daya alam (baik biotik maupun abiotik). *Output* juga didapatkan dari berbagai tipe, seperti produk yang dihasilkan, limbah untuk diolah kembali, dan limbah yang dibuang ke alam (termasuk polusi udara, air, dan tanah ; limbah panas dan kebisingan).

Berikut merupakan skema dari unit proses menurut Curran (2006)



Gambar 2. 3 Skema unit proses
Sumber : Curran (2006)

Data kuantitatif harus dikumpulkan pada setiap unit proses,. Pada pemrosesan data representasi yang jelas sangatlah diperlukan maka dari itu harmonisasi dari penggunaan unit ukuran haruslah sama dari awal hingga akhir laporan dari LCA, seperti penggunaan satuan ukuran berat, jika pada awal penelitian menggunakan kilogram maka selanjutnya peneliti harus selalu menggunakan satuan kilogram bukan menggunakan satuan ukuran lainnya seperti pound (lb).

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan pada pembuatan *inventory analysis* adalah sebagai berikut (William, 2009):

a. Aliran proses

Pada aliran proses data yang diperlukan diantaranya, energi yang diperlukan, bahan baku, transportasi yang digunakan (mode transportasi, berat, dan jarak), jumlah produksi, produk akhir, *scrap* perusahaan, durasi produksi (termasuk penutupan proses produksi, persiapan, fluktuasi produksi, dll)

b. Pengumpulan data

Untuk pengumpulan data, hal-hal yang perlu dipertimbangkan adalah tipe data dan kualitas data, indikator kualitas data, akurasi data, *spreadsheets* yang diperlukan, area keputusan, kemungkinan kelalaian, sensitivits data, metode pengumpulan data (penelitian, wawancara, survei, dan ketersediaan data), data penyimpanan, dan unit ukuran dan konsistensi.

c. Hasil

Pada saat penentuan hasil yang perlu dipertimbangkan adalah batasas, dampak lingkungan, pembandingan, kontribusi proses, tren hasil, dampak lingkungan dari rekomendasi, batasan geografis, dampak kesehatan, informasi organisasi dan kejelasan ringkasan hasil.

3. *Impact Assessment*

Di tahapan *impact assessment* bertujuan untuk mendukung informasi tambahan untuk menilai sistem dari produk dari hasil *inventory analysis* sehingga dapat lebih mudah dimengerti efek terhadap lingkungan.

Menurut ISO tahapan *impact assessment* adalah sebagai berikut.

- a. Seleksi kategori dampak, kategori indikator, dan karakterisasi model.
- b. Klasifikasi
- c. Karakterisasi
- d. Normalisasi
- e. Pengelompokan
- f. Pembobotan
- g. Analisis kualitas data

Untuk membuat *impact assessment* yang baik perlu memperhatikan hal-hal yang dapat mempengaruhi hasil dari *impact assessment* Berikut adalah hal-hal yang harus diperhitungkan dalam *impact assessment*.

- a. Kategori dampak, seperti pemanasan global, asidifikasi, dampak toksisitas terestrial, efek *input* dan *output* terhadap kesehatan manusia, tumbuhan, hewan dan ketersediaan sumberdaya alam di masa depan.

- b. Kategorisasi hasil, seperti kategorisasi LCI, faktor konversi dan faktor dampak
- c. Perbandingan dampak, dalam poin ini hal yang harus diperhitungkan adalah satu tahap siklus hidup atau keseluruhan siklus hidup, pengelompokkan indikator (menurut lokasi, industri, proses, dan produk).
- d. Potensi dampak penting, dalam poin ini diperlukan sortis data dan pembobotan.
- e. Hasil, dalam poin hasil perlu memperhitungkan akurasi data, rekomendasi, batasan asumsi dan ketidakpastian

4. *Intrepretation*

Pada tahapan *intrepretation* hasil dari *inventory analysis* dan *impact assessment* dirangkum dan didiskusikan untuk dasar sebagai kesimpulan, rekomendasi dan penentuan keputusan yang sesuai dengan tujuan dan batasan yang telah disampaikan.

ISO mendefinisikann *intrepretasi* sebagai fase dari LCA yang mempertemukan *inventory analysis* dan *impact assessment* yang di evaluasi dalam hubungannya pada pendefinisian tujuan dan batasan untuk mendapatkan kesimpulan dan rekomendasi. Beberapa elemen yang didefinisikan oleh ISO di *intrepetasi* adalah sebagai berikut.

- a. Identifikasi hal yang signifikan
- b. Evaluasi yang mempertimbangkan kelengkapan, sensitivitas, dan pemeriksaan konsistensi
- c. Kesimpulan, batasan dan rekomendasi
- d. Kesesuain dari definisi dari fungsi sistem, *functional unit*, dan batasan sistem.
- e. Identifikasi batasan dari kualitas data penilaian dan analisis sensitivitas.

Untuk *intrepretasi* hasil diperlukan pertimbangan sebagai berikut (william, 2009).

- a. Hasil akhir

Di hasil akhir dari laporan LCA adalah pemeriksaan konsistensi, evaluasi kelengkapan, pemeriksaan sensitivitas, pemeriksaan konsistensi, kontribusi atau dominasi, ekspektasi hasil, perbedaan hasil, pemeriksaan anomali,

- b. Kesimpulan

Hal yang perlu diperhatikan dalam kesimpulan adalah hal yang paling signifikan, perbandingan data, perbedaan data, dampak kesehatan, dampak lingkungan, besarnya dampak, dan kondisi batasan.

- c. Batasan

Hal yang perlu diperhatikan dalam batasan adalah asumsi dan estimasi, data yang bias, spesifikasi hasil, observasi dan rekomendasi

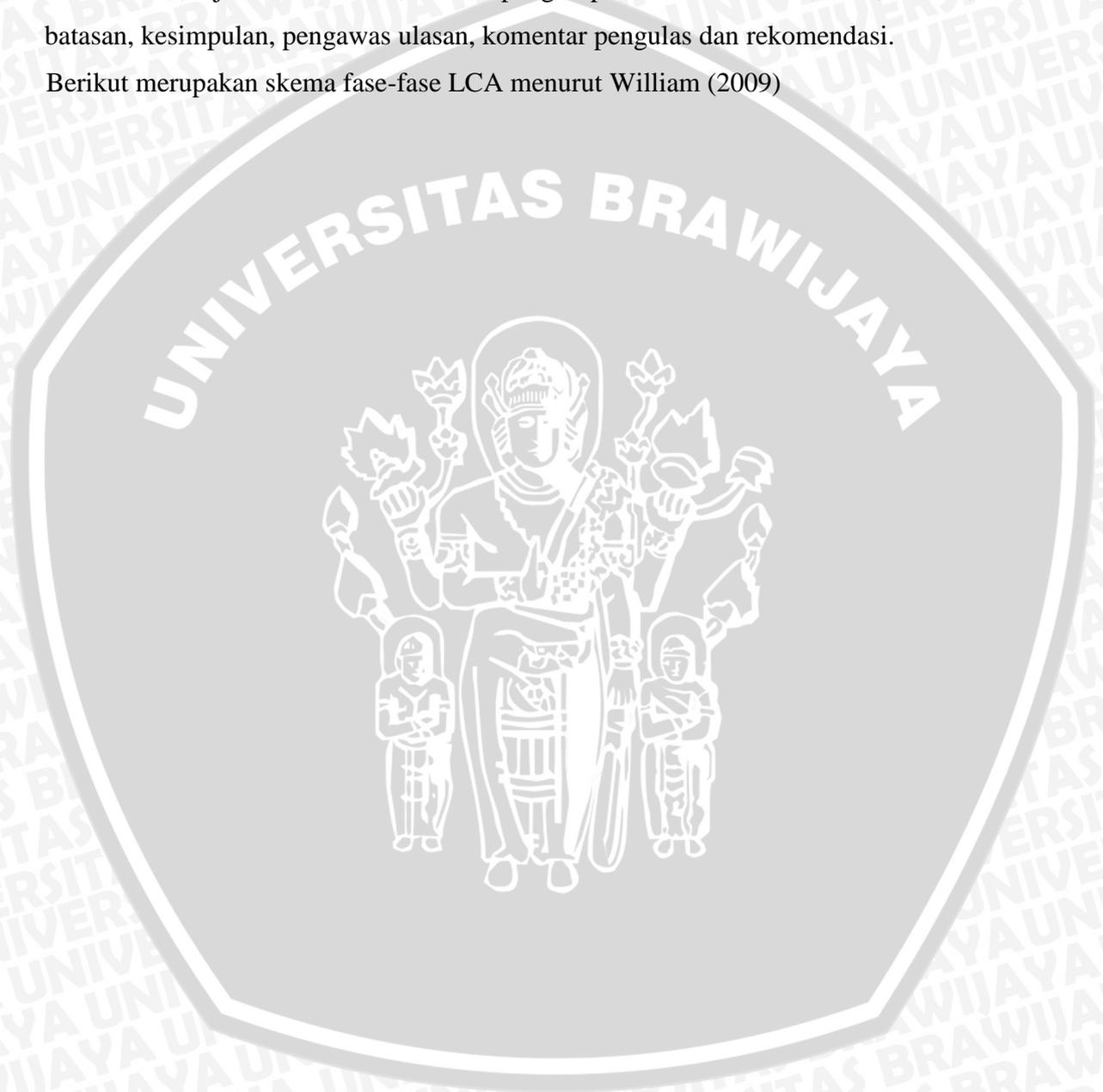
d. Rekomendasi

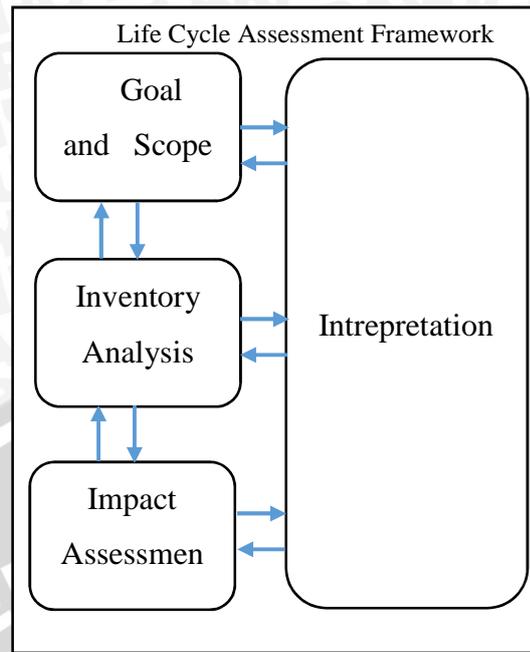
Hal yang perlu diperhatikan dalam rekomendasi adalah informasi administrasi, perubahan produk dan proses, dan menjaga tujuan dan batasan awal.

e. Laporan informasi

Hal yang perlu diperhatikan dalam laporan informasi adalah informasi administrasi, tujuan dan batasan, metode pengumpulan data dan hasil, hasil, asumsi, batasan, kesimpulan, pengawas ulasan, komentar pengulas dan rekomendasi.

Berikut merupakan skema fase-fase LCA menurut William (2009)



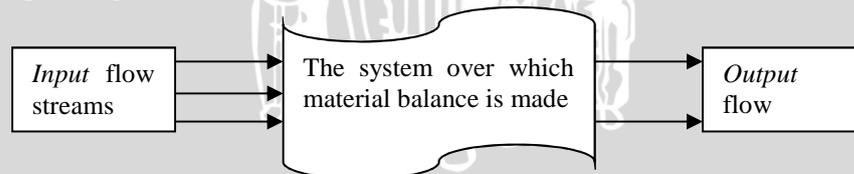


Gambar 2. 4 Fase LCA
 Sumber : William (2009)

2.3 Neraca Massa

Neraca massa atau neraca material merupakan suatu metode untuk mempelajari kesetimbangan massa dalam suatu sistem. Himmelblau (1989) menyatakan bahwa neraca massa tidak lebih dari perhitungan untuk aliran material dan perubahan *inventory* dari material untuk sebuah sistem. Detail internal tidak terlalu diperhatikan dalam neraca massa namun hanya memperhatikan bagian dari material yang ada di batasan volume dan perubahan material di dalam sistem.

Berikut merupakan gambaran neraca massa menurut Himmelblau (1989)



Gambar 2. 5 Neraca Massa

Berikut merupakan prinsip dari neraca material yang dapat diaplikasikan dengan reaksi kimia maupun tanpa reaksi kimia menurut Himmelblau (1989).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{accumulation} \\ \text{within the} \\ \text{system} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{input} \\ \text{through} \\ \text{system} \\ \text{boundaries} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{output} \\ \text{through} \\ \text{system} \\ \text{boundaries} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{generation} \\ \text{within the} \\ \text{system} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{consumption} \\ \text{within the} \\ \text{system} \end{array} \right\} \quad (2.1)$$

Namun menurut Himmelblau (1989) dalam neraca massa, *generation* dan *consumption* dikondisikan nol meskipun reaksi kimia muncul atau tidak. Sehingga dapat digambarkan dengan rumus berikut.

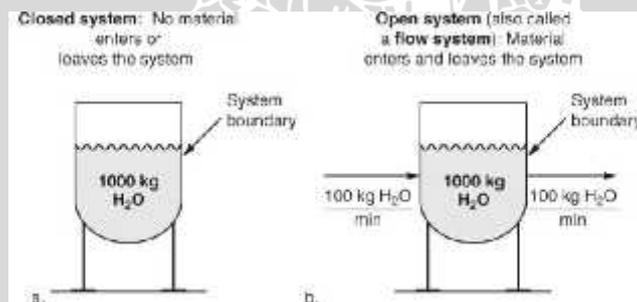
$$\{\text{accumulation}\} = \{\text{input}\} - \{\text{output}\} \quad (2.2)$$

2.3.1 Karakteristik Sistem

Sistem yang dimaksudkan dalam pembahasan ini adalah bagian yang ditentukan oleh peneliti secara sepihak untuk di analisis. Peneliti dapat mendefinisikan sitem seperti reaktor, bagian dari pipa, atau seluruh bagian dari proses di suatu perusahaan. Atau bisa juga membatasi sistem dengan menggambarkan batasan sistem, yang batasan ini merupakan satu lini yang berdekatan dari porsi proses yang diidentifikasi.

2.3.1.1 Jenis Sistem

Pada pendefinisian sistem terdapat dua macam sistem yaitu sistem tertutup dan sistem terbuka. sistem tertutup tidak ada material masuk maupun keluar dari batasan sistem. Sedangkan sistem terbuka terdapat material masuk dan keluar dari batasan sistem. Berikut adalah gambaran sistem tertutup dan terbuka menurut Himmelblau (2012), dengan gambar a) sistem tertutup dan gambar b) sistem terbuka.

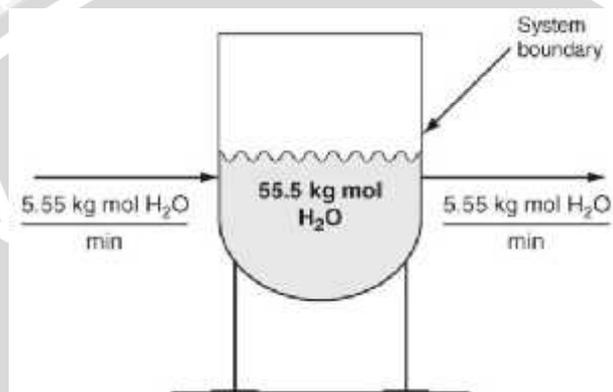


Gambar 2. 6 Perbedaan sistem terbuka dan sistem tertutup
Sumber : Himmelblau (2012)

2.3.1.1 Steady-state

Steady-state merupakan keadaan dimana nilai dari variabel dari material atau properti dalam suatu proses tidak mengalami perubahan, dengan kata lain jumlah yang masuk sama dengan jumlah yang keluar. Maka dari itu akumulasinya nol.

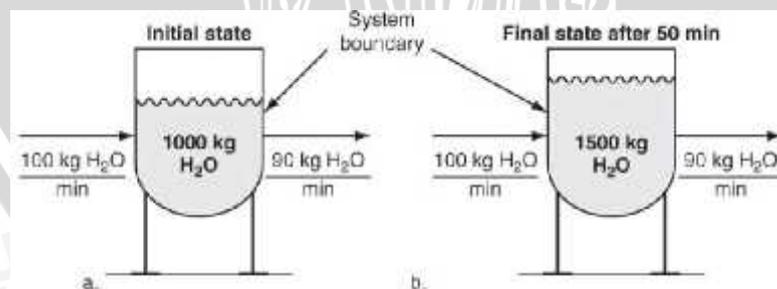
Mayoritas proses produksi di industri dalam keadaan normal tidak sepenuhnya dalam keadaan *steady-state* karena nilai dari variabel yang terlibat ketika diukur berfluktuasi secara terus menerus disebabkan oleh gangguan tingkat rendah pada proses dan tindakan ketika mengontrol sistem untuk menetralkan gangguan tersebut. Operasi dari proses ini biasa disebut sebagai “*steady-state behaviour*”. Sehingga Himmelblau (2012) menyatakan bahwa dalam kondisi *steady-state* apa yang masuk harus keluar dari sistem. Seperti yang digambarkan pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 keadaan *steady-state*
Sumber : Himmelblau (2012)

2.3.1.2 Unsteady-state

Pada keadaan *unsteady-state* proses produksi ini terdapat perbedaan massa yang masuk dan keluar dari sistem, dikarenakan akumulasi di dalam sistem ataupun pengurangan akumulasi massa dalam sistem. Sehingga memungkinkan nilai dari neraca massa bernilai negatif. Seperti pada gambar 2.8



Gambar 2. 8 keadaan *unsteady-state*
Sumber: Himmelblau (2012)

2.4 Simapro

Simapro merupakan program yang didesain untuk membantu dalam LCA. Program ini biasa digunakan oleh industri, konsultan, dan institusi di lebih dari 80 negara.

program ini dapat mendukung untuk mengumpulkan data, menganalisa data dan mengawasi *life cycle* dari produk yang di analisa mulai dari ekstraksi bahan baku, *supply chain*, distribusi, penggunaan dan sampai akhir dari penggunaan produk menggunakan database yang telah ada.

Penggunaan dari program ini sudah sesuai dengan ISO 14040 tentang LCA, sehingga penggunaan program ini lebih akurat untuk menganalisa LCA. Namun kelemahan dari program ini database yang digunakan terbatas dalam wilayah Amerika Serikat dan Eropa.

