BAB II

KAJIAN LITERATUR

Kajian literatur akan menjelaskan landasan teori yang berhubungan dalam pemecahan permasalahan yang dibahas pada penelitiaan. Selain itu, pada kajian literatur juga akan menguraikan kajian empiris yaitu penelitiaan terdahulu yang sejenis dan berkaitan dengan penelitiaan ini.

2.1 Kajian Empiris

Kajian empiris adalah kajian yang diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya agar dapat mengembangkan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan. Berikut adalah kajian empiris yang berkaitan dengan metode yang akan dipergunakan dalam penelitiaan :

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

No	Penulis	Masalah	Metode	Hasil
1	(Hazmi, Karningsih, & Supriyanto, 2012)	Pemborosan yang terjadi pada PT. ARISU berupa *inappropriate proseccesing, unnecessary*	*Lean Manufacturing, Root Cause Analysis*, dan Analisis Resiko	Terdapat aktivitas *non value added* sebesar 41,18 %. Nilai *risk rating* yang dihasilkan yaitu kelalaian

No	Penulis	Masalah	Metode	Hasil
		inventory, *waiting*, dan *defect* di aliran produksi.		operator, kurangnya perawatan *printing*,dan teflon aus. Perbaikan yang dapat dilakukan pelatihan *autonomous maintenance*, adanya label peringatan pada setiap stasiun, membuat perawatan harian mesin yang terjadwal dan *system red tagging*.
2	(Suganthini Rekha,dkk, 2016)	Mengetahui pemoborosan yang terjadi pada jalur produksi dan upaya untuk meningkatkan produktivitas pada produksi *steering gear box*	*Value Stream Mapping*, *Kaizen*, *Line balancing*	Usulan yang diberikan yaitu penggunaan Standar Operasional Prosedur (SOP) pada setiap mesin. Setelah perbaikan terjadi pengurangan pada waktu siklus dari 410 menit menjadi 98 menit, *setup time* dari 425 menit menjadi 245 menit, *lead time* dari 7 hari menjadi 5,5 hari.
3.	(Alfiansyah & Kurniati, 2018)	Pabrik sarung tangan yang memiliki *waste* terbesar yaitu	*Operation Process Chart*, *Value Stream Mapping*, *Waste*	Proses produksi sarung tangan rajut memiliki *cycle time* 88,2

No	Penulis	Masalah	Metode	Hasil
		defect. Persentase produk cacat untuk jenis BS yaitu 4,6 % dan *defect reject* 1,813%. Hal ini akan menyebabkan *protensial loss* bagi perusahaan. Selain itu, terdapat *waste* seperti *waiting* dan *transportation*.	*Assestement Model (WAM), Root Cause Analysis, Failure Mode and Effect Analysis(FMEA)*	menit dan *lead time* 119,22 menit dengan efisiensi 73,99%. Berdasarkan WAM, *waste* paling kritis yaitu *defect*, *waiting*, dan *transportation*. Usulan perbaikan dikhususkan pada *defect* yaitu perbaikan sistem *maintenance* dan perbaikan sistem manajemen..
4	(Mohd & Mojib, 2015)	Permasalahan terjadi pada jalur produksi pembuatan cat bangunan yang terhambat disebabkan pengerjaan ulang pada stasiun kerja, pencarian dan pengambilan suku cadang yang memerlukan memakan waktu produksi.	*Value stream mapping,5S,* Kanban	Ditemukan *waste waiting, inventory,* dan *overproduction.* Usulan perbaikan yang diberikan yaitu penerapan 5S untuk mengurangi waktu pencarian alat-alat yang diperlukan oleh operator. Kedua, metode Kanban yaitu dengan menerapkan kartu tentang pengingat jumlah pesanan untuk mengurangi kelebihan produksi. Waktu produksi menunjukkan perubahan dari 8,5 hari menjadi 6 hari dan *value*

No	Penulis	Masalah	Metode	Hasil
				added times dari 68 menit menjadi 37 menit.
5.	(Prasetyaningsih & Muhammad, 2018)	PT. Sandy Globalindo yang memiliki permasalahan yaitu keterlambatan bahan baku dari *supplier* dan proses produksi yang kurang efisien sehingga produk sampai kepada konsumen membutuhkan waktu lama.	*Value Stream Mapping, Waste Relationship, Process Activity Mapping, Fishbone*	Terjadi penghematan waktu dengan nilai 77,52 % dengan kondisi current state memiliki nilai *lead time* yaitu 7735,96 menit , sedangkan *future state* sebesar 1772, 8 menit. Usulan perbaikan yang dilakukan yaitu perancangan *layout* produksi untuk mengurangi perpindahan material, penambahan *job* dan pasokan bahan baku maintenance mesin, Kaizen 5S, penjdawalan dengan metode *Shortest Processing Time* (SPT) untuk mengurangi *work in process* (WIP) pada produk. Peningkatan produktivitas dari current state sebesar 0,02 % menjadi *future state* sebesar 0,092 %.

No	Penulis	Masalah	Metode	Hasil
6.	(Harjanto, dkk 2012)	PT. Holcim Indonesia Tbk. Cilacap yang telah mengganti energi alternativ batubara dengan biomassa akan menimbulkan emisi dan dampak ke lingkungan	Metode *cradle to gate*	Kategori dampak seperti *global warming, respiratory inorganic, dan resources* termasuk yang terbesar dampaknya terhadap lingkungan. Usulan perbaikan yang dapat dilakukan yaitu mengganti angkutan truk pasir silika dengan kereta api, bahan bakar biomassa dengan *miscanthus giganteus* serta penghijauan.
7	(Yulius Windrianto, 2016)	Dampak dari pewarna sintetis pada proses produksi batik, dan penggunaan kayu bakar yang dapat mencemari lingkungan dan menimbulkan bahaya bagi kesehatan	*Life Cycle Assesment, Eco efficiency Ratio*	Usulan untuk memperbaiki bahan baku pengganti yaitu kompor minyak tanah dengan kompor listrik dan penggantian kayu bakar dengan bahan bakar gas. Nilai EER didapatkan yaitu 56%, serta batik penggnatu memiliki nilai 60% nilai *affordable* dan *sustainable* lebih dari 1.

No	Penulis	Masalah	Metode	Hasil
8.	(Irawati & Andrian, 2018)	Instalasi Pengolahan Air Minum Babat (IPAM Babat) yaitu penyedia air bersih bagi daerah Lamongan. Dalam melakukan proses penyediaan air bersih memerlukan bahan kimia dan energi. Hal tersebut akan mempengaruhi lingkungan dari dampak yang dihasilkan oleh bahan kimia dan energi.	Eco-Indicator 99	Hasil dari *Life Cycle Assesment* berupa *network, charateristization, impact assessment, normalization impact assement*, dan *single score*. Kegiatan produksi air yang paling berdampak besar pada lingkungan yaitu natural gas atau energi listrik. Penggunaan dari energi listrik berpengaruh pada kesehatan manusia dan pengurangan sumber daya alam. Usulan untuk menghemat energi listrik yaitu dengan efisiensi peralatan dan memaksimalkan aliran air dari atas ke bawah.
9.	(Erses Yay, 2015)	Menghitung dampak lingkungan dari limbah padat perkotaan Sakarya yang terletak di negara Turki dengan mengkategorikan komposisi sampah	CML-IA	Jumlah terbesar limbah di Sakarya yaitu limbah dapur sebesar 42%. Dampak lingkungan tertinggi yaitu penimbunan limbah di tanah karena tidak adanya pengolahan limbah dan

No	Penulis	Masalah	Metode	Hasil
				pembakaran limbah campuran. Perbaikan yang dilakukan seperti pengomposan dan pembakaran
10	(Oliveira et al., 2015)	Membandingkan perbedaan dengan penyimpanan listrik secara konvensional dan tidak konvensional melalui siklus hidup. Penilaian juga memperhitungkan terkait kinerja terhadap lingkungan.	*Life cycle Asssesment, ReCipe*	Pemilihan penyimpanan energi dipilih berdasarkan campuran energi listrik selama tahapan berlangsung. Dalam mengurangi dampak perubahan iklim dapat menggunakan unit penyimpanan efisiensi tinggi, seperti Li-ion, NaNiCl, dan NAS. Pada toksitas manusia, dapat dilakukan dengan penyimpanan hidro yang telah dipompa. Untuk mengurangi *patrticulate formation* dilakukan dengan menyimpan energi yang berasal dari angin, sedangkan untuk penipisan fosil dapat dilakukan dengan pencampuran

No	Penulis	Masalah	Metode	Hasil
				dengan energi terbarukan untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan.

Kemudian (Nuruddin, dkk , 2013) menjelaskan bahwa keterlambatan *due date* akan berdampak tidak memberikan nilai tambah bagi produk. Hal tersebut dimulai dari keterlambatan kedatangan material yang akan berhubungan sampai pada proses *finishing* sehingga akan membutuhkan waktu proses lebih panjang dari sebelumnya. Metode yang digunakan untuk mengetahui *waste* yaitu *Value Stream Mapping* (VSM). Lalu, akan dilanjutkan dengan mencari akar permasalahan dengan *Root Causes Analysis* (RCA). Selain itu, juga menggunakan metode FMEA (*Failure Mode Effects Analysis)* agar mengetahui tingkat masalah yang terbesar dan mencari perbaikan supaya memperbaiki pelayanan terhadap pelanggan.

Penelitiaan berjudul Minimasi *Waste Pada Aktivitas Proses Produksi dengan Konsep Lean Manufacturing* di PT. *Sport Glove* Indonesia yang telah diteliti oleh Trismi Ristyowati, Ahmad Muhsin, dan Putri Pudji Nurani telah menemukan *waste* berupa *waiting* dan *defect* pada pembuatan sarung tangan. Pengolahan data menggunakan *Current State Map* yang kemudian akan didapatkan *waste* pada proses produksi. Lalu, hasil tersebut akan dioalah dengan *Waste Relationship Matrix (WRM)* untuk memperoleh jumlah skor pemborosan. Setelah itu, akan menggunakan *Tool Valsat* yaitu PAM (*Process Activity Mapping)* untuk mengetahui kegiatan yang termasuk *value added, non value added,* dan *non necessary but value added,* sedangkan *Tools* QFM (*Quality Filter Mapping)* berguna memperbaiki kualitas rantai pasok perusahaan (Trismi Ristyowati, Ahmad Muhsin, 2017). Rekomendasi yang diberikan antara lain penambahan pekerj pada mesin jahit, kegiatan *maintenance* yang dilakukan secara *preentive maintenance*,

perlunya pengawasan dan pengarahan untuk proses kerja, dan pemberian pelatihan bagi para pekerja.

Kemudian, terdapat penelitian tentang gabungan konsep *lean* dan *green* pada suatu UKM di Jawa Tengah yaitu batik Puspa Kencana. Tujuan dari penelitiaan ini yaitu meningkatkan efisiensi dan mengurangi hasil limbah dari hasil produksi (Rinawati,dkk, 2016). Setelah melakukan pembuatan *Value Stream Mapping* pada proses produksi, maka ditemukan 4 macam pemborosan yaitu *defect, inappropriate processing, overproduction,* dan *waiting*. Dari hasil perhitungan, didapatkan *value added ratio* sebesar 87,18%. Selain itu, penelitian ini juga melakukan perhitungan eco-cost sebesar Rp. 98.734.748,41 dan *Eco-Efficiency Rate* (EER) sebesar 88,1% menggunakan *software* SIMAPRO. Perbaikan yang disarankan adalah konsep 5S untuk proses pewarnaan dan pengeringan. Perbaikan akan membantu kenaikan efisiesi menjadi 94,5 %.

Terdapat penelitian tentang pemborosan produksi dan pembuangan limbah yang belum dikelola dengan baik pada salah satu UKM pembuatan nata de coco sehingga diperlukan perpaduan konsep antar *lean* dan *green* untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penerapan Produksi Bersih (PB) dapat membantu mengurangi pencemaran hasil produksi dan mengurangi pemakaian sumber daya (Endang Widuri Asih & C. Indri Parwati , 2018). Penelitian ini akan menilai pemborosan yang terjadi dengan konsep *lean* dan membantu pengolahan limbah dengan konsep *green.* Hasil penelitian tersebut yaitu terjadi pengurangan waktu proses produksi dari 339,67 menit menjadi 9,1 menit dan adanya peningkatan efisiensi sebsar 2,68 %. Kemudian, pengolahan hasil dari limbah nata de coco apabila sebanyak 20 liter dapat digunakan untuk pembuatan pupuk cair. Pupuk tersebut memiliki harga jual RP 20.000.

2.2 *Lean Manufacturing*

Pengertian dari *lean manufacturing* adalah pendekatan secara sistematis dalam upaya mengurangi pemborosan sepanjang aliran produksi dan meningkatkan nilai tambah

kepada pelanggan (Alaca & Ceylan, 2011). Selain itu, *lean manufacturing* juga dapat didefinisikan yaitu metode yang digunakan untuk mengatur suatu organisasi dalam meningkatkan produktivitas, kualitas, dan efisiensi dalam menghasilkan produk baik barang dan jasa (Kurniawan, 2012). Konsep *lean* akan berfokus pada perbaikan secara berkelanjutan atas nilai pelanggan dengan identifikasi dan eliminasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah.

Dalam penerapan *Lean manufacturing* memiliki beberapa prinsip dasar yaitu (Gaspersz, 2007) :

1. Mengidentifikasi nilai produk barang atau jasa terhadap pandangan pelanggan, pelanggan akan memilih produk barang atau jasa yang memiliki kualitas baik.
2. Mengidentifikasi terhadap *value stream mapping* (VSM) untuk setiap produk.
3. Mengurangi atau menghilangkan pemborosan terhadap aktivitas-aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah pada aliran proses.
4. Mengorganisasikan agar material, informasi, dan produk tetatp mengalir secara lancar dan efisien menggunakan *pull system.*
5. Mencari terus-menerus berbagai teknik dan alat-alat peningkatan agar dapat mencapai keunggulan kualitas serta perbaikan yang berkelanjutan (*continuous improvement).*

2.3 Pemborosan (*waste)*

Pemborosan dapat dikategorikan menjadi 2 jenis yaitu *one type waste* dan *two type waste* (Gaspersz, 2011). Jenis *one type waste* adalah aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan aktivitas tersebut tidak dapat terhindarkan saat proses produksi, sedangkan *two type waste* adalah aktivitas yang juga tidak menambah nilai pada produk barang atau jasa tetapi dapat dihilangkan secara segera. Terdapat 7 jenis pemborosan yang terjadi di perusahaan (Gaspersz, 2007) :

1. *Overproduction* adalah jenis pemborosan di mana perusahaan memproduksi produk berlebihan dari kebutuhan konsumen, atau waktu produksi yang lebih cepat atau lebih awal dari kebutuhan konsumen baik secara internal atau eksternal.

2. *Defective product* adalah permasalahan hasil produksi yang tidak memiliki kualitas sesuai dengan standar sehingga memerlukan perbaikan. Kecacatan produk ini dapat menyebabkan ketidakpuasan pelanggan atas produk yang dihasilkan.
3. *Processes* adalah melakukan proses produksi tambahan yang tidak perlu sehingga menjadi tidak efisien.
4. *Inventories* adalah terjadinya penyimpanan produk yang berlebihan sehingga menyebabkan peningkatan biaya dan kebutuhan ruang ekstra.
5. *Transportation* adalah terjadinya pergerakan produk maupun material dari satu proses ke proses berikutnya dan menyebabkan waktu menjadi bertambah.
6. *Delay (waiting time)* adalah keterlambatan pada proses menunggu akibat menunggu mesin, peralatan, bahan baku, *supplies*, dan perawatan/pemeliharaan (*maintenance)*.
7. *Motions* adalah pergerakan yang dilakukan oleh pekerja atau mesin tetapi tidak memberikan nilai tambah, tetapi menambah waktu dan biaya. Hal tersebut dapat ditimbulkan dari tempat proses produksi yang tidak nyaman bagi pekerja atau dapat dikatakan kurang ergonomis.

2.4 *Value Stream Mapping (VSM)*

Value Stream Mapping adalah suatu pemetaan yang digunakan untuk membedakan kegiatan *non value added* dan *value added* (Rich Charron, et al, 2014). Pada pemetaan ini akan diperoleh gambaran pemborosan yang terjadi di perusahaan dan penyebab pemborosan. Setelah mengetahui keadaan pada gambaran awal aliran proses *current state map)* akan memudahkan untuk membuat pemetaan di masa mendatang (*future state map)* agar perbaikan yang telah diimplementasikan dapat memberikan pengaruh besar pada aliran proses. *Value Stream Mapping* akan menjelaskan aliran proses yang dimulai dari *raw material* sampai ke tangan konsumen (Hines & Taylor, 2000). Penerapan *value stream mapping* dapat membantu mengurangi pemborosan terhadap *lead time* produksi, biaya, serta meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan.

Indeks pengukuran pada *Value Stream Mapping* dapat dijelaskan sebagai berikut (Simon, 2009) :

1. *First Time Through (FTT)* adalah presentase dari unit yang telah sempurna dan sesuai standar kualitas.
2. *Builds to schedule* adalah pembuatan penjadwalan untuk merencanakan pembuatan produk secara tetap pada waktu yang telah ditentukan.
3. *Dock to time* adalah waktu yang diperlukan ketika pembongkaran bahan baku sampai barang telah siap dikirimkan kepada pelanggan.
4. *Value ratio* adalah keseluruhan aktivitas yang menghasilkan nilai tambah bagi pelanggan terhadap produk.
5. *Avalaible Time(A/T)* adalah perhitungan pengurangan waktu total kerja dengan waktu istirahat, sehingga dapat dikatakan waktu yang diperlukan setiap karyawan dalam menghasilkan suatu produk.
6. *Takt time* adalah waktu yang diperlukan oleh proses produksi untuk menghasilkan produk sesuai permintaan pelanggan.
7. *Working time(W/T)* adalah waktu kerja yang dibutuhkan setiap operator.
8. *Value added* adalah aktivitas yang dapat memberikan nilai tambah pada produk
9. *Non value added* adalah aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah bagi pelanggan.

2.5 Kaizen

Kaizen memiliki pengertian melakukan perbaikan pada sistem secara berkesinambungan (*continuous improvement).* Pada kaizen mementingkan proses dan memperhatikan kualitas proses produksi. Beberapa konsep kaizen antara lain sebagai berikut (Fatkhurrohman & Subawa, 2016):

1. Konsep 3M (Muda, Mura, Muri)

   Muda adalah aktivitas yang tidak menambahkan nilai produk atau jasa. Kemudian, pengertian mura yaitu proses yang tidak teratur pada proses produksi. Sedangkan, muri adalah pembebanan pekerjaan kepada para pekerja yang berlebihan.
2. Konsep 5S (*Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu,* dan *Shitsuke)*

   Pengertian *Seiri* adalah memisahkan alat atau barang sesuai kebutuhan dilihat dari frekuensi penggunaan apabila sering digunakan maka didekatkan sedangkan jika jarang digunakan maka diajuhkan dari tempat produksi. Kemudian, *Seiton* berarti penataan barang supaya dalam proses pencarian alat dapat efisien. *Seiso* memiliki

pengertian pembersihan pada alat yang telah digunakan agar tidak cepat rusak. Pengertian *Seiketsu* adalah melakukan secara berkelanjutan pemeliharaan, penataan, dan pembersihan. Lalu, *Shitsuke* yaitu membiasakan melakukan tahapan sebelumnya secara benar agar membangun perilaku yang baik di tempat kerja.

3. Konsep PDCA (*Plan, Do, Check, Action)*

   Konsep *Plan* adalah perencanan terhadap target. *Do* yaitu penerapan dari rencana yang telah dibuat. Kemudian, *Check* memiliki pengertian peninjauan terhadap aktivitas yang dilakukan telah sesuai rencana dan melihat perbaikan yang akan direncanakan. *Action* berkaitan standarisasi dengan prosedur agar permasalahan yang pernah terjadi terhindarkan.

4. Konsep 5W+1 H

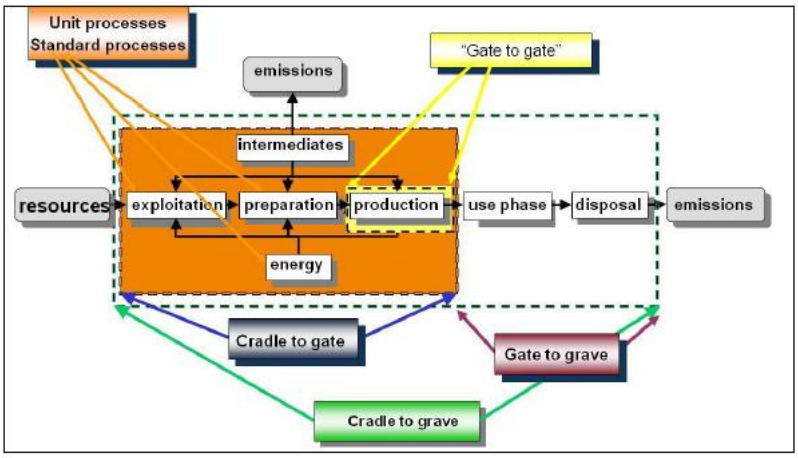
   Konsep yang menggunakan pertanyaan untuk mengetahui uraian permasalahan dari aktivitas proses. Pertanyaan tersebut terdiri dari *what, where, who, when, why and how*.

2.6 *Life Cycle Assessment*

Life Cycle Assessment adalah salah satu alat pada manajemen lingkungan. Uraian *life cycle assessment* membahas tentang dampak emisi dan limbah hasil industri secara langsung serta melakukan penilaian dampak tidak langsung yang berhubungan dengan material dan proses energi di dalam rantai pasok, transportasi, proses distribusi, penggunaan, dan siklus hidup akhir dari produk. Konsep *life cycle assessment* memungkinkan perhitungan dari dampak lingkungan yang mempertimbangkan penggunaan sumber daya (mineral, air, energi,dan lain-lain), akibat ekologi (*global warming, eutrophication, acidification,* dan lain-lain), dan kesehatan manusia (toksisitas, asap, dan lain-lain). Metode ini dimulai dengan tujuan dan batasan yang dilengkapi dengan data dan analisis inventori dari penggunaan sumber daya serta emisi selama siklus hidup. Penilaian dampak akan dikelompokkan berdasarkan karakteristik sumber daya dan emisi dari inventori untuk menghasilkan indikator kuantitatif tentang potensial dampak lingkungan (Gruiz Katalin, dkk, 2014). Terdapat dua standar yang telah ditetapkan oleh *International Organization for Standardization* (ISO) untuk *Life Cycle Assessment* yaitu ISO 14040 dan 14044. Pada ISO 14040 membahas tentang penilaian siklus hidup,

sedangkan pada ISO 14044 mengenai penyusunan dan evaluasi dari hasil *input*, *output*, serta potensi dampak lingkungan dari lama pemakaian suatu produk. Batasan ruang lingkup berdasarkan ISO 14044 untuk *Life Cycle Assesment* sebagai berikut (Gabi, 2010) :

1. *Cradle to grave* yaitu bahan, rantai produksi, dan hasil proses ektraksi bahan bahan baku dimulai dari tahapan produksi, transportasi, serta penggunaan akhir produk.
2. *Cradle to gate* yaitu membahas keseluruhan proses ektraksi bahan baku dengan proses produksi yang dilakukan di dalam pabrik.
3. *Gate to grave* yaitu tentang mengetahui dampak lingkungan dari bahan sisa pasca produksi ketika keluar dari pabrik.
4. *Gate to gate* yaitu mengetahui dampak lingkungan dari proses produksi yang dilakukan.



Gambar 4. 1 Batasan Sistem LCA

Sumber : (Gabi, 2010)

Tahapan-tahapan untuk melakukan *Life Cycle Assessment* berdasarkan ISO 14044 adalah:

1. *Goal and Scope*

Pada tahapan ini peneliti merumuskan tujuan dari sistem yang akan dinilai, batasan, dan asumsi untuk mengetahui dari siklus hidup pada suatu sistem.

2. *Life Cycle Inventory* (LCI)

Tahapan memasukkan data inventori bahan baku, emisi serta perhitungan *input* dan *ouput* yang dapat menimbulkan dampak bagi lingkungan. Bentuk data dari tahapan ini antara lain penggunaan sumber daya, penggunaan energi, dan pelepasan bahan ke lingkungan yang berhubungan dengan sistem.

3. *Life Cycle Impact Assessment (*LCIA)

Pada tahapan ini tentang cara mengatasi dampak dari sumber daya yang ditimbulkan ke lingkungan dan emisi hasil keluaran sistem akan dibedakan menjadi beberapa kategori serta diberi bobot atau nilai berdasarkan kepentingannya.

4. *Interpretation*

Tahapan ini merupakan integrasi dari *life cycle inventory* dan *life cycle impact assessment* yang dapat digunakan untuk mengetahui hasil dari penilaian keseluruhan sistem dan perbaikan sesuai dengan ruang lingkup sebelumnya.

2.7 Metode ReCiPe

Metode yang digunakan untuk melakukan ektraksi dari bahan baku serta memperbaiki emisi hasil dari sumber daya, yang akan dibedakan menjadi dua indikitor yaitu *midpoint* dan *endpoint* (Goedkoop et al., 2013). Kategori *midpoint* misalnya pengasaman, perubahan iklim, dan ekotoksitas. Pada kategori *midpoint* terbagi menjadi 18 macam pada titik tengah yaitu :

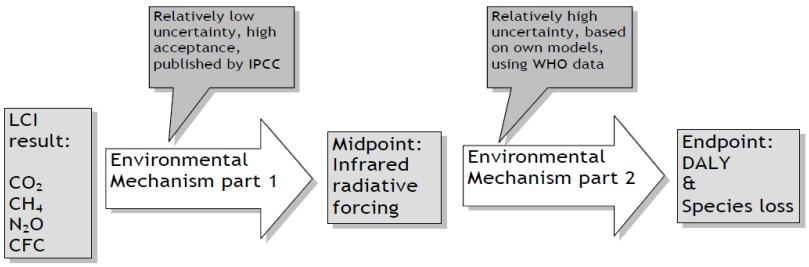
1. *Climate change* (CC)
2. *Ozone depletion* (OD)
3. *Terrestrial acidification* (TA)
4. *Freshwater eutrophication* (FE)
5. *Marine eutrophication* (ME)

6. *Human toxicity* (HT)
7. *Photochemical oxidant formation* (POF)
8. *Particulate matter formation* (PMF)
9. *Terrestrial ecotoxicity* (TET)
10. *Freshwater ecotoxicity* (FET)
11. *Marine ecotoxicity* (MET)
12. *Ionising radiation* (IR)
13. *Agricultural land transformation* (ALO)
14. *Urban land occupation* (ULO)
15. *Natural land transformation* (NLT)
16. *Water depletion* (WD)
17. *Mineral resource depletion* (MRD)
18. *Fossil fuel depletion* (FD)

Kemudian, sebagian besar dari dampak *midpoint* telah dikonversikan menjadi 3 macam dampak *endpoint* yaitu:

1. *Damage to human health* (HH)
2. *Damage to ecosystem diversity* (ED)
3. *Damage to resource availability* (RA)

Berikut adalah ilustrasi dari *midpoint* dan *endpoint for climate change*:



Gambar 4. 2 Ilustrasi *Midpoint* and *Endpoint*
Sumber : (Gabi, 2010)

Pada kategori *endpoint* memiliki tiga kategori dampak dan indikator sebagai berikut (Goedkoop et al., 2013):

Tabel 4. 1 Tinjauan dari Kategori *Endpoint*

Impact category	Indicator Name	Unit
Damage to human healthy	*Disability-adjusted loss of life years*	yr
Damage to ecosystem diversity	*Loss of species during a year*	yr
Damage to resources	*Increased cost*	$

2.8 Karakteristik Dampak *Midpoint*

Endpoint merupakan cakupan yang berasal dari dampak *Midpoint* yang berjumlah 18 kategori, dari keseluruhan kategori tersebut akan dirangkum menjadi tiga cakupan kategori. Berikut adalah uraian penjelasan dari dampak *Midpoint* (Pre, 2019):

Tabel 2. 2 *Characterization*

No	Jenis Dampak Lingkungan	Keterangan
1	*Ozone depletion*	Faktor yang disebabkan karena penipisan ozon stratosfer oleh emisi zat-zat yang mencemari udara. Unit ini dinyatakan dalam bentuk tahun/CFC^{-11}.
2	*Human health*	Faktor yang mempengaruhi kesehatan manusia akibat dari lingkungan dan rantai makanan manusia yang telah terpengaruh oleh bahan kimia. Unit ini dinyatakan dengan satuan yr/kg 1,4 dichlorobenzeen (14DCB).
3.	*Radiation*	Faktor yang disebabkan karena paparan radiasi. Satuan dinyatakan dengan yr/kg Uranium 235.

No	Jenis Dampak Lingkungan	Keterangan
4	*Photochemical Oxidant Formation*	Perubahan konsentrasi ozon Eropa yang disebabkan oleh emisi zat. Unit ini dinyatakan dengan yr/kg NMVOC.
5	*Particulate matter formation*	Dampak lingkungan yang disebabkan oleh adanya pembentukan partikel. Unit ini dinyatakan dengan yr/kg PM_{10}.
6	*Climate Change*	Perubahan iklim yang disebabkan karena pemanasan global. Satuan dinyatakan dengan yr/kg CO_2.
7	*Agricultural Land Occupation*	Jumlah lahan pertanian dan tempat tinggal manuia yang dapat ditempati secara terus-menerus. Satuan dinyatakan dengan m^2*year
8	*Natural Land Tranformation*	Jumlah lahan alami yang diubah dan dapat dijadikan tempat tinggal pada waktu tertentu. Satuan dinyatakan dengan m^2*year.
9	*Marine eutropication*	Dampak lingkungan yang terjadi di laut akibat adanya eutrofikasi. Di mana proses eutrofikasi yaitu banyaknya limbah pospat PO^{3-} yang dapat menyebabkan kematian makhluk hidup. Satuan yang dinyatakan yr/kg N.
10	*Freshwater eutropication*	Dampak lingkungan yang terjadi pada air tawar karena adanya eutrofikasi. Satuan dinyatakan dengan yr/kg P.
11	*Fosil fuel Depletion*	Dampak lingkungan yang disebabkan oleh penipisan bahan bakar fosil. Unit yang dinyatakan kg.oil.
12	*Mineral depletion*	Dampak lingkungan yang disebabkan karena penurunan mineral. Unit yang dinyatakan kg Besi (Fe).
13	*Freshwater depletion*	Penurunan kadar air tawar akibat dari konsumsi air tawar. Satuan ini dinyatakan dengan m^3.
14	*Marine ecotoxity*	Dampak di laut yang disebabkan oleh kandungan logam yang memberikan efek toksik. Logam tersebut antara lain

No	Jenis Dampak Lingkungan	Keterangan
		cobalt, tembaga, mangan, tembaga, molybdenum, dan seng.
15	*Terrestrial Acidfication*	Adanya pengendapan yang terjadi di tanah yang disebabkan oleh kandungan nitrogen dan sulfur. Satuan yang digunakan yaitu yr/kg SO_2.
16	*Terrestrial Ecotoxity*	Adanya bahan kimia yang menimbulkan kerusakan pada rantai makanan seperti hewan pengurai. Satuan yang digunakan yaitu yr/kg 1,4 diclohorobenzeen.
17	*Urban Land Occupation*	Lahan perkotaan yang dapat ditempati untuk waktu tertentu. Satuan dinyatakan dengan m2*yr.
18	*Freshwater ecotoxity*	Adanya kerusakan di air tawar yang disebabkan oleh bahan kimia pada air tawar. Satuan dinyatakan dengan yr/kg 1,4 diclorobenzeen.

2.9 Dampak Kategori pada *Endpoint*

Berdasarkan hasil dari dampak dari metode Recipe dengan *endpoint* memberikan tiga macam kategori yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. *Human health*

Pada umumnya penilaian siklus hidup akan menggunakan konsep dari disabilitas atau yang sering disebut dengan *disability-adjusted loss of life years* (DALY). Konsep tersebut menunjukkan angka hidup yang hilang akibat dari berbagai macam penyakit seperti kanker dan penyakit tidak menular. Penilaian ini bertujuan agar mengetahui kerusakan kesehatan manusia di masa depan akibat terpapar oleh bahan kimia (Hofstetter, 2011).

b. *Ecosystem*

Pada penilaian siklus hidup, kategori *ecosystem* adalah kategori yang menyatakan adanya kepunahan spesies selama waktu tertentu. Satuan yang digunakan adalah *species.yr* (Pre, 2019).

c. *Resources*

Kategori *resources* adalah kategori yang menghitung seberapa besar biaya yang diperlukan untuk mengelola sumber daya alam (Pre, 2019).