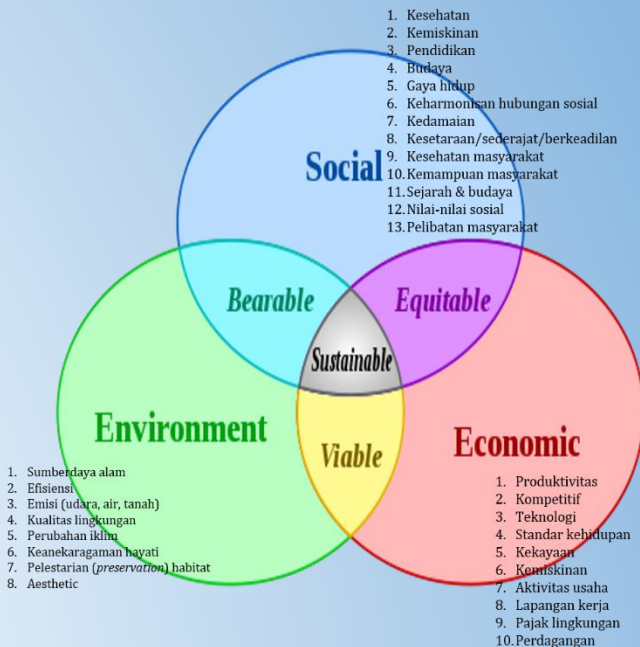


Manufaktur Berkelanjutan *sustainable manufacturing*

Manufaktur Hijau *green manufacturing*

Reda Rizal



Buku Ajar *Sustainable Manufacturing*
Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jakarta
Tahun-2018

Manufaktur Berkelanjutan
sustainable manufacturing

Manufaktur Hijau
green manufacturing

Buku Ajar
Sustainable Manufacturing / Green Manufacturing
Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jakarta
Tahun 2018

Reda Rizal



Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta

Edisi Keempat Tahun 2018

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Reda Rizal

Manufaktur Berkelanjutan (*sustainable manufacturing*);
Manufaktur Hijau (*green manufacturing*)/Reda Rizal.
--Jakarta: Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian
Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Jakarta (LPPM UPNVJ), 2018.
vi, 246 hlm: 21 cm

Bibliografi hlm. 247
ISBN 978-602-73114-2-8

1. MANUFAKTUR BERKELANJUTAN (*SUSTAINABLE MANUFACTURING*); MANUFAKTUR HIJAU (*GREEN MANUFACTURING*) I. Judul

© Hak pengarang dan penerbit dilindungi Undang-Undang
Edisi Keempat Tahun 2018
Edisi Ketiga Tahun 2017
Edisi Kedua Tahun 2016
Edisi Pertama Tahun 2015

Pengarang: Reda Rizal
Dicetak oleh: Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada
Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta
Jl. R.S. Fatmawati, Pondok Labu, Jakarta Selatan 12450
Telp./Fax. 021-7656971 Ext. 234
e-mail: lppm@upnvj.ac.id

KATA PENGANTAR

Pembangunan berkelanjutan di bidang industri-manufaktur dapat dimaknai sebagai membangun industri dan manufaktur saat ini dengan focus memperhatikan kepentingan generasi mendatang. Kondisi kualitas lingkungan hari ini yang kita nikmati harus dapat pula dinikmati oleh generasi mendatang. Pendayagunaan sumber daya alam oleh industri dan manufaktur sebagai esensi kemakmuran rakyat dilaksanakan secara bertanggung jawab, sesuai dengan kemampuan daya dukungnya dengan mengutamakan sebesar-besar kemakmuran rakyat serta memperhatikan kelestarian fungsi dan keseimbangan lingkungan hidup bagi pembangunan industri secara berkelanjutan. Manufaktur berkelanjutan dan atau manufaktur hijau adalah studi tentang bagaimana mengelola siklus materi dan aliran energi dalam aktivitas kegiatan industri dan manufaktur, mempelajari pengaruh siklus materi dan aliran energi terhadap lingkungan hidup, mempelajari pengaruh faktor sosial, ekonomi, budaya, politik dan hukum terhadap aliran materi dan energi, serta mengkaji pengaruh pemanfaatan dan transformasi sumber daya alam terhadap lingkungan hidup. Tujuan studi tentang manufaktur berkelanjutan atau manufaktur hijau adalah untuk memahami bagaimana upaya mengintegrasikan aspek kepentingan lingkungan hidup ke dalam aktivitas kegiatan industri dan manufaktur yang selama ini hanya mengarah pada kepentingan ekonomi semata. Pengintegrasian aspek ekologi kedalam aspek ekonomi atau sebaliknya dilakukan dalam proses-proses kegiatan industri dan manufaktur yang sedang berlangsung, dan pengintegrasian aspek ekologi harus diarahkan untuk kepentingan generasi masa depan agar anak-cucu kita dapat menikmati kualitas lingkungan hidup yang lebih baik. Manufaktur berkelanjutan sebagai suatu dinamika sistem didasarkan atas kerangka konsep yang mendorong kemampuan manusia dalam mengelola aktivitas industri dan manufaktur berbasis pada aspek keberlanjutan ekologi melalui berbagai pendekatan. Pendekatan metabolisme industri dan manufaktur misalnya, adalah suatu konsep untuk membuat pola-pola produksi dalam industri dan manufaktur yang memiliki hubungan sangat dekat dengan konsep produksi bersih dan ramah lingkungan. Proses metabolisme biologi dan manufaktur dapat memberikan gambaran tentang sistem disipasi

atau pemborosan yang lazim terjadi dalam setiap kegiatan industri dan manufaktur. Setiap proses-proses produksi dapat dipastikan menghasilkan limbah sebagai output dari suatu proses produksi. Manufaktur berkelanjutan memfokuskan pemikiran dan pemahaman terhadap bagaimana mengelola suatu industri dan manufaktur dapat dikembangkan untuk mampu mereduksi keseluruhan beban lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan industri dan manufaktur melalui penilaian daur hidup material dan siklus produk (ekstraksi, produksi, penggunaan, dan pembuangan produk sebagai sampah) dan merangkum semua variabel terkait. Perancangan siklus material diharapkan mampu menggunakan material dari lingkungan alam dapat dipakai dengan durasi waktu yang panjang sehingga dapat menghemat penggunaan sumber daya alam dan ketahanan lingkungan. Penilaian daur hidup material dimaksudkan untuk memperoleh gambaran tentang sesuatu keadaan bila menggunakan alternatif material tertentu, sehingga dapat diambil kebijakan untuk menggunakan material yang masa pakainya lebih lama. Dalam konteks ini upaya yang dapat dilakukan manajemen industri dan manufaktur adalah merencanakan, menilai dan kemudian memilih alternatif bahan baku yang dapat menghemat penggunaan sumber daya alam, baik dari segi teknologi, proses maupun desain produk yang hendak dihasilkan.

Substansi buku ini jauh dari kesempurnaan sebagaimana makna Sunatullah; bahwa tidak ada sesuatu apapun di dunia ini yang sempurna selain kesempurnaan Allah subhana wata'ala. Kritik dan saran pembaca, penulis harapkan guna meminimumkan ketidaksempurnaan (*entropy*) tulisan buku ini di masa datang.

Ucapan terimakasih disampaikan kepada semua pihak yang dapat memanfaatkan seluruh isi buku ini.

Kota Tangerang Selatan, Januari 2018

Penulis

Dr. Ir. Reda Rizal, B.Sc. M.Si.



Daftar Isi

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
Manufaktur Berkelanjutan/Hijau	1
Manajemen Manufaktur Berkelanjutan	11
Perancangan Lingkungan Manufaktur	27
Perancangan Manufaktur (DfM) dan Perancangan Perakitan (DfA)	33
Indikator Kinerja Lingkungan Manufaktur	39
7 Langkah Menuju Manufaktur Hijau	65
Metode Analisis Perancangan Manufaktur Hijau	71
Pengembangan Produk dan Proses Manufaktur	79
Perancangan Daur Hidup Material Manufaktur	86
Manajemen Daur Hidup Material Manufaktur	105
Organisasi Perancangan Lingkungan	118
Sumber Daya Alam (SDA) untuk Manufaktur	125
Karakteristik Ekosistem Alamiah yang Diadopsi oleh Kegiatan Manufaktur	128
Teori <i>From Cradle to Grave</i>	135
Teori <i>From Soil to Soil</i>	145
Transformasi Teknologi Siklus Tertutup	152
Metabolisme Manufaktur	156
Pencemaran Lingkungan Manufaktur	165
Produk, Proses, Produk Bersih dan Minimisasi Limbah	185
Dematerialisasi dan Dekarbonisasi	198
Teori Ekoeffisiensi	210
Ukuran-ukuran Keberlanjutan Manufaktur	224
Contoh dan Teknik Penghitungan Kinerja Lingkungan Manufaktur (Manufaktur Hijau)	229
Definisi	241
Daftar Pustaka	244



Daftar Gambar

Gambar 1.	Tiga Pilar Pembangunan Berkelanjutan	2
Gambar 2.	Konsep Dasar Transformasi Materi dan Energi	16
Gambar 3.	Hierarkhi Perancangan Manufaktur Hijau	28
Gambar 4.	Infrastruktur Informasi Perancangan Ekologi Manufaktur Hijau	77
Gambar 5.	Dua Daur Hidup Berasosiasi Dalam Produk Barang	87
Gambar 6.	<i>Cascading</i> Pemanfaatan Sumber Daya Alam Pada Manufaktur	109
Gambar 7.	Batas Daur Hidup yang Menimbulkan Biaya	114
Gambar 8.	Tahapan Perancangan Pengembangan Produk	120
Gambar 9.	Skema Prosedur Umum Pengelolaan Limbah	134
Gambar 10.	<i>From Cradle to Grave Theory</i>	136
Gambar 11.	Implementasi Teori <i>From Cradle to Grave</i>	137
Gambar 12.	Alir Material dalam Analisis <i>Cradle to Grave</i>	138
Gambar 13.	<i>From Cradle to Grave</i> pada Industri Tekstil dan Garment dengan Material <i>Wool</i>	140
Gambar 14.	<i>From Cradle to Grave</i> pada Industri Garment dengan Material Cotton	141
Gambar 15.	<i>From Cradle to Grave</i> pada Industri Garment dengan Material Sutera (<i>Silk</i>)	143
Gambar 16.	<i>From Soil to Soil</i> pada Industri Garment dengan Material wool	146
Gambar 17.	<i>From Soil to Soil</i> pada Industri Garment dengan Material cotton	148
Gambar 18.	<i>From Soil to Soil</i> pada Industri Garment dengan Material Sutera (<i>Silk</i>)	150
Gambar 19.	Sistem Produksi Pada Industri-manufaktur	157
Gambar 20.	Model Linier Aliran Materi pada Kegiatan Industri-manufaktur	158

Gambar 21.	Model Semi Siklus Aliran Materi pada Kegiatan Industri-manufaktur	158
Gambar 22.	Model Siklus Tertutup Aliran Materi pada Kegiatan Industri-manufaktur	159
Gambar 23.	Pendekatan Metabolisme Industri-manufaktur	160
Gambar 24.	Pencemaran Udara Ambien oleh Gabungan Emisi	166
Gambar 25.	Hirarkhi Manajemen Emisi dan Ambien	167
Gambar 26.	Trilobal Pencemaran Lingkungan Hidup	175
Gambar 27.	Pencemaran Tanah oleh Sampah Industri	182
Gambar 28.	Pemanfaatan Sumber Daya Alam Siklus Tertutup	186
Gambar 29.	Produksi Bersih pada Industri Tempe	190
Gambar 30.	Evolusi Teori Dematerialisasi dan Dekarbonisasi	200
Gambar 31.	Dematerialisasi dan Dekarbonisasi pada Komputer	201
Gambar 32.	<i>Ecological Fingerprint</i> by BASF	213
Gambar 33.	Ukuran Ekoefisiensi DeSimone & Popoff	220
Gambar 34.	Hubungan Ekoefisiensi dan Biaya	222
Gambar 35.	Ukuran Manufaktur Berkelanjutan / Manufaktur Hijau	225



Daftar Tabel

Tabel 1.	Pengelolaan Manufaktur Hijau, Ukuran dan Manfaat	75
Tabel 2.	Perbedaan <i>End Pipe Treatment</i> dan Produksi Bersih	205



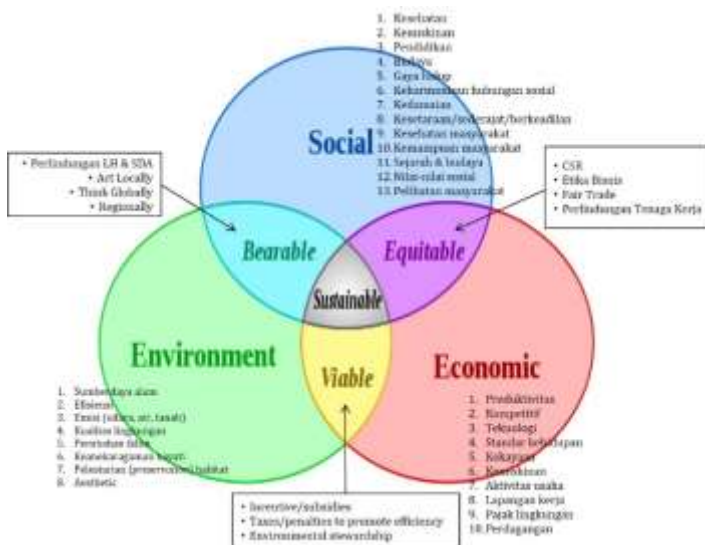
Manufaktur Berkelanjutan/Hijau

Manufaktur berkelanjutan mulai digaungkan sejak setelah Doktor Brundtland (1978) mantan Direktur Jenderal WHO dan mantan Perdana Menteri Norwegia mempromosikan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) sebagai upaya-upaya yang dilakukan dalam kegiatan pembangunan di semua bidang dengan fokus pemenuhan kebutuhan generasi sekarang tanpa mengorbankan kemampuan generasi yang akan datang dalam memenuhi kebutuhannya.

Kebutuhan untuk pembangunan berkelanjutan menjadi terasa setelah dipublikasikannya buku laporan penelitian “*The Limits of Growth*”. Publikasi laporan penelitian ini mengungkapkan tentang adanya faktor-faktor keterbatasan/kelangkaan sumber daya alam (*resources scarcity*) dan adanya faktor emisi dari kegiatan pembangunan yang dapat mempengaruhi perkembangan pembangunan di abad 21.

Agar proses-proses pembangunan berkelanjutan secara fisik dapat dilakukan dengan baik, maka Daly (1990) dalam Smith dan Ball (2012) mensyaratkan 3 (tiga) hal yang harus dilakukan yaitu; i) tingkat ekstraksi sumber daya alam tidak melebihi tingkat kemampuan regenerasi oleh alam, ii) emisi yang dihasilkan tidak melebihi kemampuan alam untuk menyerapnya secara alamiah, dan iii) kapasitas regenerasi sumber daya alam dan penyerapan faktor emisi harus dianggap sebagai modal alam. Apabila gagal memelihara ketiga hal tersebut di atas, maka pembangunan tersebut adalah tidak berkelanjutan. Kegiatan pembangunan yang dilaksanakan oleh masyarakat dunia saat sekarang ini tidak ada persyaratan tersebut yang terpenuhi (Smith dan Ball,

2012). Ball (2010) dalam tulisannya menyatakan bahwa pembangunan berkelanjutan harus didasarkan pada prinsip pemenuhan kebutuhan generasi sekarang dengan mengkompromikan kemampuan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhannya (*sustainable development is based on the principle of meeting the needs of the current generation and compromising the ability of future generations to meet their needs*).



Gambar 1. Tiga Pilar Pembangunan Berkelanjutan

Tiga pilar yang harus ditegakkan dalam pembangunan berkelanjutan terdiri atas; pembangunan bidang lingkungan kehidupan, bidang social dan bidang ekonomi yang harus dilaksanakan secara berkeseimbangan dan berkelanjutan.

Apabila kita melakukan pembangunan apapun bentuk kegiatannya, maka secara simultan harus dapat mengangkat kesejahteraan social kemasyarakatan, berkeadilan dan

berkepatutan, mendorong produktivitas ekonomi masyarakat dan bangsa secara berkelanjutan, bertanggungjawab penuh atas keselamatan dan kesehatan lingkungan serta melindungi keterpulihan sumber daya alam yang dimanfaatkan oleh setiap bentuk kegiatan pembangunan.

Asas yang diberlakukan dalam konteks pembangunan berkelanjutan adalah perlindungan terhadap lingkungan hidup dan sumber daya alam baik secara local, regional maupun secara global, berfikirilah secara global dan bertindaklah dengan kearifan local (*think globally and act locally*), memberikan insentif dan atau subsidi kepada pihak yang pro-lingkungan dan pajak terhadap pihak yang memanfaatkan sumber daya alam dan lingkungan, bersikap sebagai pramugara lingkungan (*environmental stewardship*), tanggungjawab perusahaan terhadap komunitas social lingkungan (*corporate social responsibility*), menegakkan etika berbisnis, perdagangan yang elok (*fair trade*) dan perlindungan tenaga kerja serta konsumen.

Pemberian insentif kepada pihak pro-lingkungan merupakan upaya memberikan dorongan atau daya tarik secara moneter atau nonmoneter kepada setiap orang ataupun pemerintah pusat dan pemerintah daerah agar melakukan kegiatan yang berdampak positif pada cadangan sumber daya alam dan kualitas fungsi lingkungan hidup. Disinsentif merupakan pengenaan beban atau ancaman secara moneter atau nonmoneter kepada setiap orang ataupun pemerintah pusat dan pemerintah daerah agar mengurangi kegiatan yang berdampak negatif pada cadangan sumber daya alam dan kualitas fungsi lingkungan hidup.

Alasan mengapa pembangunan berkelanjutan harus dilakukan oleh semua Negara dan bangsa manusia di seluruh dunia adalah; karena selama puluhan tahun kegiatan pembangunan perekonomian di berbagai Negara telah mendatangkan berbagai permasalahan besar bagi lingkungan

kehidupan masyarakat dunia. Permasalahan tersebut terutama karena kepentingan ekonomi yang dilakukan harus berhadapan dengan upaya perlindungan lingkungan hidup dan sumber daya alam. Pada saat pembangunan untuk kepentingan ekonomi dilakukan, maka lingkungan hidup dan sumber daya alam selalu menjadi korban dan tidak diperhatikan, sehingga pada akhirnya kerugian material dan energy ditanggung bersama oleh seluruh masyarakat dunia yang bertempat tinggal di hanya satu bumi alam semesta ini (*the only one earth*). Setelah itu, muncul kesadaran bangsa-bangsa manusia bahwa kerusakan lingkungan hidup serta menipisnya cadangan sumber daya alam sebagai akibat dari kegiatan ekonomi yang mengekstraksi sumber daya alam secara berlebihan dan menimbulkan bencana kemanusiaan pada generasi mendatang. Pada sektor energi misalnya, keinginan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi telah mendorong peningkatan konsumsi energi di seluruh dunia, dan sumber energi yang digunakan pada umumnya berasal dari sumber energi tak terbarukan (*non-renewable energy resources*) seperti batu bara dan minyak bumi. Konsumsi energi yang besar mendorong adanya produksi dan eksploitasi pada dua sumber energi batu bara dan minyak bumi ini, yang secara langsung maupun tidak langsung memberi dampak negatif kerusakan lingkungan. Pada saat pembangunan ekonomi berlangsung, dibutuhkan konsumsi energi yang sangat besar sehingga mengakibatkan cadangan energi semakin menipis. Sehingga teori pembangunan berkelanjutan menjadi sangat penting, dimana kepentingan ekonomi-sosial-budaya dan kepentingan lingkungan hidup dapat berlangsung secara bersinergi dan bersamaan.

Pada tahun 1987, Persatuan Bangsa-Bangsa (PBB) mengeluarkan dokumen *Brundtland Report* atau yang lebih dikenal dengan "Masa Depan Kita Bersama" (*Our Common Future*), dan secara politis, laporan ini memberi sinyal dimasukkannya aspek *lingkungan* kehidupan ke dalam agenda politik perekonomian bangsa-bangsa di seluruh dunia.

Kerusakan ekologis yang disebabkan oleh upaya pembangunan dan peningkatan pertumbuhan ekonomi telah memberikan ancaman yang nyata, dan keadaan ini menimbulkan rasa kekhawatiran yang mendalam terhadap keberlanjutan ketersediaan sumber daya alam untuk generasi yang akan datang. Pada laporan tersebut, dijelaskan prinsip *sustainable development* yang diterjemahkan menjadi 'pembangunan berkelanjutan' yang kemudian menjadi topic kampanye pembangunan di seluruh Negara dan utamanya adalah untuk negara-negara berkembang. Prinsip utama pembangunan berkelanjutan adalah proses-proses pemanfaatan sumber daya alam dalam kegiatan pembangunan ekonomi tidak mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka. Tiga prinsip utama dalam pembangunan berkelanjutan melingkupi upaya untuk melindungi lingkungan hidup, masyarakat sekitar serta ketersediaan sumber daya alam di masa yang akan datang. Berdasarkan dokumen *World Commission on Environment and Development* (WCED) dijelaskan bahwa pembangunan berkelanjutan menekankan pada pentingnya untuk pengendalian pengambilan sumber daya alam, baik sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) maupun sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (*non-renewable resources*).

Kedua jenis sumber daya alam tersebut masih dapat diambil, namun harus mengkaji dampak negatif pengambilan sumber daya alam tersebut dan meminimumkan dampak negative yang ditimbulkannya jika terpaksa harus menggunakan sumber daya alam tersebut. Negara-negara di seluruh dunia didorong untuk memperhatikan implikasi sosial-budaya serta implikasi lingkungan hidup dari pengaruh kegiatan ekonomi yang dilakukan oleh masyarakatnya, misalnya suatu negara masih diperbolehkan menebang hutan mereka namun harus menanam benihnya di tempat lain.

Sehingga pada intinya, konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) merupakan jembatan antara kebutuhan ekonomi masyarakat dunia dengan upaya perlindungan lingkungan hidup dan masyarakat lokal. Upaya untuk mendorong dapat diterapkannya prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan dapat dilakukan melalui tiga cara yaitu: 1) melalui pendidikan, 2) melakukan reformasi dan pengembangan institusi pengelolaan lingkungan hidup, serta 3) melalui regulasi yang bijak. Dengan dimasukkannya konsep prinsip pembangunan berkelanjutan di dalam dokumen WCED, maka ada harapan terhadap perubahan pola kebijakan dan investasi ekonomi di berbagai belahan dunia. Sekalipun isu lingkungan pada masa itu masih merupakan agenda minoritas, namun mulai terlihat kecenderungan yang cukup positif terhadap wacana lingkungan hidup di dalam diskusi internasional. Dokumen “*Our Common Future*” menjadi dokumen bersejarah yang menandai perjalanan diimplementasikannya berbagai prinsip untuk mengarah kepada pembangunan yang berkelanjutan di berbagai Negara.

Akhirnya, bahwa dalam rangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang berkelanjutan harus dilaksanakan berdasarkan asas; tanggung jawab Negara, asas kelestarian dan keberlanjutan, asas keserasian dan keseimbangan, asas keterpaduan, asas manfaat, asas kehati-hatian, asas keadilan, asas ekoregion, asas keanekaragaman hayati, asas pencemar membayar, asas partisipatif, asas kearifan local, asas tata kelola pemerintahan yang baik, dan asas otonomi daerah. Tindakan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup secara berkelanjutan harus dilaksanakan pada setiap tahap kegiatan meliputi: kegiatan perencanaan, kegiatan pemanfaatan, kegiatan pengendalian, kegiatan pemeliharaan dan kegiatan pengawasan, serta melakukan kegiatan penegakan hukum.

Berdasarkan atas penjelasan di atas, maka para ahli mendiskusikan dan mengkompromikan bagaimana

menerapkan konsep pembangunan berkelanjutan pada bidang industri manufaktur sehingga muncul berbagai definisi atas berbagai kegiatan pembangunan termasuk industri dan manufaktur.

Definisi industri adalah seluruh bentuk kegiatan ekonomi yang mengolah bahan baku dan/ atau memanfaatkan sumber daya alam sehingga menghasilkan barang dan/ atau jasa yang mempunyai nilai tambah ekonomi dan manfaat yang lebih tinggi. Contoh industri jasa yang memanfaatkan sumber daya alam dan lingkungan adalah kegiatan industri perbankan, industri pariwisata, industri perhotelan dan lain sebagainya.

Industri hijau (*green industry*) adalah industri yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan sehingga mampu menyelaraskan pembangunan industri dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat bagi masyarakat.

Manufaktur adalah seluruh bentuk kegiatan ekonomi yang mengolah bahan baku dan/ atau memanfaatkan sumber daya manufaktur sehingga menghasilkan barang yang mempunyai nilai tambah ekonomi atau manfaat lebih tinggi.

Manufaktur hijau (*green manufacturing*) adalah manufaktur yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan, sehingga mampu menyelaraskan pembangunan manufaktur dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat bagi masyarakat.

Manufaktur berkelanjutan (*sustainable manufacturing*) adalah manufaktur yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan, sehingga mampu

menyelaraskan pembangunan manufaktur dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat yang besar bagi masyarakat.

OECD (*organization of environmental commission on development*) mendefinisikan *sustainable manufacturing* sebagai upaya kreatif dari pengusaha manufaktur untuk menghasilkan produk yang menggunakan sumber daya alam dan lingkungan sebagai input, dan memprosesnya secara efisien dan produktif dan meminimumkan dampak negative lingkungan hidup, melakukan konservasi energy dan sumber daya alam, menyelamatkan dan melindungi para pekerja, masyarakat lingkungan dan konsumen pengguna produk.

Terdapat berbagai macam makna *green manufacturing* dan atau *sustainable manufacturing* atau manufaktur berkelanjutan antara lain adalah:

1. Manufaktur yang menggunakan teknologi ramah lingkungan;
2. Manufaktur yang menggunakan teknologi yang tidak merusak lingkungan;
3. Manufaktur yang menggunakan teknologi yang menghasilkan produk ramah lingkungan;
4. Manufaktur yang menggunakan teknologi minimum *entropy*;
5. Manufaktur yang menggunakan teknologi *zero pollutant*;
6. Manufaktur yang menggunakan teknologi *zero emission*;
7. Manufaktur yang menggunakan teknologi yang berkelanjutan;
8. Manufaktur menggunakan teknologi yang ekoefisien.

Terdapat berbagai macam pendekatan (*approaches*) dalam upaya mewujudkan *green manufacturing* dan atau *sustainable manufacturing* atau manufaktur berkelanjutan antara lain adalah:

1. Aspek *input* material dan energy;

2. Aspek *processing* (*green process, cleaner process, cleaner production, cleaner product*);
3. Aspek *product* (*cleaner product, green product, eco-product*);
4. Aspek *entropy*;
5. Aspek siklus hidup material product;
6. Aspek keselamatan dan kesehatan kerja;
7. Aspek keamanan dan keselamatan pengguna produk;
8. Prinsip dematerialisasi dan decarbonisasi;
9. Aspek keberlanjutan penggunaan teknologi dan lingkungan;
10. Aspek toksikologi industri dan produk
11. Pemenuhan kebutuhan, keinginan dan permintaan konsumen global;
12. Penerapan filosofi "*from cradle to grave*", "*from cradle to cradle*" dan "*from soil to soil*";
13. Nilai keefisienan; dan
14. Aspek *ecolabel* (petaatan peraturan-perundangan yang berlaku).

Penerapan filosofi "*from cradle to grave*" dan "*from soil to soil*" dalam upaya mewujudkan *green manufacturing* dan atau *sustainable manufacturing* atau manufaktur berkelanjutan antara lain adalah:

1. Implementasi kehidupan yang berasal dari tanah akan kembali ke tanah (semua yang hidup pasti akan mati dan masuk kuburan menjadi sampah);
2. Implementasi menuju keseimbangan alam, sepanjang *entropy* yang terbentuk tidak berlebihan;
3. Menyelamatkan lingkungan hidup dari perusakan dan pencemaran; dan
4. Menyelamatkan ketersediaan sumber daya alam (bahan baku industri-manufaktur/ekonomi) agar tidak cepat habis atau agar tidak cepat punah.

Perbedaan prinsipil antara teori "*from cradle to grave*" dan teori "*from soil to soil*" adalah; teori "*from soil to soil*" lebih menitik beratkan pertimbangan aspek keberadaan dan keberlanjutan ketersediaan sumber daya alam dan lingkungan hidup yang digunakan/dimanfaatkan oleh manufaktur untuk memproduksi produk barang dalam upaya mewujudkan *green manufacturing* dan atau *sustainable manufacturing* atau manufaktur berkelanjutan. Sedangkan teori "*from cradle to grave*" lebih menitik beratkan pertimbangan aspek *output* produk/barang yang dihasilkan oleh industri/manufaktur, yaitu; produk dengan usia pakai yang lama (tahan lama, berkualitas baik, disayangi konsumen, mudah dirawat) produk ramah lingkungan (produk barang tidak mencelakai konsumen, produknya ramah lingkungan, produknya tidak mencemari lingkungan pada saat produk/barang tersebut telah berubah menjadi sampah). Konsep "*from cradle to cradle*" adalah kreativitas industry yang menitik beratkan kegiatan pada produk jaman dulu (jadul) yang dimodifikasi atau dimodernisasi dalam bentuk yang lebih menarik perhatian konsumen. Namun filosofi "*from cradle to cradle*" tetap pada upaya bagaimana mempertahankan keutuhan sumberdaya alam pada produk agar tidak cepat menjadi sampah.



Manajemen Manufaktur Berkelanjutan

Manajemen manufaktur hijau adalah studi tentang bagaimana mengelola siklus materi dan aliran energi dalam aktivitas kegiatan manufaktur, mempelajari dampak siklus materi dan aliran energi terhadap lingkungan hidup. Secara umum manajemen manufaktur juga mempelajari pengaruh faktor social-ekonomi-politik dan aspek hukum terhadap siklus materi dan aliran energi, serta mengkaji pengaruh penggunaan dan transformasi sumber daya alam oleh kegiatan industri dan manufaktur terhadap kualitas lingkungan hidup.

Tujuan studi tentang manajemen manufaktur hijau adalah untuk memahami dan menerapkan bagaimana cara mengintegrasikan aspek kepentingan alam atau lingkungan hidup ke dalam aktivitas kegiatan manufaktur yang selama ini hanya mengarah pada kepentingan ekonomi semata. Ilmu Manajemen manufaktur hijau memberikan pemahaman bagaimana cara dan upaya untuk mengintegrasikan aspek ekologi ke dalam aspek ekonomi atau sebaliknya mengintegrasikan kepentingan ekonomi ke dalam kepentingan ekologi. Sistem pengintegrasian tersebut akan dilakukan dalam proses-proses kegiatan manufaktur yang sedang berlangsung dan yang akan berlangsung. Pengintegrasian sistem ekologi ke dalam sistem manufaktur akan mengarahkan pelaku manufaktur dalam aktivitas usahanya untuk selalu memperhatikan dan mengutamakan kepentingan generasi masa depan dan keberlanjutan kualitas lingkungan hidup yang lebih baik dari kondisi sekarang.

Manajemen manufaktur hijau merupakan kerangka kerja pengelolaan lingkungan yang melibatkan berbagai disiplin ilmu dalam mendisain dan mengoperasikan system manufaktur sebagai system kehidupan yang saling ketergantungan dengan system alami. Hal ini dimaksudkan

sebagai upaya untuk dapat memahami kendala ekologi lokal dan global guna mencapai keseimbangan antara performa ekonomi dan keberlanjutan ekologi. Upaya ini telah dilakukan oleh para ahli lingkungan (*environmental science*) dalam pengembangan system manufaktur hijau, dan mereka sering menyebutnya sebagai upaya keberlanjutan atau “ilmu pengetahuan berkelanjutan” (*the science of sustainability*).

Manufaktur hijau sebagai suatu dinamika sistem didasarkan atas kerangka konsep yang mendorong kemampuan manusia dalam mengelola aktivitas manufaktur yang berbasis pada aspek keberlanjutan ekologi melalui pendekatan: minimisasi penggunaan materi, energi dan minimisasi limbah dan polutan, serta menjamin kualitas kehidupan yang baik dapat diperoleh masyarakat luas. Graedel (1995) menyebutkan bahwa manufaktur hijau dan metabolisme manufaktur adalah suatu konsep untuk membuat pola-pola produksi manufaktur yang memiliki hubungan sangat dekat dengan konsep produksi bersih (*cleaner production*). Manufaktur hijau dan metabolisme manufaktur merupakan suatu studi terhadap sistem manufaktur dan aktivitas ekonomi yang secara mendasar terkait dengan system alami (ekologi). Pada prinsipnya, hasil studi metabolisme manufaktur membantu manufaktur untuk mengarahkan kegiatannya pada aspek penggunaan material yang dapat didaur ulang dalam suatu ekosistem, mengelola siklus material dan aliran energi dalam manufaktur merupakan aspek penting (*crucial*) dalam pendekatan metabolisme manufaktur.

Siklus materi dan aliran energi dalam sistem manufaktur dapat dianalogikan sebagai interaksi sistem manufaktur dengan sistem lingkungan alam di sekitarnya atau disebut sebagai metabolisme manufaktur. Metabolisme manufaktur sama dengan metabolisme dalam tubuh manusia dimana terdapat bahan baku (makanan), proses (pencernaan), produk (kerja) dan entropi (kerugian berupa kotoran atau limbah). Konsep metabolisme manufaktur mengkaji masalah pengintegrasian

proses-proses fisik yang mengonversikan bahan baku, energi dan tenaga kerja menjadi produk akhir dan limbah. Faktor output tenaga kerja dalam proses produksi dan output produk untuk konsumen berperan sebagai komponen manusia dapat dijadikan alat pengontrol stabilitas proses produksi dalam suatu kegiatan manufaktur yang berwawasan lingkungan. Kata “metabolisme” mengacu pada proses-proses internal dari suatu organisme hidup yang dibutuhkan untuk menjaga dan mempertahankan kehidupan.

Terdapat banyak kesamaan antara proses-proses biologi dengan proses-proses manufaktur hijau yang dapat digambarkan oleh kata metabolisme. Kedua proses tersebut di atas (metabolisme biologi dan manufaktur) dapat memberikan gambaran tentang sistem disipasi (*dissipative systems*) atau “pemborosan” yang lazim terjadi pada kegiatan manufaktur. Dengan kata lain bahwa setiap proses pada kegiatan apapun dapat dipastikan menghasilkan limbah sebagai output dari suatu proses. Sebagai contoh dapat digambarkan, manusia makan nasi dengan lauk-pauk dan lain sebagainya masuk kedalam perut dan diolah oleh metabolisme dalam tubuh (perut) menjadi energi kerja dan sebagian dari makanan tersebut dipastikan menjadi tinja atau limbah yang harus dibuang ke lingkungan. Apabila kita memakan nasi ataupun lauk-pauk yang tidak berkualitas (bahan baku jelek) maka dapat dipastikan perut kita akan mulas, sering buang air besar, sebentar-sebentar kita harus ke toilet untuk buang air besar, maka dengan sendirinya output kita (aktivitas bekerja) akan terhambat dan kualitas hasil kerja kita akan menurun. Apa artinya bagi manufaktur?, bahwa jika bahan baku produksi tidak berkualitas, maka dapat dipastikan proses-proses produksi akan terganggu dan output produk dipastikan pula akan ikut jelek. Disamping itu, entropi berupa limbah produksi pasti akan banyak jumlahnya. Pada kasus lain misalnya, apabila kita tidak terbiasa makan nasi dengan kandungan sambal (cabe) yang terlalu banyak maka dapat dipastikan perut kita (mesin

produksi) akan mengalami masalah, demikian pula dengan output produk yang dihasilkan dapat dipastikan pula tidak berkualitas (sementar-sementar kita harus ke toilet). Hal ini juga dapat terjadi pada kegiatan manufaktur semen misalnya; persentase campuran (*blending*) antara jumlah material batu kapur dengan material batu semen (*lime-stone*) tidak proporsional maka kualitas produk semen yang dihasilkan akan mengalami masalah pada saat dipakai oleh konsumen untuk memasang batako ataupun untuk memplester dinding. Kegiatan suatu pabrik dapat digambarkan sebagai perwujudan kegiatan pengelolaan sumber daya secara mandiri, dan konsep metabolisme manufaktur dapat diterapkan untuk mengelola kegiatan manufaktur menuju manufaktur yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Prinsip dasar dalam menerapkan konsep metabolisme manufaktur adalah mengkaji aspek *input* material dan energi, proses-proses produksi, output produk dan limbah serta pencemaran yang dihasilkan oleh kegiatan manufaktur.

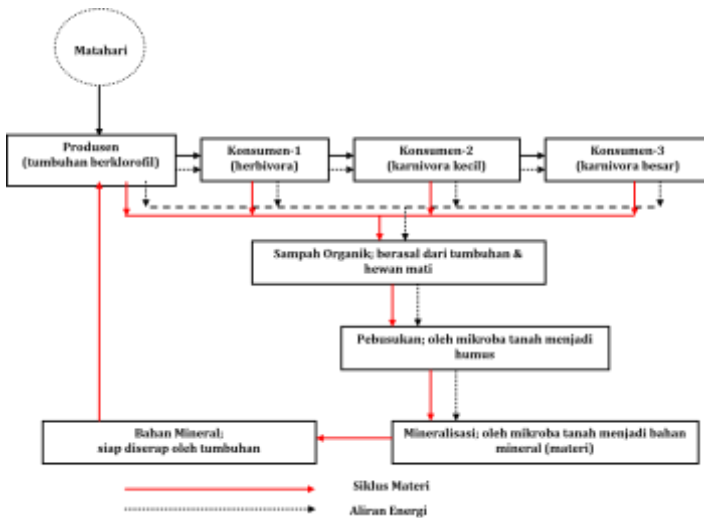
Total penggunaan material dan energi dalam proses produksi adalah keseluruhan proses-proses manufaktur seperti kegiatan pabrik, kegiatan suplai bahan baku, penggunaan energi, transportasi material dan energi, daur ulang material, penggunaan kembali sisa material limbah, dan pembuangan material limbah sebagai nutrisi manufaktur sebagaimana dibutuhkannya materi dan energi pada setiap tahapan proses produksi. Dalam konteks metabolisme manufaktur, setiap proses selalu menghasilkan entropi atau limbah yang disebut sebagai nutrisi (material dan energi dalam bentuk gizi) yang harus dapat memberikan manfaat bagi lingkungan hidup, dan bukan untuk merusak lingkungan hidup.

Nutrien manufaktur didefinisikan oleh *Michael Braungart* sebagai material bahan baku yang digunakan oleh manufaktur atau pabrik untuk memproduksi produk barang dan sekaligus menghasilkan produk barang sampah. Bahan-bahan tersebut bila diperlakukan dan diolah sebagai sumber daya yang bernilai ekonomi, maka limbah nutrisi dapat digunakan untuk memproduksi produk lain yang bermanfaat,

bahkan limbah dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain selain keperluan kegiatan manufaktur. Perlu diketahui bahwa nutrisi manufaktur masih memiliki sifat ekonomi dan ada yang bersifat toksik bagi lingkungan hidup. Dalam pengelolaannya, nutrisi yang masih memiliki nilai ekonomis harus diupayakan untuk dimanfaatkan bagi keuntungan lingkungan, sedangkan nutrisi yang bersifat toksik harus dikelola dengan tidak membuangnya ke lingkungan, tetapi harus diamankan dari risiko terhadap lingkungan hidup.

Tolok ukur keberhasilan dalam melaksanakan manajemen manufaktur hijau adalah: i) efisien dan efektif menggunakan material dan energi pada proses-proses kegiatan manufaktur, ii) efisien dalam aspek ekonomi dan efisien pada aspek ekologi (*eco-efficient*), iii) manufaktur beroperasi dengan prinsip minimum limbah dan minimum pencemaran (*minimum waste and pollutant*), iv) menghasilkan output produk ramah lingkungan (*eco-friendly product*), v) manufaktur dapat berlangsung secara berkelanjutan (*sustainable*), dan vi) industri menggunakan materi dan energi (sumber daya alam) yang bersifat terbarukan (*renewable resources*).

Proses-proses ekologi secara alami dapat kita pelajari melalui konsep dasar transformasi materi dan energi secara alami seperti gambar berikut:



Gambar 2. Konsep Dasar Transformasi Materi dan Energi

Gambar 2 menjelaskan asal muasal sumber daya alam berkembang dari proses perpindahan energy dari matahari ke vegetasi melalui proses fotosintesa yang merubah energy menjadi materi pada tumbuhan berkhlorofil.

Hukum aliran energi dan siklus materi ini dijadikan sebagai basis untuk menganalisis tatanan ekologi manufaktur. Sunatullah adalah aturan hukum mutlak yang mengatur alam semesta beserta isinya, dan Sunatullah di dalam ilmu pengetahuan umum dikenal dengan hukum termodinamika (*thermodynamic law*). Terdapat 2 (dua) aturan pokok dalam hukum termodinamika yaitu; 1) hukum termodinamika I (*pertama*), dan hukum termodinamika II (*kedua*).

Hukum termodinamika *pertama* menyebutkan bahwa; jumlah energi dalam alam semesta adalah konstan, artinya jumlah

energi itu tidak dapat bertambah ataupun berkurang, energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dihilangkan, akan tetapi energi dapat berubah bentuk dan biasa disebut sebagai hukum konversi energi. Hukum termodinamika *kedua* menyebutkan bahwa; energi yang ada tidak seluruhnya dapat dipakai untuk melakukan kerja. Proses energi tidak pernah terjadi secara spontan, kecuali perombakan dari keadaan pekat menjadi encer dan proses transformasi energi tidak pernah 100% efisien, atau entropi (kerugian panas dan limbah) suatu sistem selalu hadir menyertainya.

Hukum termodinamika *pertama* berlaku secara mutlak sesuai kehendak Tuhan pencipta alam semesta, sedangkan hukum termodinamika *kedua* dapat diintervensi oleh perilaku manusia yang melakukan kesalahan atau kelalaian.

Dalam kerangka berfikir dan tindakan manusia untuk melindungi dan menyelamatkan lingkungan hidup maka perlu mempelajari dan mengimplementasikan hukum alam dalam teori aliran energi dan siklus materi sebagaimana dijelaskan pada gambar-2 di atas.

Transformasi energy menjadi materi selalu disertai dengan entropy dalam bentuk kerugian panas atau entropy. Transformasi materi dari tropic satu ke tropic lainnya dalam rantai makanan akan selalu disertai dengan produk limbah sebagai entropy. Keadaan ini sesungguhnya terjadi pula dalam sistem industry, dimana energy yang dimanfaatkan oleh industry untuk menggerakkan mesin produksi selalu disertai kerugian energi dalam bentuk panas, bising dan getaran serta polutan lainnya. Disamping terjadinya transformasi energy dalam industry, maka juga terjadi transformasi materi dalam bentuk material bahan baku manufaktur yang diolah menjadi produk barang dan produk material limbah. Material limbah yang dihasilkan oleh kegiatan manufaktur bila tidak dapat dimanfaatkan kembali dalam bentuk produk lain, maka limbah tersebut nantinya dapat menjadi nutrient bagi lingkungan. Nutrient dalam arti

material limbah secara alami akan dimanfaatkan oleh makhluk hidup lain untuk dijadikan sebagai bahan makanan dan menghasilkan limbah dari makhluk hidup itu sendiri yang nantinya secara alami menjadi nutrisi bagi tumbuhan di tanah. Transformasi materi dan energy yang terjadi secara alamiah menjadi dasar hukum untuk mengembangkan praktek manajemen manufaktur hijau secara praktis di dunia manufaktur dewasa ini.

Enam prinsip dasar yang harus dilakukan dalam mewujudkan teori ekologi pada sistem manufaktur hijau adalah:

1. Menciptakan ekosistem industri dengan cara: i) maksimalkan penggunaan material *input* yang dapat didaur ulang di dalam sistem produksi, ii) mengoptimalkan pemanfaatan material dan energi yang terbarukan, iii) melakukan minimisasi limbah, iv) melakukan evaluasi ulang terhadap limbah yang terjadi untuk dapat digunakan kembali pada proses (menjadi produk) lain.
2. Menyeimbangkan antara material input dan output produksi terhadap kemampuan ekosistem alami (daya tampung lingkungan) untuk menerima produk dan menyerap limbah serta kemampuan untuk mensuplai material bahan baku produksi (daya dukung lingkungan). Keseimbangan material input-output harus dilakukan dengan cara memahami tipologi lingkungan atau kemampuan ekosistem alam untuk menyerap limbah toksik khususnya pada saat terjadi keadaan darurat atau bencana alam.
3. Dematerialisasi material produk output manufaktur, mereduksi intensitas material dan energi dalam proses dan selama proses produksi.

4. Memperbaiki lintasan (*pathways*) proses-proses manufaktur dan penggunaan material, melakukan reduksi ataupun melakukan penyederhanaan proses-proses industri yang menandingi (*emulate*) alam, serta meningkatkan efisiensi di segala bidang.
5. Menggunakan pola-pola sistemik dalam menggunakan energi, memperbaiki system aliran energy yang dapat berfungsi sebagai bagian dari ekosistem manufaktur, dan meminimumkan dampak negative yang timbul atau bebas dampak negative terhadap lingkungan, dan searah dengan pola-pola penggunaan energi.
6. Membuat kebijakan jangka panjang dan perspektif pengembangan system manufaktur hijau melalui kerja sama antar negara atau antar departemen untuk mengintegrasikan kebijakan ekonomi dan ekologi.

Manufaktur hijau memfokuskan pemikiran dan pemahaman terhadap bagaimana suatu industri dapat dikembangkan untuk mampu mereduksi keseluruhan beban lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan manufaktur. Melalui penilaian daur hidup material dan siklus produk mulai dari ekstraksi material bahan baku, proses produksi, distribusi barang, penggunaan produk barang, dan pembuangan produk sebagai sampah yang merangkum semua variabel terkait mencakup:

1. Studi tentang aliran materi dan energi;
Studi ini akan mempelajari bagaimana peristiwa terjadinya proses daur materi dan aliran energi dalam aktivitas manufaktur. Pada studi ini akan digunakan hukum alam tentang hukum kekekalan energi dan peristiwa terjadinya entropi pada proses-proses produksi. Hasil kajian ini akan memberikan gambaran mengenai potensi limbah dan pencemaran yang dilakukan oleh industri terhadap lingkungannya. Pada studi ini kita mempelajari bagaimana material bahan

baku dapat berubah menjadi produk barang jadi, bagaimana limbah dan pencemaran terjadi serta bagaimana cara mengelolanya.

2. Kajian tentang dematerialisasi dan dekarbonisasi;
Studi ini akan mengarahkan pengelola manufaktur pada aspek efisiensi dan produktivitas penggunaan material bahan baku dan bahan pembantu pada proses produksi. Sehingga dapat dicapai suatu keadaan penghematan sumber daya alam (materi dan energi) menuju efisien dalam aspek ekonomi dan efisien pula dalam aspek ekologi (eko-efisiensi). Dematerialisasi dimaksudkan sebagai upaya untuk meminimumkan penggunaan material bahan baku dan bahan pembantu dalam proses produksi maupun pada produk. Teori dematerialisasi adalah penerapan upaya-upaya untuk penghematan penggunaan material dalam proses produksi maupun pada produk. Sedangkan yang dimaksud dengan teori dekarbonisasi adalah upaya untuk meminimumkan timbulnya karbon atau arang dalam proses pembakaran yang terjadi akibat penggunaan energi yang berlebihan pada proses produksi. Penerapan teori dekarbonisasi ini sekaligus akan meminimumkan terjadinya pencemaran lingkungan oleh karbon sebagai akibat dari adanya peristiwa perpindahan energi dalam proses-proses manufaktur yang berlangsung secara efisien dan produktif.
3. Perbaikan teknologi dan lingkungan;
Perbaikan teknologi dan lingkungan dimaksudkan untuk memperbaiki dan atau memperbarui teknologi yang sudah tua atau usang dan tidak efisien. Teknologi usang dan tidak efisien umumnya menghasilkan limbah dan pencemar yang lebih banyak dibanding teknologi yang baru. Logika ini menyangkut kondisi mesin yang aus tentunya membutuhkan perawatan dan pengelolaan yang lebih intensif dibanding mesin yang baru, demikian

pula mesin yang aus biasanya membutuhkan energi yang banyak seperti penggunaan oli pelumas yang lebih banyak dibanding yang dibutuhkan oleh mesin baru. Mesin yang baru umumnya lebih irit menggunakan bahan bakar minyak (BBM) dibanding mesin yang sudah tua. Sehingga dengan logika berfikir demikian maka perbaikan ataupun memperbaiki teknologi diharapkan dapat menghemat energi dan tentunya membawa dampak positif terhadap lingkungan, dimana mesin yang baik akan lebih ramah lingkungan dibanding teknologi yang sudah usang. Perbaikan lingkungan dimaksudkan sebagai upaya memperbaiki lingkungan hidup dalam konteks proses industri, dimana perbaikan lingkungan dilakukan tidak hanya pada subyek lingkungan yang diperbaiki, melainkan teknologi yang berdampak negatif terhadap lingkungan juga harus diperbaiki. Caranya adalah sama dengan memperbaiki alat dan teknologi yang digunakan oleh industri untuk kegiatan produksi agar diperoleh lingkungan yang lebih baik. Cara terakhir ini lebih bersifat pasif terhadap perbaikan lingkungan dibanding dengan memperbaiki lingkungan secara langsung atau secara aktif.

4. Perancangan siklus hidup material;
Perancangan siklus hidup material selama proses produksi dalam manufaktur (proses-proses berlangsungnya perubahan materi dan atau energi dalam kegiatan produksi) mengarahkan kita kepada bagaimana cara untuk mendapatkan siklus yang berkelanjutan (*sustainability*). Artinya, material yang dipergunakan untuk kegiatan produksi yang kita ambil dari alam, diupayakan untuk dapat dimanfaatkan selama mungkin baik dengan cara merancang daya tahan (*durability*) produk yang lebih tinggi (daya manfaat produk lebih lama), dan jika produk sudah tidak dapat dipergunakan lagi, maka harus diupayakan agar produk tersebut dapat didaur ulang. Sehingga dalam konteks perencanaan

siklus hidup material diharapkan menggunakan material dari lingkungan alam dapat dipakai dengan durasi waktu yang lebih lama atau waktu lebih panjang sehingga dapat menghemat penggunaan sumber daya alam dan ketahanan lingkungan. Metode lain adalah mencari alternatif sumber daya alam terbarukan untuk dijadikan bahan baku produksi sehingga proses produksi dapat dilakukan secara berkelanjutan.

Penilaian daur hidup dimaksudkan untuk memperoleh gambaran tentang sesuatu keadaan bila menggunakan alternatif material tertentu, sehingga dapat diambil kebijakan untuk menggunakan material yang masa pakainya lebih lama. Dalam konteks ini upaya yang dapat dilakukan manajemen manufaktur hijau adalah menilai dan kemudian memilih alternatif bahan baku yang dapat menghemat penggunaan sumber daya alam, baik dari segi teknologi, proses maupun desain produk yang hendak dihasilkan.

Sifat dan karakteristik bahan baku manufaktur dapat kita tinjau dari sifat ketersediaannya, apakah bahan baku tidak habis pakai (*sustainable resources*), apakah sifat bahan baku akan cepat habis terpakai (*depletion*) atau tidak dapat dipulihkan seperti penggunaan batubara dan bahan bakar fosil lainnya. Dalam konteks manajemen manufaktur hijau maka kebijakan utama yang dipilih adalah bahan baku yang dapat diperbarui (*renewable resources*). Aspek penggunaan teknologi tentunya kebijakan manajemen manufaktur hijau akan merekomendasikan pemilihan teknologi yang ramah lingkungan, efisien dan produktif. Aspek tipologi lingkungan; apakah ekologi lokal mampu mendukung dan menopang keberlanjutan kegiatan manufaktur atau tidak baik dari segi sosial, ekonomi, budaya, hukum maupun aspek ekologi.

5. Perancangan lingkungan yang mengarah pada *eco-design*; Perancangan lingkungan dimaksudkan sebagai upaya untuk merencanakan bentuk atau desain lingkungan yang sesuai dengan tipologi lingkungan yang ada atau sesuai dengan karakteristik lingkungan yang seharusnya ada di wilayah yang akan kita kaji terkait dengan tipologi kegiatan manufaktur. Sebagai contoh misalnya, kita merencanakan mendirikan pabrik pengolahan kelapa sawit, maka perancangan lingkungan yang harus kita lakukan adalah mempelajari tipologi lingkungan lokal, apakah di wilayah tersebut memungkinkan tersedianya material kelapa sawit secara berkelanjutan dengan tanpa merusak ekosistem setempat. Apakah limbah kelapa sawit yang dihasilkan dapat didaur ulang di lokasi tersebut untuk diproduksi menjadi produk yang bermanfaat secara ekonomi dan secara ekologi setempat (*local ecology*). Apakah penggunaan sumber daya lokal termasuk penggunaan kelapa sawit dan pengembangan penanaman kelapa sawit dapat merusak ekosistem lokal atau bahkan dapat mempengaruhi sistem ekologi global. Sasaran akhir perancangan ekologi atau lingkungan adalah untuk mendapatkan lingkungan yang mampu mendukung, menopang dan mensuplai bahan baku industri secara berkelanjutan serta limbah dan polutan yang dihasilkan oleh kegiatan manufaktur dapat ditampung oleh lingkungan lokal sehingga tidak mengganggu dan tidak merusak tatanan lingkungan setempat.
6. Peningkatan tanggungjawab produsen yang mengarah pada "*product stewardship*". Peningkatan kesadaran tanggung jawab produsen dan pemilik manufaktur terhadap lingkungan maupun terhadap konsumen yang menerima produk yang dihasilkan. Dalam konteks ini misalnya, produsen tekstil bertanggung jawab terhadap lingkungan pabrik dimana pabrik beroperasi baik tanggungjawab sosial kesehatan masyarakat sekitar

industri maupun tanggung jawab produsen terhadap pencemaran yang dikeluarkan oleh manufaktur tekstil yang mencemari media air, udara dan tanah termasuk aspek biologi lingkungan. Sedangkan tanggungjawab terhadap produk tekstil yang dihasilkan adalah tanggungjawab bila produk tekstil yang dihasilkan oleh pabrik tidak mengganggu kesehatan pemakai tekstil atau konsumen tekstil. Dalam hal ini, produk tekstil yang dijual ke konsumen tidak mengakibatkan konsumen dirugikan secara ekonomi, maupun tidak merugikan aspek kesehatan dan keselamatan pemakai tekstil. *Product stewardship* adalah produk yang dapat memberikan pelayanan dan kepuasan kepada konsumen; produk yang tidak mencelakai konsumen; produk sehat; produk aman; dan produk yang berkualitas baik.

7. Menciptakan kawasan manufaktur terpadu yang ramah lingkungan (*eco-manufacture parks*) yang mengarah pada praktik simbiosis maufaktur (*manufacture symbiosis*). Praktik manufaktur simbiosis misalnya; salah satu pabrik dalam kawasan manufaktur menghasilkan limbah, maka limbah pabrik tersebut dapat dimanfaatkan oleh pabrik lainnya sebagai bahan baku utamanya, dan limbah pabrik yang kedua ini juga dapat dimanfaatkan oleh pabrik ketiga sebagai bahan baku pembantu produksi dan sebagainya. Praktik manufaktur simbiosis ini telah berlangsung sangat sukses di Kalundborgh Denmark sebagaimana dijelaskan pada bagian paradigma industri dan lingkungan hidup. Sehingga pada kawasan manufaktur Kalundborgh ini tidak ada satupun limbah yang dibuang ke lingkungan.
8. Kebijakan yang mendorong penggunaan bahan baku yang dapat diperbarui (*renewable resources*) dan mencegah penggunaan material bahan berbahaya dan beracun (B₃), serta kebijakan pengoperasian industri yang berorientasi pada produk ramah lingkungan.

Orientasi operasional manufaktur ramah lingkungan dapat dicapai dengan menerapkan *cleaner product*, *cleaner process* dan *cleaner productions*. Karakteristik industri meliputi; apakah industri tergolong pada manufaktur yang mengolah bahan berbahaya dan beracun (B₃) atau tidak, apakah tergolong manufaktur polutan atau non polutan.

Untuk dapat menerapkan manajemen manufaktur hijau secara baik dan benar maka diperlukan pemahaman tentang sifat dan karakteristik manufaktur, sifat dan karakteristik bahan baku produksi, teknologi, sumber bahan baku, cara memperoleh bahan baku, tipologi lingkungan manufaktur, memahami proses-proses produksi, sifat limbah, aspek hidrologi lingkungan, topografi lingkungan, arah dan kecepatan angin dan lain sebagainya.

Untuk dapat mengetahui karakteristik manufaktur, maka dapat kita perhatikan dari jenis bahan baku yang digunakan untuk proses produksi dengan pertanyaan seperti; apakah industri tergolong pada manufaktur yang mengolah bahan baku/material bersifat berbahaya dan beracun (B₃) ataukah tidak, apakah tergolong manufaktur *pollutant* atau non-*pollutant*. Sifat dan karakteristik bahan baku manufaktur juga dapat ditinjau dari sifat ketersediaannya, apakah bahan baku tidak habis pakai (*sustainable resources*), apakah sifat bahan baku lekas habis terpakai, apakah ketersediaan cadangan bahan baku (SDA) dapat dipulihkan atau tidak seperti ketersediaan bahan bakar fosil dan lain sebagainya. Dalam konteks ekologi industri, maka kebijakan utama yang dipilih adalah penggunaan bahan baku yang ketersediaannya dapat terbarukan oleh alam (*sustainable resources use*). Aspek penggunaan teknologi, tentunya kebijakan manufaktur hijau akan merekomendasikan pemilihan teknologi yang ramah lingkungan, efisien dan produktif. Sedangkan pada aspek tipologi lingkungan, apakah ekologi lokal mampu mendukung

keberlanjutan kegiatan manufaktur ataukah tidak, baik dalam segi sosial, ekonomi, budaya dan ekologis.

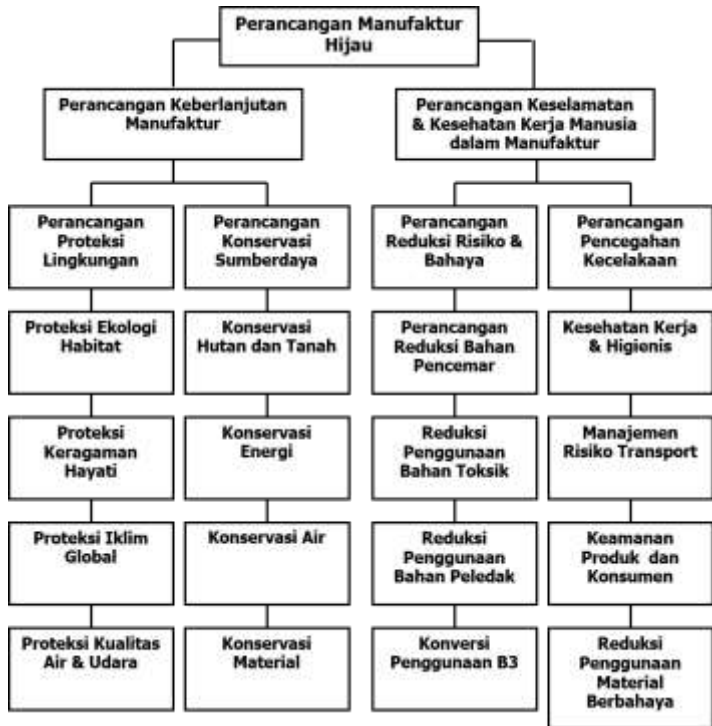
Berdasarkan atas uraian dan penjelasan seperti tersebut di atas maka paling tidak terdapat 6 (enam) kriteria tolok ukur keberhasilan penerapan manajemen manufaktur hijau pada suatu manufaktur. Keenam kriteria tersebut adalah:

1. Keseluruhan kegiatan manufaktur efisien dan efektif menggunakan material dan energi pada proses-proses kegiatan manufaktur.
2. Efisien dalam aspek ekonomi dan efisien pada aspek ekologi (*eco-efficient*).
3. Minimum menghasilkan entropy berupa limbah dan pencemaran (*minimum waste and pollutant*).
4. Manufaktur menghasilkan *output product* yang ramah lingkungan (*eco-friendly product; green-product; eco-product*).
5. Manufaktur beroperasi secara berkelanjutan (*sustainable*).
6. Menggunakan material dan energi (sumber daya alam) terbarukan (*renewable resources*).



Perancangan Lingkungan Manufaktur

Perancangan lingkungan (*Design for Environment = DfE*) adalah kegiatan perencanaan sistemik atas keseluruhan detail engineering desain manufaktur yang apresiatif terhadap lingkungan hidup. Detail engineering perancangan manufaktur yang dimaksud meliputi; perancangan keselamatan dan kesehatan lingkungan manufaktur, perancangan keselamatan dan kesehatan konsumen pemakai produk, perancangan perlindungan sumber daya dan integritas ekologi, pencegahan pencemaran dan reduksi penggunaan bahan toksik, merancang produk yang mudah ditranspotasi (*transportability*) guna menghemat energi, perancangan meminimalisir limbah, merancang produk yang mudah dibongkar (*disassembly*) dan mudah dibuang, merancang produk yang mudah didaur ulang (*recyclability*) dan dimanufaktur ulang (*remanufacturability*). Sasaran utama DfE adalah; keselamatan dan kesehatan lingkungan atas keseluruhan daur hidup material, proses produksi dan distribusi produk sampai pada pemanfaatan produk oleh konsumen secara berkelanjutan. Pengintegrasian perancangan lingkungan manufaktur ke dalam hubungan komponen-komponen lingkungan industri menjadi sangat penting dalam melaksanakan manajemen manufaktur hijau secara praktis agar dapat dicapai tujuan keberhasilan dalam upaya pengembangan produk-produk yang ecoefisien dengan tanpa melakukan pencemaran dan perusakan terhadap lingkungan hidup.



Sumber: Fiksel, 1996 direvisi penulis

Gambar 3. Hierarkhi Perancangan Manufaktur Hijau

Perancangan lingkungan manufaktur hijau harus dapat dianalisis melalui dua aspek rancangan yaitu; perancangan keberlanjutan ekologi manufaktur dan perancangan keselamatan dan kesehatan manusia, lingkungan, dan sumber daya (keseluruhan daur material kehidupan). Secara hirarkhis perancangan keberlanjutan ekologi manufaktur hijau dapat dianalisis melalui aspek proteksi terhadap lingkungan, proteksi ekologi habitat, proteksi

keanekaragaman hayati, proteksi iklim global, serta proteksi kualitas lingkungan air, udara, dan tanah. Perancangan konservasi terhadap sumber daya alam dan lingkungan hidup meliputi; melakukan konservasi terhadap hutan dan tanah, melakukan konservasi materi dan energy untuk kegiatan operasional manufaktur, melakukan konservasi terhadap sumber air bersih dan penggunaannya dalam kegiatan manufaktur.

Selanjutnya secara hirarkhis pula perancangan terhadap keselamatan dan kesehatan manusia, lingkungan, dan sumber daya dapat dianalisis melalui kajian terhadap upaya reduksi resiko, reduksi penggunaan bahan B₃, pencegahan kecelakaan kerja dan perusakan lingkungan.

Perancangan Ekologi Manufaktur Hijau

Dalam rangka mengintegrasikan perancangan ekologi manufaktur hijau ke dalam proses pengembangan produk-produk baru, maka elemen-elemen kunci yang dipersyaratkan dalam perancangan ekologi manufaktur hijau adalah:

1. Ukuran atau nilai eko-efisiensi yang dikendalikan oleh kebutuhan-kebutuhan dasar konsumen, dan tujuan kegiatan perusahaan manufaktur guna menopang dayaguna serta ketahanan lingkungan.
2. Praktik-praktik perancangan ekoefisiensi harus dilandasi dengan penggunaan teknologi yang relevan dan ramah lingkungan, serta didukung oleh adanya petunjuk rekayasa enjinering jelas.
3. Metode analisis ekoefisiensi digunakan untuk menilai maksud dan tujuan perancangan yang memperhatikan ukuran atau nilai ekoefisiensi, dan menganalisis biaya-biaya serta kualitas produk yang hendak dipasarkan.

Sebagai bahan masukan penting bagi tim (kelompok) perancang ekologi manufaktur hijau hendaknya memiliki

informasi lengkap mengenai infrastruktur kawasan manufaktur atau pabrik yang dapat menopang aplikasi tolok ukur perancangan ekologi manufaktur hijau, praktik dan metode analisisnya.

Variabel nilai dan ukuran keefisiensi atau pengukuran performa lingkungan manufaktur yang digunakan oleh berbagai kegiatan manufaktur, merefleksikan masalah-masalah lingkungan manufaktur secara spesifik, dan pengukuran ini telah banyak diadopsi oleh program *eco-labeling* di Eropa dan Amerika. Contoh pengukuran nilai keefisiensi kegiatan manufaktur yang dilakukan berbedabeda, perbedaan-perbedaan tipe pengukuran yang dimaksud termasuk satuan ukuran penggunaan zat toksik, misalnya; total kilogram pelarut untuk setiap unit produksi; pengukuran utilitas sumber daya yaitu: total energi yang dikonsumsi untuk setiap daur hidup produk; dan pengukuran emisi lingkungan menggunakan ukuran efek gas rumah kaca dan penipisan ozon yang dihasilkan per unit produksi; serta ukuran minimisasi limbah yang diukur berdasarkan persentase pemulihan material produk pada akhir masa hidup (daur hidup).

Pemilihan tipe pengukuran ekologi manufaktur hijau pada level tertinggi penting secara ekstrim untuk menentukan tipe dan sinyal apa yang perlu dikirim ke personil pabrik guna direspon kearah tujuan yang diinginkan manajemen ekologi manufaktur hijau.

Praktik-praktik perancangan ekologi manufaktur hijau yang lazim digunakan oleh manufaktur pada akhir-akhir ini adalah:

1. Melakukan substitusi bahan baku produksi; dilakukan dengan cara mengganti material baku produk dengan material pengganti yang lebih berkualitas dalam rangka meningkatkan daya daur (*recyclability*) produk dan meminimumkan penggunaan energi pada keseluruhan kegiatan manufaktur.

2. Mereduksi sumber limbah; dilakukan dengan cara meminimumkan jumlah massa produk, termasuk meminimumkan massa bungkus produk yang pada akhirnya dapat mereduksi jumlah limbah per unit produk yang dihasilkan oleh manufaktur.
3. Mereduksi penggunaan bahan kimia; mereduksi dan mengeleminir jumlah dan jenis bahan kimia toksik dalam proses produksi.
4. Mereduksi jumlah penggunaan energi; mereduksi jumlah energi yang dipakai untuk proses-proses: produksi, transportasi, penyimpanan, perawatan, penggunaan, dan daur ulang, serta proses pembungkusan produk.
5. Memperpanjang usia pakai produk; memperpanjang usia pakai produk dan atau komponen-komponen produk, serta mereduksi jumlah limbah.
6. Perancangan daya pemisahan dan daya pembongkaran; melakukan penyederhanaan terhadap cara bongkar pasang produk (misal bongkar pasang produk lemari) dengan menggunakan teknik cepat kancing (*snap*) dan penerapan pengkodean (*coding*) menggunakan plastik berwarna yang secara cepat dapat terbaca oleh pengguna produk.
7. Perancangan daya daur ulang; menjamin kandungan material dalam produk untuk dapat didaur ulang, dengan limbah minimum sejak awal proses produksi sampai pada produk akhir.
8. Perancangan daya/kemampuan untuk dapat dibuang; menjamin bahwa material yang tidak dapat didaur ulang berikut komponen-komponennya dapat secara aman dan efisien untuk dibuang ke lingkungan (misalnya

pembatasan jumlah penggunaan tinta dan pigment pada produk).

9. Perancangan kemampuan material untuk dapat didaur ulang (*reusability*); mendorong agar dapat diciptakan produk yang dapat dipulihkan dan dimanfaatkan kembali, serta dapat diperbarui kembali.
10. Perancangan *remanufacture*; mendorong pemulihan material limbah setelah proses industri, atau pasca pakai oleh konsumen pemakai guna dapat didaur ulang sebagai *input* pada pabrik yang menghasilkan produk baru lainnya.
11. Perancangan pemulihan energi; melakukan ekstraksi energi dari limbah yang terjadi, misalnya melalui proses incenerasi.

Perancangan Manufaktur (DfM) dan Perancangan Perakitan (DfA)

Tien-Chien Chang (dalam *Computer-Aided Manufacturing*, 1998) menyebutkan bahwa kegiatan perancangan manufaktur (DfM) dan perancangan perakitan (DfA) yang terintegrasi ke dalam desain produk, dan perancangan proses merupakan (telah menjadi) suatu aktivitas/kegiatan yang berlaku secara umum. Tujuannya yaitu untuk mendesain sebuah produk manufaktur yang dapat diproduksi secara mudah dan ekonomis.

Pentingnya merancang manufaktur (DfM) ditandai oleh adanya fakta yang menyatakan bahwa sekitar 70% dari biaya pembuatan produk (antara lain; biaya bahan baku, biaya proses/pengolahan dan perakitan) sangat ditentukan oleh keputusan pada saat mendesain produk, sedangkan keputusan pada saat produksi, biaya-biaya yang ditimbulkan pada perencanaan proses produksi dan seleksi penggunaan mesin hanya dapat dipertanggungjawabkan sebesar 20%.

Inti dari setiap desain system manufaktur adalah memuat sekelompok prinsip-prinsip desain atau pedoman yang disusun untuk membantu desainer dalam upaya mengurangi tingkat biaya dan kesulitan pada keseluruhan system manufaktur.

Terdapat 10 prinsip dasar dalam kegiatan merancang manufaktur (DfM), dan kegiatan merancang perakitan produk manufaktur (DfA):

Prinsip **Pertama**: Mengurangi Jumlah Bagian Komponen dalam Produk.

1. Pengurangan jumlah bagian (komponen) dalam suatu produk memberikan kemungkinan kesempatan baik untuk mengurangi biaya produksi.
2. Pengurangan jumlah komponen dalam suatu produk akan berdampak pada berkurangnya pembelian, persediaan, penanganan, waktu proses, waktu rekayasa, kesulitan perakitan, inspeksi/pemeriksaan, layanan, testing, dan lain sebagainya.
3. Hal tersebut di atas akan mereduksi tingkat intensitas dari keseluruhan aktivitas yang berkaitan selama produk digunakan (*product life time*).
4. Suatu bagian/komponen yang tidak perlu memiliki gerakan relative terhadap bagian/komponen lain, tidak harus dibuat dari bahan yang berbeda, atau yang akan membuat perakitan atau layanan dari bagian/komponen yang sangat sulit atau tidak memungkinkan, merupakan target yang baik untuk disisihkan/dihilangkan.
5. Beberapa pendekatan dalam upaya untuk mengurangi jumlah bagian/komponen produk dapat dilakukan pada; pemilihan proses manufaktur seperti; injeksi, molding, ekstrusi, cor presisi, dan metalurgi.

Prinsip **Kedua**: Mengembangkan Desain Modul.

1. Penggunaan modul untuk penyederhanaan pelaksanaan kegiatan manufaktur antara lain seperti; proses inspeksi, proses pengujian, proses perakitan, proses pembelian, proses desain ulang, proses pemeliharaan, dan proses lain sebagainya.
2. Salah satu alasan mengapa perlu adanya pengembangan modul adalah; dengan adanya modul akan menambah fleksibilitas untuk dimungkinkannya dilakukan pembaruan produk dalam proses mendisain ulang, membantu menjalankan test sebelum perakitan akhir, dan memungkinkan penggunaan komponen standar untuk meminimumkan variasi produk.
3. Namun, jaringan dalam system lingkungan kerja manufaktur dapat menjadi factor pembatas atau factor

penghalang ketika kita menerapkan aturan pengembangan desain modul.

Prinsip **Ketiga**: Gunakan Komponen Standard.

1. Komponen standard yang lebih murah dari barang-barang custom-mode, ketersediaan tinggi dari komponen ini mengurangi product lead-time.
2. Faktor keandalan komponen standard harus dipastikan dalam kondisi baik.
3. Selanjutnya, penggunaan komponen standard mengacu pada tekanan produksi ke pemasok (*supplier*), menghilangkan sebagian kepedulian pembuatan dalam memenuhi jadual produksi.

Prinsip **Keempat**: Desain Bagian untuk menjadi Multi-Fungsional.

1. Bagian multi-fungsional mengurangi jumlah total bagian dalam desain, sehingga mendapatkan manfaat yang diberikan dalam aturan-1.
2. Beberapa contoh adalah bagian untuk bertindak sebagai konduktor listrik dan sebagai anggota structural.
3. Juga bisa ada unsur bahwa selain fungsi utama mereka telah membimbing menyelaraskan atau fitur self-fixture guna memfasilitasi perakitan dan atau permukaan reflektif guna memfasilitasi pemeriksaan, dan lain sebagainya.

Prinsip **Kelima**: Mendesain Bagian menjadi Multi-Guna.

1. Dalam perusahaan manufaktur yang sama, produk yang berbeda dapat dirancang menjadi produk yang bersifat multi-guna.
2. Produk yang memiliki fungsi yang sama atau berbeda bila digunakan untuk produk yang berbeda, maka perlu mengidentifikasi bagian-bagian yang cocok untuk mendisain produk multi-guna.
3. Sebagai contoh; semua bagian yang digunakan dalam manufaktur (dibeli atau dibuat sendiri) dapat diurutkan

menjadi 2 (dua) kelompok: pertama, berisi semua bagian-bagian yang umum digunakan disemua produk. Kemudian, bagian lainnya diciptakan dengan mengidentifikasi kategori bagian yang sama pada masing-masing produk.

4. Tujuannya, adalah untuk meminimalkan jumlah kategori, variasi dalam kategori, dan sejumlah fitur desain dalam setiap variasi. Hasilnya adalah satu set kelompok bagian standard dari produk multiguna yang diciptakan.
5. Setelah mengatur semua bagian dalam kelompok bagian, maka lakukan proses manufaktur standar untuk setiap bagian kelompok.
6. Produksi bagian tertentu milik bagian kelompok diberikan akan mengikuti route manufaktur yang telah diatur oleh kelompoknya, melewati operasi yang tidak diperlukan untuk itu.
7. Selanjutnya, perubahan desain untuk produk yang ada dan terutama dalam desain produk baru, komponen multiguna standar yang harus digunakan.

Prinsip **Keenam**: Desain untuk Kemudahan Fabrikasi.

1. Pilih kombinasi optimal antara material dan fabrikasi proses untuk meminimalkan biaya produksi secara keseluruhan.
2. Secara umum kegiatan operasi akhir (*finishing*) seperti pengecatan, penggosokan menyelesaikan mesin, dll yang harus dihindari.
3. Tingkat toleransi yang berlebihan, proses *finishing* produk yang berlebihan dan lain sebagainya yang dilakukan secara berlebihan akan menimbulkan masalah pada pembengkakan biaya produksi.

Prinsip **Ketujuh**: Menghindari Penggunaan Pengikat Terpisah.

1. Penggunaan pengikat meningkatkan biaya manufaktur karena penanganan dan operasi yang dilakukan. Selain tingginya biaya peralatan, operasi ini tidak 100%

berhasil, sehingga berkontribusi untuk mengurangi efisiensi produksi secara keseluruhan. Secara umum, pengikat harus dihindari dan diganti, misalnya dengan menggunakan tab dan snap-fit. Jika pengikat harus digunakan, maka harus mengikuti panduan untuk memilihnya.

2. Melakukan minimisasi jumlah, ukuran, dan penggunaan variasi yang tidak perlu, serta menerapkan standar yang berlaku.
3. Menghindari penggunaan; sekrup yang terlalu panjang atau terlalu pendek, pencucian terpisah, lubang keran, vakum dengan kepala bulat dan datar (karena tidak baik untuk pengangkatan).

Prinsip **Kedelapan**: Meminimisasi Perakitan secara Langsung.

1. Seluruh komponen harus dirakit secara satu arah (berurutan).
2. Jika memungkinkan, cara terbaik untuk menambahkan komponen yaitu dari atas, arah vertical, sejajar dengan arah gravitasi. Dengan cara ini, efek grafitasi akan membantu memudahkan proses perakitan, bertentangan dengan kondisi yang harus mengimbangi efeknya ketika memilih metode lainnya.

Prinsip **Kesembilan**: Memaksimalkan Pentaatan Peraturan (*compliance*).

1. Kesalahan dapat terjadi selama operasi penyisipan karena variasi dalam dimensi bagian atau ketepatan posisi perangkat yang digunakan.
2. Perilaku yang salah ini dapat menyebabkan kerusakan pada bagian atau perakitan.
3. Untuk alasan ini, perlu dimasukkan kepatuhan/ketaatan dalam desain bagian dan proses perakitan.
4. Contoh bagian “built in” fitur aturan meliputi kemiringan dan ukuran radius untuk memfasilitasi penyisipan, dan

unsur-unsur eksternal non-fungsional untuk membantu mendeteksi fitur yang tersembunyi.

5. Untuk proses perakitan, pemilihan komponen dasar yang keras, kemampuan perasa sentuhan, dan system penglihatan merupakan contoh pentaatan aturan (taat aturan).
6. Solusi sederhana pada penggunaan part (bagian) kualitas tinggi yang dirancang dengan taat aturan, komponen dasar yang keras dan pentaatan aturan selektif pada peralatan perakitan.

Prinsip **Kesepuluh**: Meminimumkan Penanganan (*handling*).

1. Penanganan termasuk posisi, orientasi dan perbaikan part/komponen.
2. Untuk memfasilitasi orientasi, part simetris harus digunakan jika memungkinkan, jika tidak mungkin maka bagian asimetris harus diletakkan untuk menghindari kegagalan.
3. Operasi berikutnya harus dirancang sehingga orientasi bagian dipertahankan.
4. Demikian pula buku manual, pengumpan tulang, bagian strip, dan sebagainya harus digunakan untuk menjaga orientasi antar operasi.
5. Hindari penggunaan bagian yang fleksibel, gunakan papan sirkuit.
6. Jika kabel harus digunakan, maka termasuk konektor tiruan untuk mencolok kabel (perakitan robotik) sehingga dapat diletakkan dengan mudah.
7. Ketika merancang produk, cobalah meminimisasi aliran limbah material, komponen, dan lain sebagainya. Dalam operasi manufaktur, juga kemasan harus diperhitungkan, pilihlah kemasan yang sesuai dan aman untuk produk.

Indikator Kinerja Lingkungan Manufaktur

Terdapat 18 (delapanbelas) indikator kuantitatif untuk menilai kinerja lingkungan kegiatan manufaktur guna memudahkan pengendalian kegiatan operasional manufaktur yang ramah lingkungan atau manufaktur berkelanjutan, dan atau manufaktur hijau. Kedelapanbelas indikator kuantitatif tersebut adalah indikator yang disarankan oleh *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD).

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) mendefinisikan “manufaktur berkelanjutan” sebagai kreatifitas atau kreasi dalam membuat produk manufaktur dengan menggunakan proses-proses yang minimum menimbulkan dampak negative terhadap lingkungan hidup.

Secara global, cita-cita manufaktur berkelanjutan (manufaktur hijau) adalah untuk memperoleh gambaran mengenai keseluruhan siklus produk dan optimasi daur hidup dalam system manufaktur, produk dan jasa yang berasosiasi. Dengan adanya gambaran keseluruhan siklus produk dan optimasi daur hidup dalam system manufaktur, produk dan jasa tersebut, maka para praktisi atau pengusaha manufaktur tidak hanya mampu memproduksi secara berkelanjutan, akan tetapi juga mampu berkontribusi meningkatkan keuntungan ekonomi, kesejahteraan social dan keselamatan lingkungan perusahaan, serta keselamatan sumber daya alam lingkungan kehidupan.

Indikator manufaktur berkelanjutan adalah kemampuan (*well-established*) yang bermakna mampu mendefinisikan dan menentukan batasan-batasan, selalu berada dalam lintasan jejak yang tetap atau konsisten, dan selalu memperbaiki kinerjanya. Sebagian besar para pebisnis setiap harinya menggunakan indikator-indikator keberlanjutan yang familiar

untuk melakukan seluruh kegiatannya, seperti; kegiatan penjualan, kegiatan pembiayaan, kegiatan penilaian kinerja pegawai dan penilaian terhadap kepuasan konsumen.

Peralatan (tools) indicator tersebut di atas diperkenalkan dan disediakan untuk dianjurkan menggunakan 18 aspek penting yang secara umum dapat diaplikasikan sebagai indicator kuantitatif untuk meningkatkan kinerja lingkungan yang akan membantu mengevaluasi dan mengendalikan kinerja manufaktur. Delapanbelas indicator di bawah ini akan membantu manajemen internal dan membuat keputusan, serta dapat digunakan oleh seluruh jenis manufaktur.



Inputs



Process



Outputs

<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>
1. Intensitas atau jumlah material bahan baku tak terbarukan	4. intensitas atau jumlah penggunaan air	12. Jumlah material content yang dapat/telah digunakan kembali (<i>reused</i>) atau material yang dapat/telah didaur ulang (<i>recycled</i>)
2. Intensitas atau jumlah zat/bahan kimia berbahaya	5. intensitas atau jumlah penggunaan energy	13. Kemampuan untuk melakukan daur ulang
3. Jumlah material content yang dapat diperbarui atau material yang dapat didaur ulang	6. Proporsi penggunaan energy yang terbarukan	14. Jumlah kandungan material terbarukan
	7. intensitas atau jumlah timbulan gas rumah kaca (NO ₂ , SO ₂ , HC, dan lain sebagainya)	15. intensitas material tak terbarukan

	8. intensitas atau jumlah bahan sisa (limbah)	16. Kandungan bahan kimia berbahaya
	9. intensitas atau jumlah udara bersih yang terlepas atau tidak termanfaatkan	17. intensitas atau jumlah konsumsi energi
	10. intensitas atau jumlah air bersih tidak termanfaatkan	18. intensitas emisi gas rumah kaca
	11. Proporsi penggunaan lahan alamiah (natural land)	

Sumber: OECD: *Sustainable Manufacturing Indicators*, 2010.

Indikator 4, 5 dan 6 dapat dikembangkan untuk mengukur dampak lingkungan yang berasosiasi dengan rantai pasok manufaktur, seperti; konsumsi energi dan air, serta emisi gas rumah kaca yang timbul selama kegiatan proses produksi.

Kedelapanbelas indicator tersebut di atas dapat pula dikembangkan untuk mengukur dampak yang berasosiasi (kumpulan dampak) terkait dengan seluruh aktivitas bisnis dan aktivitas produksi manufaktur (seperti; lokasi usaha, pabrik, dormitory dan kantor), digunakan sebagai suatu langkah awal untuk menuju manufaktur berkelanjutan. Demikian pua, kita dapat melakukan monitoring dan evaluasi terhadap kinerja organisasi manufaktur pada tingkat keseluruhan dari agregat (sekumpulan) data yang diperoleh guna mengkalkulasikan indicator-indikator yang ada, sekalipun pasokan dan ketersediaan sumber daya alam seperti logam dan mineral lainnya semakin lama semakin menipis.

Kinerja adalah adalah keluaran/hasil dari kegiatan/program yang telah atau hendak dicapai sehubungan dengan penggunaan material dan energi dengan kuantitas dan kualitas yang terukur.

Kinerja lingkungan manufaktur adalah keluaran/hasil dari kegiatan manufaktur yang telah atau hendak dicapai terkait

dengan penggunaan material dan energi yang diambil dari lingkungan alam dengan kuantitas dan kualitas yang terukur. Keluaran/hasil dari kegiatan manufaktur adalah seluruh produk dan timbulan limbah serta polutan yang dikeluarkan oleh manufaktur ke lingkungan, baik lingkungan pasar (berupa produk barang yang dikirim ke pasar), maupun ke lingkungan air, udara dan tanah (berupa limbah dan pencemar/polutan).

Kedelapanbelas indikator kinerja lingkungan manufaktur dan ukuran kinerja ataupun ukuran keberlanjutan manufaktur dapat dijelaskan sebagai berikut:

Indikator-1. Intensitas atau jumlah material tak terbarukan
Rumus/Kalkulasi:

Intensitas material tak terbarukan (%)	(jumlah)	=	Berat material tak terbarukan yang menjadi bahan baku -----x100%
			Faktor normal (berat normal produk)

Mengapa indikator input-1 (intensitas atau jumlah material tak terbarukan) begitu sangat penting? Karena pertimbangan berikut ini:

1. Sumber daya alam tak terbarukan, didefinisikan sebagai adalah sumber daya alam yang sifat ketersediaannya di alam bersifat terbatas (terhingga). Meskipun suplai dari alam seperti; besi, perak dan tembaga adalah relative tinggi (jumlahnya banyak) dibanding kebutuhan bahan baku produksi manufaktur, bahan mineral dan metal lainnya diperkirakan kritis sampai pada risiko tinggi dalam rangka menjaga suplai atau dampak yang besar terhadap ekonomi jika supplainya diturunkan. Beberapa mineral yang jumlahnya kritis diantaranya; Rhodium, Platinum dan Mangan. Lagi pula, apakah benar atau tidak bahwa material tak terbarukan benar-benar telah

- mengalami kondisi kritis, ekstraksi proses-proses dan transportasi yang mengkonsumsi energy, menghasilkan residu dan membuangnya ke udara, air dan tanah, yang memungkinkan dapat mengganggu ekosistem,
2. Sebagian besar ketersediaan material tak terbarukan di alam akan mengalami penurunan karena telah berubah menjadi/sebagai bagian dari produk yang dibuat oleh manufaktur, dan beberapa bagian lainnya ada yang menjadi limbah. Sehingga dengan demikian, maka sangatlah penting untuk melakukan penghitungan kembali terhadap penggunaan material tak terbarukan pada tahap inputs. Pengukuran indicator ini, intensitas material tak terbarukan pada manufaktur sangat relative terhadap factor normalisasi pilihan kita.

Pengukuran tersebut tidak termasuk air atau bahan bakar sebagai material tak terbarukan hingga semuanya dapat dihitung dalam indicator lainnya.

Sebagai indicator intensitas, adalah sangat penting dilakukan monitoring relativitasnya terhadap total konsumsi material tak terbarukan guna meyakinkan penurunan intensitas berlangsung secara cukup untuk sekaligus mereduksi konsumsi secara keseluruhan. Detail data akan ditunjukkan oleh materials, proses-proses, dan produk yang memberikan sebagian besar kontribusi terhadap semua indicator. Hal ini dapat mereduksi konsumsi beberapa contributor utama dengan mereduksi jumlah limbah, substitusi dengan material terbarukan (seperti; bioplastik), dan atau melakukan re-disain produk untuk mengurangi penggunaan material yang tidak terpakai.

Metal dan mineral kadangkala memiliki nilai harga yang tinggi dan mudah didaur ulang, namun indicator ini menempati konsumsi asalnya dan tidak diatur untuk didaur ulang atau digunakan kembali pada manufaktur yang sama. Jika material digunakan dan telah siap daur ulang, maka hal

ini haruslah jelas dalam indicator proporsi atau material yang dapat didaur ulang. Perpanjangan daur hidup produk harus dijadikan pendekatan untuk mereduksi penggunaan material tak terbarukan. Apabila pendekatan ini tidak dilakukan, maka akan terjadi dampak langsung pada indicator ini, namun akan berpengaruh pada tingkat harga produk.

Indikator-2: Intensitas jumlah penggunaan bahan berbahaya dan Beracun (B₃) sebagai bahan baku produksi.

Kalkulasi:

	Total berat bahan baku bersifat B3
Intensitas Bahan Baku yang bersifat B3	= -----x 100%
	Faktor normal (berat normal produk)

Mengapa indicator material B₃ yang terkandung dalam produk sangat penting dikaji, karena material B₃ dapat membahayakan makhluk hidup termasuk manusia yang akan menggunakan produk tersebut. Dalam lingkungan pabrik atau manufaktur akan memberikan dampak negative pada para pekerja dan lingkungan apabila tidak dilakukan pengelolaan secara hati-hati.

Semakin tinggi intensitas bahan baku bersifat B₃ yang digunakan sebagai input produksi kegiatan manufaktur, maka semakin tidak berkelanjutan kegiatan operasional manufaktur tersebut. Sebaliknya, sustainabilitas kegiatan manufaktur semakin tinggi apabila manufaktur mampu meminimumkan penggunaan bahan baku bersifat B3.

Indikator-3: Pemanfaatan Kembali/Daur Ulang Sisa Material Input

Kalkulasi:

	Total berat material daur ulang + Total berat pemanfaatan kembali material input
Pemanfaatan Kembali (daur ulang) sisa material input	= -----x 100%
	Total berat material input

Mengapa indicator input-3 sangat penting?

Karena; peningkatan kandungan material yang dapat didaur ulang dan material yang dapat dimanfaatkan kembali pada input system manufaktur akan mereduksi jumlah material baru yang dibutuhkan. Apakah material yang dapat diperbarui atau material tak terbarukan, hal ini akan meningkatkan efisiensi penggunaan energy untuk mendaur ulang material dibanding manufaktur menggunakan material asli. Daur ulang dan pemanfaatan kembali material input juga akan mencegah timbulnya aliran limbah.

Indikator tersebut dihitung untuk seluruh material input yang digunakan pada proses-proses manufaktur di semua fasilitas pabrik. Penghitungan ini tidak memasukkan besaran material yang didaur ulang maupun material yang dimanfaatkan kembali pada system pabrik.

Untuk dapat memahami material input yang harus diganti guna memperbaiki kinerja lingkungan menggunakan indicator ini di kemudian hari, maka lakukanlah monitoring dan evaluasi terhadap input data detail. Satu pendekatan yang dapat digunakan adalah melihat proporsi bahan baku asli (virgin) yang digunakan oleh manufaktur. Sebagai contoh; jika manufaktur menggunakan 100 ton kertas, dan sebanyak 60% berupa material baru (virgin), maka akan dihasilkan sebanyak 60 ton kertas murni. Pada proses manufaktur yang sama, mungkin saja ada yang menggunakan 50 ton PET plastic yang mengandung bahan plastic sebanyak 80%. Sehingga, dari penghitungan tersebut, maka berarti penggunaan PET plastic asli (virgin) adalah sebanyak 40 ton. Pada kasus ini, peningkatan jumlah proporsi kertas akan memberikan dampak pada indicator dibandingkan menggunakan bahan baku daur ulang PET plastic.

Indicator ini sendiri tidak dapat memberikan efek daur ulang atau pemanfaatan kembali material pada tingkat kualitas bahan baku input yang sama. Pada kasus lain, proses

produksi membutuhkan penyetelan/adjusting guna dapat mengakomodasi rencana penggunaan material daur ulang. Hal ini membutuhkan investasi yang besar atau merubahnya pada desain produk.

Indikator-4. Intensitas atau Jumlah Penggunaan Air

Kalkulasi:

- Intensitas atau Jumlah penggunaan Air = Total air yang diambil (sebagai factor normal)
- Satuan unit indikator = meter kubik (m³)

Mengapa indicator intensitas atau jumlah penggunaan air ini sangat penting ?

Meskipun jumlah ketersediaan air sangat banyak yang meliputi > 2/3 permukaan bumi diselimuti air, dan air ini tergolong pada sumber daya alam terbarukan pada konteks global. Sementara itu pada konteks local, maka kualitas air menjadi masalah besar karena air banyak yang dicemari. Air digunakan untuk proses produksi pada kegiatan manufaktur, apabila tidak dilakukan pengembalian pada badan air pada kuantitas dan kualitas aslinya, maka akan berdampak pada “penyusutan air bersih” pada sungai, danau dan pada tanah dangkal.

Air tidak hanya dikonsumsi untuk proses produksi, akan tetapi air juga digunakan untuk pendingin, pemanas, dan mencuci. Bila air dikonsumsi untuk keperluan manufaktur minuman, air tersebut tidak mudah disubstitusi/diganti ataupun direduksi jumlahnya. Untuk alasan ini, kalkulasi indicator intensitas penggunaan air hanya pada jumlah air yang diambil dari lingkungan dan menjadi biaya pada proses produksi.

Khusus pada daerah yang memiliki suplai air terbatas jumlahnya, maka indicator intensitas penggunaan air pada manufaktur menjadi penting guna memonitor antara

ketersediaan air dengan air yang akan diambil untuk kegiatan manufaktur. Pada umumnya air setelah disirkulasi ulang, maka akan terdapat limbah atau kotoran yang nantinya dibuang ke lingkungan atau ke badan air sehingga dapat menurunkan kualitas air, ataupun melalui proses penguapan. Meningkatnya kegiatan sirkulasi air dan tidak adanya penguapan, maka akan terjadi penurunan kuantitas air yang dibutuhkan sehingga manufaktur terpaksa harus mengambilnya dari sumber lain seperti; air tanah dan air kolam.

Pengambilan air untuk keperluan kegiatan manufaktur pada wilayah konservasi air, maka hal ini akan menimbulkan risiko penyusutan yang besar pada sumber air local, sehingga harus dilakukan penghitungan secara detail. Sebagai tambahan informasi, bahwa; harus dilakukan monitoring pada sumber air yang akan diambil, termasuk air yang akan diambil dari: air permukaan, air tanah dangkal, air hujan, dan lain sebagainya.

Indikator-5. Intensitas atau Jumlah Penggunaan Energi

Kalkulasi:

		=	Konsumsi Energi untuk Proses Produksi + Energi untuk Overhead ----- (Mega Joule)
Intensitas Energi	Penggunaan		Faktor Normal

Mengapa indicator intensitas atau jumlah penggunaan energi ini sangat penting ?

Kebutuhan energy untuk produksi, apakah energy terbarukan atau energy tak terbarukan, deplesi energy tak terbarukan (termasuk habitat, fossil fuels dan uranium), akan menimbulkan dampak pencemaran lingkungan. Sebagai contoh memproduksi energy listrik menggunakan turbin udara yang memerlukan logam, plastic dan material lainnya. Kegiatan ini tentunya membutuhkan transportasi dan butuh

lahan. Meskipun intensitas energy yang dihasilkan oleh alam secara alamiah tersedia secara konstan, maka volume produksi energy meningkat secara cepat, melebihi tingkat konsumsi energy. Persoalan yang sering muncul pada saat kita membahas kelangkaan energy, sedangkan pada hakikatnya; energy selalu dipancarkan setiap hari oleh matahari sebagai sumber dari segala sumber energy yang ada di alam. Sehingga pada konteks ini, penyebab masalah kelangkaan energy adalah kesalahan dalam mengelola sumber daya energy, yaitu; kita lebih terfokus memanfaatkan sumber daya energy tak terbarukan seperti batu bara, solar, bensin atau fossil fuel. Pada hal, terdapat/tersedia energy baru terbarukan seperti; panas bumi, micro-hydro, gelombang laut, angin, dan lain sebagainya.

Indikator-6. Proporsi Konsumsi Energi Terbarukan dan Tak Terbarukan

Kalkulasi:

				Konsumsi Energi Terbarukan	
Proporsi Konsumsi Energi Terbarukan	=	-----	x (100%)		
				Total Konsumsi Energi	

Mengapa indicator proporsi konsumsi energi terbarukan ini sangat penting ?

Karena penggunaan energy terbarukan seperti; micro-hydro, solar, panas bumi, gelombang laut, merupakan cara penting untuk mereduksi kebutuhan energy tak terbarukan seperti; fossil fuels. Energi nuklir juga dipertimbangkan sebagai energy tak terbarukan selama material cadangannya tidak ditemukan. Secara umum, sumber daya energy terbarukan memiliki karbon yang lebih rendah dibanding fossil fuels yang berkontribusi rendah terhadap perubahan iklim.

Pada dasarnya setiap perusahaan manufaktur memiliki peluang untuk meningkatkan proporsi penggunaan energy terbarukan, sebagai contoh; menggunakan peralatan teknologi kelistrikan yang mengandung content terbarukan. Contoh pada kasus ini adalah dengan memasang instalasi solar-cell skala kecil atau listrik tenaga angin (*wind-power*). Pendekatan lain yang dapat dilakukan adalah penggunaan fuels dapat diganti dengan biofuels.

Sesungguhnya dengan menggunakan *energy* terbarukan, masih memiliki dampak negative terhadap lingkungan (seperti konversi lahan untuk *biofuels*) konsekuensinya secara umum harganya saat ini masih mahal dibanding melakukan “peningkatan efisiensi *energy*” dan promosi “konservasi *energy*”.

Indikator-7. Intensitas Efek Gas Rumah Kaca (*green-house-gas = GHGs*)

Kalkulasi:

- Intensitas GHGs atau zat pencemar udara (intensitas pollutant) = jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh penggunaan energy pada kegiatan manufaktur + jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh penggunaan energy pada kegiatan overhead + jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh transportasi/ factor normal.
- Unit indicator adalah: total zat pencemar udara.

Intensitas GHGs atau zat pencemar udara (intensitas pollutant)	=	$\frac{\text{Jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh penggunaan energy pada kegiatan manufaktur + jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh penggunaan energy pada kegiatan overhead + jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh transportasi}}{\text{Factor Normal}}$
--	---	--

Mengapa indicator intensitas GHGs (pencemar udara) ini sangat penting ?

GHGs merupakan sekumpulan zat pencemar udara yang berkontribusi pada pemanasan global. GHGs meliputi zat: *carbon dioxide* (CO₂), *methane* (CH₄), *nitrous oxide* (N₂O), sulphur hexafluoride (SF₆), *perfluorocarbons* (PFCs) *hydrofluorocarbons* (HFCs) dan senyawa lainnya. Seratus tahun potensi pemanasan global (*Global Warming Potentials* = GWP) untuk senyawa/zat ini berkisar antara 1 to 22,800 CO₂e (relative terhadap CO₂).

Greenhouse gas (GHG) atau pencemaran udara atau energy-lost terjadi akibat penggunaan energy yang tidak efisien. Indicator intensitas energy yang digunakan oleh manufaktur setara dengan nilai produksi, semakin banyak produksi maka semakin banyak energy yang digunakan dan pencemaran udara juga ikut meningkat. Untuk itu, efisiensi energy harus ditingkatkan dengan cara; penggantian peralatan yang sudah tua khususnya motor elektrik, melakukan perawatan terhadap peralatan yang ada, dan memperbaiki teknologi yang boros energy.

Intensitas gas rumah kaca (GHGs) penting untuk dimonitor dan dievaluasi agar intensitas energy yang digunakan untuk kegiatan operasional manufaktur dapat direduksi, dan indikatornya adalah jumlah konsumsi energy. Semakin banyak penggunaan atau konsumsi energy, maka semakin banyak GHG yang timbul dan lepas ke lingkungan sebagai bahan pencemar.

Indicator yang merepresentasikan GHGs pada kegiatan manufaktur meliputi proses produksi dan overhead (energy yang berkaitan dengan emisi usaha). Emisi GHGs berasosiasi dengan produksi material input dan logistic (pengiriman bahan baku dan proses finishing) dapat pula dihitung dari perkembangan batas-batas akuntansi, sedangkan intensitas

GHG atau polutan pada penggunaan produk harus diperhitungkan secara terpisah dari kegiatan manufaktur.

Bila indikator dapat dinormalisir oleh nilai produk (harga pabrik), maka akan terlihat bahwa intensitas pencemar GHGs relative terhadap produksi, sehingga tidak terlihat jumlah total polutan GHGs yang dilepaskan ke lingkungan. Kebanyakan biaya yang efektif untuk menurunkan intensitas polutan GHG dilakukan dengan cara memperbaiki efisiensi energy, melakukan konservasi dan menggunakan sumber energy rendah karbon. Intensitas GHG yang terlepas dari kegiatan proses produksi tidak mudah direduksi. Sehingga untuk menentukan perbaikan area potensial terpapar GHG, maka lakukanlah review terhadap data detail proses-proses spesifik yang dapat dijadikan lebih efisien atau apakah substitusi bahan bakar yang harus ditetapkan.

Apabila indicator intensitas GHGs telah dinormalisir oleh nilai total output manufaktur (total nilai harga pabrik), maka hal ini akan berpengaruh sensitive terhadap fluktuasi harga produk. Sebagai contoh; jika harga produk meningkat, maka satuan (*denominator*) akan meningkat, dan intensitas pencemar GHGs akan menurun. Selanjutnya, jika produksi meningkat dan harga produk sama, maka indicator GHG tidak akan meningkat pada total emisi GHG. Untuk mengelolanya, penting sekali bagi manufaktur untuk memonitor intensitas dan total emisi. Untuk menjaga agar indicator tetap rendah, maka hanya intensitas GHG yang perlu dikendalikan.

Indikator-8. Intensitas Sisa (*residuals*)

Kalkulasi:

1. Menggunakan pendekatan “*mass balance*” (keseimbangan massa)

			Berat Input keseluruhan + Berat Bahan Bakar yang dikonsumsi - Berat seluruh produk
Intensitas Sisa	=		-----
(<i>mass balance</i>)			
			Factor Normal

2. Pendekatan Limbah yang ditimbulkan:

			Berat limbah [dari produksi dan domestik] pencemar udara + berat limbah yang dibuang ke air + Berat sampah yang dibuang ke tanah + Berat sampah dari halaman pabrik + Berat limbah yang dipindahkan ke TPA + Berat limbah yang diperlakukan daur ulang + Berat limbah yang digunakan ulang + Jumlah energy yang dapat dipulihkan + jumlah limbah yang dibuang ke saluran air + Berat pencemar udara GHGs + Jumlah Carbon yang dihasilkan dari pemanfaatan energi
Intensitas Sisa	=		-----
(limbah)			
			Factor Normal

Mengapa indicator Intensitas Sisa (residuals + limbah) ini sangat penting ?

Idealnya, seluruh fasilitas manufaktur beroperasi seperti ekosistem siklus tertutup (*closed-loop ecosystem*) dimana tidak ada limbah dan seluruh keluaran akan menjadi input pada proses produksi lainnya). Sisa (residu) hadir sebagai biaya perusahaan dan sering menimbulkan dampak negative terhadap lingkungan.

Mereduksi sisa/residu/limbah/pencemar akan memperbaiki keuntungan dengan cara meningkatkan proporsi yang lebih tinggi pada pemanfaatan material manufaktur.

Terdapat 2 (dua) pendekatan untuk menghitung intensitas limbah/residual/pencemar yaitu; pendekatan *mass balance* dan *waste output*.

Indikator-9. Intensitas Sisa yang dilepas ke Udara (Pencemar Udara)

Kalkulasi:

Intensitas Pencemar Udara (ton)	=	Berat pencemar udara yang dilepas dari kegiatan proses produksi dan domestik ----- Factor Normal
---------------------------------	---	--

Mengapa indicator Intensitas Sisa yang dilepas ke Udara (Pencemar Udara) ini sangat penting ?

Pelepasan zat pencemar ke udara meliputi keseluruhan intensitas residu yang ditimbulkan oleh kegiatan manufaktur, dan bahan pencemar udara ini akan berimplikasi negative terhadap kualitas udara lingkungan atau terhadap kesehatan makhluk hidup termasuk manusia.

Polutan udara yang ditimbulkan berupa; NO_x , SO_x , *persistent organic pollutants* (POPs), *volatile organic compounds* (VOCs), *hazardous air pollutants*, *particulate matter*, dan/atau polutan lainnya.

Indikator-10. Intensitas Limbah yang dilepas ke Air (Pencemar Air)

Kalkulasi:

Intensitas Pencemar Air (ton)	=	Berat pencemar air yang dilepas dari proses produksi dan overhead ----- Faktor Normal
-------------------------------	---	---

Mengapa indicator intensitas sisa yang dilepas ke air (pencemar air) ini sangat penting ?

Pencemaran air oleh aktivitas manufaktur dapat memberikan akibat negative aspek social-ekonomi, kesehatan manusia dan kesehatan lingkungan. Dampak pencemaran air dapat secara langsung pada kesehatan makhluk perairan dan masuk ke

dalam rantai makanan yang kemudian dikonsumsi oleh manusia.

Indikator pencemaran air; diperlukan untuk mengantisipasi sedini mungkin terhadap timbulnya pencemar air dari sumber pencemar air yaitu kegiatan manufaktur yang menghasilkan limbah, dan pencegahan limbah masuk ke lingkungan perairan.

Indikator-11. Intensitas Penggunaan Lahan untuk Bangunan Manufaktur (*Land-Use*)

Kalkulasi:

		Luas Area Tertutup Bangunan	
Lahan Tertutup (%)	=	-----	x 100%
		Total Luas area Manufaktur	

Mengapa indikator luas lahan tertutup (*land-used*) ini sangat penting ?

Apabila tidak ditemukan ukuran keberlanjutan yang mutlak pada kegiatan manufaktur dan produk yang dihasilkan, maka indikator intensitas penggunaan lahan oleh kegiatan manufaktur dapat digunakan untuk mengukur keberlanjutan manufaktur. Apabila luas lahan tertutup bangunan pabrik mendekati luas lahan yang ada atau luas lahan terpakai habis untuk bangunan pabrik, maka dilakukan upaya penghijauan (*greening*) di lingkungan area manufaktur dengan vegetasi alamiah. Dengan menanam beberapa vegetasi alamiah pada lahan akan dapat menyerap residu yang dilepas oleh kegiatan manufaktur, sehingga masyarakat sekitar tidak terganggu oleh kehadiran kegiatan manufaktur.

Indikator ruang terbuka hijau (RTH) menjadi faktor pendukung terciptanya kegiatan operasional manufaktur yang berkelanjutan (*sustainable manufacturing*) atau manufaktur hijau (*green manufacturing*).

Vegetasi alamiah dilingkungan pabrik atau di sekitar manufaktur akan berfungsi mencegah gangguan pencemar

yang keluar dari manufaktur, disamping itu dapat memperindah estetika lingkungan. Vegetasi yang dapat ditanam di lingkungan manufaktur dapat berupa tanaman hutan alami, rumput, bunga, atau juga dapat berupa kolam air, air mancur dan lain sebagainya.

Untuk mencapai persentase yang tinggi pada luas lahan yang tertutup tumbuhan/vegetasi, maka dapat dilakukan pembuatan bentang lahan (*landscape*) yang memiliki taman hias di atas atap atau dak (*roof*). Kenyataannya, penggunaan lahan di beberapa industri dirancang untuk membantu mereduksi dampak lingkungan dengan cara meminimumkan luasan area bangunan pabrik/manufaktur. Minimisasi gangguan terhadap area alamiah tersebut merupakan tindakan yang memberikan kemudahan bagi kegiatan transportasi antar pabrik yang ada dalam kawasan manufaktur.

Indikator tersebut dimaksudkan untuk membuktikan kepada lingkungan bahwa telah ada upaya perbaikan yang dilakukan oleh pemilik manufaktur. Karena itu, adalah sangat penting untuk mengidentifikasi kemungkinan/peluang untuk memperbaiki dan memelihara lingkungan alamiah di lingkungan pabrik/manufaktur. Sehingga, dengan melakukan monitoring terhadap indikator tersebut akan menjamin lingkungan alamiah telah diperhitungkan oleh pengelola manufaktur dalam pengambilan keputusan perusahaan.

Indikator-12. Pemanfaatan Kembali atau Daur Ulang Material Produk

Kalkulasi:

Pemanfaatan Kembali atau Daur Ulang Material Produk (%)	=	$\frac{\text{Jumlah masing-masing Produk } \{(\text{berat produk} * \text{proporsi material yang dapat didaur ulang} * \text{unit produk} \} + \{ \text{berat produk} * \text{proporsi material yang dapat dimanfaatkan kembali} \}}{\text{Jumlah masing-masing produk (berat produk} * \text{unit produk)}} \times 100\%$
---	---	---

Mengapa indicator Pemanfaatan Kembali atau Daur Ulang Material Produk ini sangat penting ?

Meskipun indicator *recycle/reused* material melacak konsumsi material pada tahap produksi, maka kebutuhan material ditentukan oleh desain produk. Penggabungan pada proporsi yang tinggi pada *recycle/reused* material menjadi produk, akan menurunkan kebutuhan terhadap material baru. Representasi rata-rata jumlah material yang *recycle/reused* ataupun yang akan diremanufaktur menjadi produk yang dihasilkan akan melampaui acuan tahunan. Sebaiknya, melakukan estimasi terhadap material *recycle/reused* pada berat masing-masing produk, kemudian tambahkan berat *recycle/reused* material. Pendekatan ini sangat dianjurkan untuk mengkombinasikan produk yang berbeda dengan proporsi *recycle/reused*.

Indicator *recycle/reused* material berkisar antara 0 sampai 100% tergantung pada sifat produk yang akan dihasilkan. Bila 100% sulit tercapai, namun upaya-upaya perbaikan harus selalu dilakukan agar bisa mencapai angka mendekati 100%.

Mengkaji kembali data detail akan sangat membantu untuk mengidentifikasi produk, dan juga komponen-komponen produk agar dapat ditingkatkan kandungan material (*recycle/reuse*).

Indikator-13. Produk-produk yang Dapat Didaur Ulang

Kalkulasi:

Produk-produk yang Dapat Didaur Ulang (%)	=	$\frac{\text{Jumlah masing-masing Produk (berat produk * proporsi material yang dapat didaur ulang * unit produk)}}{\text{Jumlah masing-masing produk (berat produk * unit produk)}} \times 100\%$
---	---	--

Mengapa indicator Produk-produk yang Dapat Didaur Ulang ini sangat penting ?

Idealnya, setiap produk harus didesain untuk bisa/mampu di daur ulang, dimanfaatkan kembali, diremanufaktur, dapat dikompos atau dapat diurai secara biologi guna mereduksi kebutuhan material tak terbarukan, dan untuk menjaga agar produk tidak cepat menjadi “sampah”. Dengan menggunakan teknologi daur ulang, maka idealisme/cita-cita ini akan sulit tercapai. Sebagai contoh; sekitar 32% dari berat mobil bekas akan “terhenti” menjadi sampah di tanah. Indikator ini dapat digunakan untuk mengukur rata-rata seluruh produk yang dapat didaur ulang dan bercampur dengan produk lain dalam pabrik/manufaktur setiap tahunnya.

Mengkaji kembali data detai akan sangat membantu untuk dimengerti, bagaimana tiap-tiap produk dapat berkontribusi pada indicator ini. Kemampuan daur ulang suatu produk dapat didesain pada produk dalam rangka untuk memilih material. Beberapa material yang kita gunakan sangat mudah untuk didaur ulang dibanding yang lainnya, dan fasilitas pada manufaktur yang ada dapat dengan mudah mengembalikan material tersebut ke dalam proses produksi untuk didaur ulang. Sebagai contoh; baja dan aluminium adalah material yang memiliki kemampuan tinggi untuk dapat didaur ulang, dan bahkan sering secara berulang kali didaur ulang.

Indikator-14. Produk-produk yang Mengandung Material Terbarukan

Kalkulasi:

Produk-produk Mengandung Terbarukan (%)	yang	=	$\frac{\text{Jumlah masing-masing Produk (berat produk * proporsi material terbarukan * unit produk)}}{\text{Jumlah masing-masing produk (berat produk * unit produk)}} \times 100\%$
---	------	---	---

Mengapa indicator Produk-produk yang Mengandung Material Terbarukan ini sangat penting ?

Rasional dengan indicator produk 12; menggunakan material terbarukan akan mereduksi kebutuhan untuk sumber daya material tak terbarukan. Indikator ini akan mengukur kandungan material terbarukan (yang dapat diperoleh dari material vegetasi dan atau hewan) pada seluruh produk yang dihasilkan oleh manufaktur setiap tanunnya.

Nilai pada indicator ini berkisar antara 0 sampai 100%. Pada prinsipnya, semakin tinggi kandungan material terbarukan yang terkandung dalam produk, maka semakin baik dan semakin *sustainable* kegiatan manufaktur tersebut.

Meskipun terlalu kecil kemungkinan/kesempatan untuk memasukkan/menggunakan material berbasis biologi (*bio-based material*) pada produk-produk yang sama, maka “manufaktur berkelanjutan” atau “manufaktur hijau” dapat diperbaiki dengan melakukan upaya substitusi material tak terbarukan dengan material terbarukan pada setiap kesempatan. Namun, metode ini tidak menjamin kemungkinan mampu dihasilkan kualitas yang sama dengan produk yang berasal dari material substitusi. Misalnya; material minyak solar disubstitusi dengan *bio-solar*, maka kualitas energy yang dihasilkan belum tentu sama.

Indikator-15. Intensitas Material Tak Terbarukan pada Produk Pasca Pakai (Sampah)

Kalkulasi:

Material Tak Terbarukan pada Produk Pasca Pakai (ton)	=	$\frac{\text{Jumlah masing-masing Produk (berat produk * proporsi material tak terbarukan * unit produk)}}{\text{Estimasi Durasi Waktu Pakai Produk (product lifetime)}}$
---	---	---

Mengapa indicator Intensitas Material Tak Terbarukan pada Produk Pasca Pakai (Sampah) ini sangat penting ?

Perpanjangan durasi waktu pakai atau lama pemanfaatan produk yang terbuat dari material tak terbarukan akan mampu mereduksi jumlah penggunaan material tak terbarukan yang membutuhkan ekstraksi dan transformasi material. Hal ini juga dapat mereduksi sejumlah energy yang dikonsumsi dan limbah yang timbul pada saat produksi produk-produk baru.

Indikator ini merupakan total intensitas sumber daya tak terbarukan yang digunakan untuk memproduksi produk campuran selama produk dimanfaatkan/dipakai (*product lifetime*).

Peningkatan durasi waktu pakai/pemanfaatan sebuah produk akan menghasilkan suatu nilai yang rendah pada indicator, sejak proses ekstraksi sumber daya sampai pada perubahan menjadi produk. Sebagai contoh; konsumen lebih membutuhkan ½ Popok Bayi selama waktu pakai 6 jam, daripada 1 (satu) Popok Bayi selama waktu pakai 3 jam.)

Terdapat berbagai macam cara untuk dapat meningkatkan “lama pakai” (*product lifetime*) suatu produk yang meliputi; perbaikan komponen yang diganti, komponen kualitas tinggi, perbaikan pengendalian kualitas produk.

Indikator-16. Kandungan B₃ dalam Produk

Kalkulasi:

Kandungan B ₃ dalam Produk (%)	=	$\frac{\text{Jumlah masing-masing Produk (berat produk * proporsi B}_3\text{ dalam produk * unit produk)}}{\text{Jumlah masing-masing produk (berat produk * jumlah produksi)}} \times \%$
---	---	--

Mengapa indicator Kandungan B₃ dalam Produk ini sangat penting ?

Terdapat banyak produk yang mengandung bahan tambahan yang bersifat membahayakan bagi manusia dan lingkungan hidup. Secara normal, terdapat pelepasan senyawa atau zat dari suatu produk yang telah menjadi “sampah” ke lingkungan (seperti; pada saat terjadi pembongkaran, pada saat didaur ulang). Definisi “bahan berbahaya dan beracun (B₃)” sering digunakan secara umum pada peraturan perundangan.

Indikator ini digunakan untuk mengukur proporsi material B₃ di seluruh produk barang yang diproduksi oleh pabrik/industri/manufaktur setiap tahunnya.

Indicator tersebut di atas ditunjukkan/diperlihatkan secara tipikal dalam persentase yang sangat kecil.

Mereduksi atau mengeliminasi jumlah material B₃ dalam produk akan menjamin timbulnya dampak negative lingkungan yang minimum selama produk digunakan dan sampai produk tersebut dibuang sebagai sampah.

Apabila hal ini tidak memungkinkan untuk menolak kehadiran material B₃, maka lakukanlah pengkajian terhadap koleksi data detail yang ada guna dapat membantu kita untuk mengidentifikasi material dan produk yang berkontribusi terhadap indicator. Dalam kasus ini, dimana tidak mungkin untuk menolak/menghindari kehadiran material B₃, maka prinsip kehati-hatian harus diterapkan untuk membangun

program-program pengelolaan material B₃ seperti; penarikan kembali atau daur ulang dalam rangka mengelola produk. Sebagaimana pada berbagai produk, indikator ini tidak memperhitungkan kemungkinan efek yang timbul pada kualitas produk, oleh karena itu tindakan yang harus dilakukan adalah “reduksi” penggunaan B₃ (seperti; mengeliminir kehadiran timah hitam/lead dari kegiatan solder pada peralatan elektronik).

Indikator-17. Intensitas Konsumsi Energi pada Produk

Kalkulasi:

		Jumlah masing-masing Produk (rata-rata konsumsi energy pada setiap produk * unit produk)
Intensitas Konsumsi Energi pada Produk (MJ)	=	-----
		Factor Normalisasi

Mengapa indicator Intensitas Konsumsi Energi pada Produk ini sangat penting ?

Konsumsi energy pada beberapa produk manufaktur seperti; automobiles, penggunaan alat elektronik, atau pada saat ekstraksi dan proses penggunaan material untuk membuat produk tersebut. Sangat objektif adalah mereduksi konsumsi energy sejak proses produksi sampai pada kegiatan penggunaan produk tersebut. Indikator tersebut juga dapat digunakan untuk mengukur rata-rata konsumsi energy produk campuran selama satu tahun produksi. Hasil penghitungan indicator konsumsi energy tersebut merepresentasikan “*energy footprint*” yang ditunjukkan oleh penggunaan produk tersebut.

Memperbaiki kinerja lingkungan manufaktur menggunakan indicator tersebut di atas memerlukan perubahan desain produk atau menggunakan pola-pola kinerja lainnya. Sebagai contoh; sebuah produk harus didesain untuk meningkatkan

efisiensi energy melalui kerjasama dengan penggunaan motor yang efisiensi tinggi atau dengan cara mengurangi berat produk. Sebagai contoh; kemampuan sebuah laptop computer yang mampu mereduksi kecepatan prosesor pada saat aktivitas computer berhenti.

Lakukanlah kajian terhadap data detail yang memperlihatkan produk dan tahapan (input, produksi dan pemanfaatan produk) yang dapat berkontribusi secara keseluruhan “*energy footprint*” pada pabrik/manufaktur.

Indikator-18. Intensitas GHGs yang berasal dari Produk

Kalkulasi:

Intensitas berasal (tCO ₂ e)	GHGs dari	yang Produk	=	----- Jumlah masing-masing Produk (rata-rata emisi GHGs per produk * unit produk)
				Factor Normalisasi

Mengapa indicator Intensitas GHGs yang berasal dari Produk ini sangat penting ?

Sebagai konsumsi energy, total emisi GHGs yang ditimbulkan selama kegiatan produksi berlangsung dan selama kegiatan pemakaian produk oleh konsumen mungkin saja terkonsentrasi di dalam material, produksi atau pada tahap penggunaan/pemakaian produk. Untuk mereduksi GHGs secara menyeluruh, maka sangatlah penting dilakukan upaya consentrat pada tahap yang paling banyak berkontribusi terhadap indicator. Indikator tersebut focus pada timbulan GHGs pada penggunaan/pemakaian produk.)

Pada banyak kasus, indicator tersebut umumnya proporsional terhadap konsumsi energy khususnya konsumsi energy fosil yang banyak mengeluarkan karbon pencemar. Produk-produk yang minimum mengeluarkan karbon

biasanya kita temui pada energy listrik yang bersumber dari energy nuklir, namun berbeda profil GHGs yang dihasilkannya. Beberapa produk misalnya; kulkas, AC dan seterika umumnya mengeluarkan pencemar yang jumlahnya sedikit mengeluarkan GHGs. Material organik dalam produk juga akan melepas GHGs apabila material ini terurai/terdekomposisi di tanah.

Seperti halnya pengelolaan intensitas konsumsi energy pada produk, maka untuk memperbaiki indicator dibutuhkan perubahan desain produk dan pola penggunaannya. Pada beberapa produk; produksi GHGs dapat direduksi dengan cara mereduksi konsumsi energy. Dalam hal ini, produk yang mengandung GHGs, perbaikan terhadap cara pencegahan pelepasan GHGs sampai pada tahap penggunaan produk oleh konsumen.

Implementasi pilar lingkungan social dalam indicator manufaktur berkelanjutan (*sustainable manufacturing indicators*) dapat dikaji secara mendalam pada beberapa indicator berikut:

Indicator ke-2 yaitu material B₃ yang terkandung dalam produk sangat penting kaitannya dengan aspek sosial, dimana material B₃ dapat membahayakan makhluk hidup termasuk makhluk social yaitu manusia yang akan menggunakan produk tersebut dapat terpapar dampak negative produk manufaktur tersebut.

Indikator ke-4 yaitu intensitas/jumlah penggunaan air oleh kegiatan manufaktur. Pada konteks sosial, maka kuantitas dan kualitas air menjadi masalah besar karena air banyak yang dicemari, air digunakan untuk proses produksi pada kegiatan manufaktur, apabila tidak dilakukan pengembalian pada badan air pada kuantitas dan kualitas aslinya, maka akan berdampak pada “penyusutan air bersih” pada sungai, danau dan pada tanah dangkal. Dampak negative yang ditimbulkan oleh penggunaan air untuk kegiatan manufaktur adalah masyarakat di sekitar industry-manufaktur akan

kekurangan air bersih dan banyaknya air yang tercemar oleh kegiatan industry-manufaktur, dampak negative kesehatan lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Indikator ke-7 yaitu intensitas efek gas rumah kaca (*green-house-gas* = GHGs) yang ditimbulkan oleh kegiatan manufaktur dapat menimbulkan dampak social pencemaran kesehatan lingkungan dan kesehatan masyarakat.

GHGs merupakan sekumpulan zat pencemar udara yang berkontribusi pada pemanasan global. GHGs meliputi zat: *carbon dioxide* (CO₂), *methane* (CH₄), *nitrous oxide* (N₂O), sulphur hexafluoride (SF₆), *perfluorocarbons* (PFCs) *hydrofluorocarbons* (HFCs) dan senyawa lainnya. Seratus tahun potensi pemanasan global (*Global Warming Potentials* = GWP) untuk senyawa/zat ini berkisar antara 1 to 22,800 CO₂e (relative terhadap CO₂).

Indikator ke-9 yaitu intensitas sisa yang dilepas ke Udara (Pencemar Udara). Polutan udara yang ditimbulkan oleh kegiatan manufaktur berupa; NO_x, SO_x, *persistent organic pollutants* (POPs), *volatile organic compounds* (VOCs), *hazardous air pollutants*, *particulate matter*, dan/atau polutan lainnya. Pelepasan zat pencemar ke udara meliputi keseluruhan intensitas residu yang ditimbulkan oleh kegiatan manufaktur, dan bahan pencemar udara ini akan berimplikasi negative terhadap kualitas udara lingkungan atau terhadap kesehatan makhluk hidup termasuk makhluk social manusia/masyarakat.

Indikator ke-10 yaitu intensitas limbah yang dilepas ke Air (pencemar air). Pencemaran air oleh aktivitas manufaktur dapat memberikan akibat negative aspek social-ekonomi, kesehatan manusia dan kesehatan lingkungan. Dampak pencemaran air dapat secara langsung pada kesehatan makhluk perairan dan masuk ke dalam rantai makanan yang kemudian dikonsumsi oleh manusia.



7 Langkah Menuju Manufaktur Hijau

Berdasarkan rekomendasi OECD; *Andrew Wyckoff* (2012) menyatakan bahwa; terdapat 7 (tujuh) langkah yang dapat dilakukan pada tahap persiapan, pengukuran dan perbaikan kegiatan manufaktur menuju manufaktur berkelanjutan atau manufaktur hijau.

Tahap persiapan:

1. Melakukan pemetaan (*mapping*) terhadap seluruh kegiatan manufaktur yang menimbulkan dampak negative terhadap lingkungan hidup, dan membuat prioritas pengelolaan lingkungan hidup.
2. Memilah dan memilih indicator dampak penting lingkungan hidup yang diperkirakan akan terjadi untuk segera dilakukan pengelolaan guna perbaikan bisnis atau usaha manufaktur dan melakukan perbaikan kualitas lingkungan hidup secara berkelanjutan.

Tahap pengukuran:

3. Mengukur input yang digunakan dalam setiap tahapan proses-proses produksi; lakukan proses identifikasi bagaimana material dan komponen-komponen bahan baku digunakan dalam proses produksi yang nantinya diperkirakan dapat mempengaruhi kinerja lingkungan (*environmental performance*).
4. Melakukan penilaian terhadap efisiensi pemanfaatan fasilitas dan utilitas operasional manufaktur, termasuk dampak pencemaran udara, air dan tanah.
5. Melakukan evaluasi terhadap semua produk yang dihasilkan: lakukan identifikasi dan mengevaluasi factor-factor konsumsi energy yang digunakan, daur ulang (*recycling*) material dan penggunaan kembali (*reusing*)

bahan-bahan berbahaya yang akan menentukan produk ramah lingkungan dan sistem manufaktur berkelanjutan.

Tahap perbaikan:

6. Memahami data hasil pengukuran-pengukuran; membaca dan mengartikan indicator serta memahami *trend* kinerja pekerja dan kinerja lingkungan manufaktur.
7. Mengambil tindakan untuk meningkatkan kinerja lingkungan manufaktur; menyeleksi peluang-peluang untuk memperbaiki kinerja pekerja dan kinerja lingkungan manufaktur dan membuat rencana tindak atau aksi untuk melaksanakannya.

Tujuh langkah tersebut di atas penting untuk mengapresiasi *sustainable manufacturing* yang bukan menjadi tujuan akhir atau hasil akhir, namun terkait dengan pembelajaran berkelanjutan, inovasi dan perbaikan. Selanjutnya, setelah menyelesaikan 7 langkah tersebut di atas, maka lakukan peninjauan kembali terhadap proses-proses secara berkala (baik kurun waktu bulan atau tahun) guna perbaikan terhadap system dan aktivitas manufaktur secara berkelanjutan.

Berapa lamakah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan 7 langkah tersebut di atas?

Sangatlah sulit dapat dipastikan dengan tepat berapa lama setiap langkah atau seluruh proses-proses manufaktur berkelanjutan dalam situasi tertentu. Karena hal ini akan bervariasi dari satu fasilitas ke fasilitas selanjutnya, ataupun dari satu utilitas ke utilitas lainnya. Kita mungkin saja sudah melaksanakan langkah-langkah di beberapa bidang, atau mungkin kita memang benar-benar baru melakukan perbaikan untuk wilayah operasi, atau mungkin persoalan manajerial manufaktur yang lebih kompleks. Langkah

pertama proses untuk menjelaskan tentang bagaimana cara menetapkan tujuan yang dapat dipertanggungjawabkan.

Namun, kita harus dapat memperkirakan dan melihat kemajuan-kemajuan dalam hitungan harian atau bulanan. Hal ini mungkin dalam di banyak kasus, untuk manufaktur yang tidak memiliki fasilitas sama sekali informasi untuk mengukur setidaknya beberapa indikator dalam waktu 1 (satu) tahun. *Timeline* yang kita rancang mungkin pula dapat mengubah kemajuan manajemen manufaktur, sehingga dapat dipastikan untuk berkomunikasi secara teratur dengan rekan-rekan kerja di sepanjang perjalanan aktivitas operasional manufaktur.

Harus diingat pula bahwa; yang paling penting adalah setiap elemen manajer harus terlibat dalam proses menuju manufaktur hijau. Tidak peduli seberapa banyak atau berapa lama kita terlibat di dalam proses-proses menuju manufaktur hijau, maka 7 langkah dasar yang sama harus dilaksanakan secara terintegrasi dan konsisten.

Langkah Pertama: lakukan pemetaan dampak (*impact*), baik dampak positif maupun dampak negative dan menetapkan prioritas pengelolaan manufaktur kita.

- a. Untuk setiap langkah operasional manufaktur, kita memerlukan pemetaan yang cermat guna membantu kita untuk mencapai sasaran dalam penanganan dampak lingkungan manufaktur.
- b. Pada langkah pertama, kita harus focus pada aspek di mana kita akan memulai, di mana kita akan mengakhirinya, dan hal yang perlu dipastikan adalah bahwa kita memiliki semua yang dibutuhkan untuk mencapai prioritas penanganan dampak lingkungan manufaktur.
- c. Terdapat banyak cara untuk meminimumkan dampak lingkungan dari pengaruh pengoperasian fasilitas dan utilitas manufaktur, dan bagaimana upaya yang bisa

dilakukan untuk meningkatkan kinerja lingkungan manufaktur.

Langkah Kedua: Memilih Indikator dan Memahami data yang diperlukan.

- a. Pada langkah kedua ini, kita harus menegaskan indicator apa yang akan kita gunakan.
- b. Kita selayaknya mengacu pada indicator yang direkomendasikan OECD (18 indicator standard OECD).
- c. Beberapa perusahaan manufaktur di Eropa telah memperoleh keuntungan ekonomi yang cukup besar setelah menerapkan 18 indicator OECD tersebut dengan menambahkan beberapa indicator spesifik lainnya terkait tipologi manufaktur yang dioperasikannya.

Langkah Ketiga: Mengukur penggunaan Input pada Proses Produksi.

- a. Pada langkah ketiga ini, kita harus melakukan setting terhadap indicator yang berkaitan dengan bahan baku dan bahan baku pembantu yang digunakan dalam proses manufaktur.
- b. Kita selayaknya melihat dan mempelajari sifat fisika-kima dan karakteristik bahan baku dan bahan pembantu (*material input*) yang digunakan pada perusahaan manufaktur, dan mengukur jumlah penggunaannya.
- c. Sifat fisika-kima dan karakteristik bahan baku dan bahan pembantu (*material input*) manufaktur sangat menentukan entropy (limbah dan polutan) yang dihasilkan.
- d. Input yang berkualitas akan menghasilkan produk manufaktur berkualitas dan kinerja lingkungan yang baik.

Langkah Keempat: Menilai Operasional Fasilitas Manufaktur dan Proses Produksi.

- a. Pada langkah keempat ini, kita harus melihat apa yang terjadi dengan adanya kegiatan operasional fasilitas manufaktur dan proses produksi.
- b. Kita selanjutnya melihat dan mempelajari dampak lingkungan yang ditimbulkan dalam bentuk limbah dan polutan.
- c. Pada langkah ini kita harus focus pada kunci proses produksi dan memfungsikan manufaktur secara efisien sehingga meminimumkan timbulnya limbah dan polutan.

Langkah Kelima: Mengukur Penggunaan Input pada Proses Produksi.

- a. Pada langkah kelima ini, kita harus focus pada penggunaan input (bahan baku utama + bahan baku pembantu) dan melakukan pencegahan pencemaran lingkungan oleh entropy kegiatan proses produksi.
- b. Pada tahap ini, manufaktur kita harus mampu menghasilkan produk manufaktur yang berkualitas sesuai permintaan pasar global dan meningkatkan kinerja lingkungan manufaktur (melalui minimisasi limbah dan polutan).
- c. Melakukan perencanaan (berfikir) secara global (*think globally*) dan bertindak dengan kearifan local (*act with ecological wisdom*).

Langkah Keenam: memahami hasil pengukuran, indicator dan trend kinerja manufaktur.

- a. Pada langkah keenam ini, kita harus mengerti dan memahami bahwa dengan kinerja lingkungan yang baik, maka perusahaan manufaktur kita akan menerima keuntungan ekonomi yang besar (disamping keuntungan ekologi).
- b. Pada tahap ini, kita harus mampu mengidentifikasi dan melacak indicator yang menghasilkan informasi penting yang dapat membantu meningkatkan pengetahuan, strategi dan hasil produk manufaktur yang berkualitas sesuai permintaan pasar global dan meningkatkan

kinerja lingkungan manufaktur (melalui minimisasi limbah dan polutan).

- c. Langkah berikutnya adalah untuk memahami cara-cara yang berbeda untuk meninjau dan menganalisis informasi yang dihasilkan oleh indicator untuk mengidentifikasi opsi-opsi pengelolaan guna meningkatkan kinerja lingkungan manufaktur (kinerja = efisiensi = produktivitas).

Langkah Ketujuh: Mengambil Tindakan Untuk Meningkatkan Kinerja Lingkungan dan Kinerja Manufaktur.

- a. Pada langkah ketujuh ini, kegiatan manufaktur kita harus mulai memberikan hasil nyata Kinerja Lingkungan + Kinerja Manufaktur yang tinggi (efisien secara ekonomi dan efisien secara ekologi = *eco-efficiency*).
- b. Kinerja Lingkungan = efisien memanfaatkan SDA = produktif memanfaatkan SDA = *zero waste* dan *zero pollutant* dan *zero accident*).
- c. Pada langkah ini kita harus memperoleh data dan informasi tentang indicator penting untuk meningkatkan Kinerja Lingkungan dan Kinerja Manufaktur secara berkelanjutan (*sustainable manufacturing*).

Metode Analisis Perancangan Manufaktur Hijau

Metode analisis perancangan manufaktur hijau diperlukan untuk menilai derajat perbaikan yang diharapkan dari parameter-parameter tertentu untuk dapat mencapai tolok ukur nilai keefisiensi yang tinggi pada kegiatan dan lingkungan manufaktur. Metode analisis ini difokuskan mulai dari estimasi terhadap parameter seperti; survei pasar yang mengharapkan adanya nilai-nilai daur ulang yang terdapat pada produk, dan dampak lingkungan yang akan terjadi pada hasil daur hidup produk secara keseluruhan. Parameter-parameter yang diukur tersebut termasuk hubungannya dengan hal yang tercermin pada interaksi antara faktor biaya yang ditimbulkan dengan manfaat yang diperoleh dari pelaksanaan konsep manufaktur hijau.

Terdapat 4 (empat) metode analisis yang umum digunakan oleh pengusaha pada manufaktur yang sudah menerapkan manajemen ekologi industri yaitu:

1. Analisis menggunakan metode penyaringan (*screening*); yaitu dengan cara mempersempit atau memperkecil jumlah alternatif pilihan penggunaan desain produk alternatif. Sebagai contoh misalnya memilih zat-zat kimia yang berdaya biodegradasi tinggi sebagai material utama produksi dan atau sebagai bahan baku pembantu. Metode penyaringan dengan cara memilih material produk yang dapat didaur ulang secara keseluruhan dalam proses produksi.
2. Analisis menggunakan metode penilaian (*assessment*); yaitu dengan cara memprediksi performa yang diharapkan dari hasil rancangan yang bersifat obyektif.

Sebagai contoh misalnya kalkulasi nilai pemulihan material yang diharapkan (kurun waktu pemulihan sumber daya alam), maka dalam kasus ini tentunya kita memilih waktu pemulihan material yang singkat. Contoh lain adalah memprediksi konsentrasi emisi yang akan terjadi dan berdampak negatif pada lingkungan hidup. Metode penilaian yang lazim digunakan oleh kegiatan manufaktur adalah *life cycle assessment* (LCA) dan metode *from cradle to grave* terhadap siklus materi dan aliran energi dalam daur hidup suatu produk.

3. Metode analisis biaya untuk membandingkan biaya produksi yang diharapkan dengan daya guna yang dapat diberikan oleh beberapa alternatif desain produk yang telah dirancang. Sebagai contoh: menghitung biaya produksi sebuah Meja Kantor dari material serbuk kayu (material daur ulang) dan biaya produksi Meja Kantor dari material kayu original. Pilihan akan jatuh pada biaya produksi paling rendah dan produk diminati konsumen. Contoh lainnya: menghitung biaya perawatan produk Mobil Ayla (Daihatsu) dan biaya perawatan produk Mobil Agya (Toyota). Pilihan akan jatuh pada biaya perawatan paling rendah dan produk diminati konsumen.
4. Analisis metode pengambilan keputusan yang digunakan untuk memilih di antara berbagai alternatif bilamana metode analisis biaya terlalu rumit untuk digunakan, maka dapat digunakan teknik analisis hirarkhi, sistem saran dari para ahli/pakar, dan atau menggunakan metode optimalisasi. Sebagai contoh: Meminta saran para ahli apakah sebaiknya kita memproduksi mobil jenis City-Car berbahan bakar listrik atautkah memproduksi mobil jenis City-Car berbahan bakar Gas. Pertimbangannya adalah aspek pencemaran lingkungan oleh jenis mobil yang dirancang dan factor kelayakan teknis penggunaan mobil tersebut oleh konsumen

(kemudahan memperoleh pengisian bahan bakar dan efisiensi penggunaan mobil oleh konsumen).

Komponen lingkungan dan parameter yang dapat digunakan untuk mengukur efisiensi ekologis (ekoefisiensi) dari analisis perancangan manufaktur hijau antara lain adalah:

1. Jumlah penggunaan energi
 - a. Jumlah penggunaan energi selama daur hidup produk, mulai dari ekstraksi bahan baku sampai dihasilkan produk.
 - b. Jumlah energi terbarukan yang digunakan selama daur hidup produk.
 - c. Jumlah pemakaian listrik selama pengoperasian dan penggunaan produk oleh konsumen khususnya pada produk-produk elektronika.
2. Jumlah penggunaan air
 - a. Jumlah total air bersih yang dikonsumsi selama proses manufaktur.
 - b. Jumlah total air bersih yang dikonsumsi selama produk barang digunakan oleh pengguna produk atau konsumen.
3. Jumlah penggunaan bahan berbahaya dan beracun (B_3)
 - a. Kuantitas dan kualitas material toksik atau B_3 yang digunakan selama proses produksi.
 - b. Jumlah total limbah B_3 yang dihasilkan selama proses produksi.
 - c. Kuantitas dan kualitas limbah B_3 yang dihasilkan selama proses produksi dan selama proses pemakaian produk oleh konsumen.
 - d. Kuantitas dan kualitas emisi dan limbah cair yang dihasilkan selama proses produksi.
 - e. Kuantitas dan kualitas gas-gas rumah kaca dan senyawa kimia yang dapat menipiskan lapisan ozon yang dilepas ke atmosfer selama daur hidup produk.

4. Pemulihan dan pemanfaatan kembali material limbah
 - a. Produk yang tidak dapat digabung kembali (*re-assembly*) dan lama pemulihan material.
 - b. Persentase material yang dapat didaur ulang yang diperoleh sampai akhir daur hidup material produk.
 - c. Persentase produk yang dapat dipulihkan dan dapat digunakan kembali untuk dijadikan produk tertentu (*product recovered and reused*).
 - d. Tingkat persentase kemurnian material yang telah mengalami daur ulang dan pemulihan material setelah menjadi limbah.
 - e. Persentase material yang dapat didaur ulang dan digunakan kembali sebagai input proses produksi.
5. Ukuran volume sumber daya
 - a. Berat massa produk yang dihasilkan manufaktur atau pabrik yang dijual ke konsumen. Semakin besar volume produk barang yang dihasilkan oleh suatu pabrik, maka semakin tidak ekoeisien manufaktur tersebut.
 - b. Daya manfaat material produk bagi perikehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.
 - c. Persentase produk yang dibuang/terbuang atau di incinerasi baik selama proses produksi maupun pasca distribusi produk ke konsumen.
 - d. Fraksi pembungkus (*packaging*) atau jumlah kandungan material pembungkus produk yang dapat didaur ulang.
6. Tingkat risiko dan paparan zat toksik
 - a. Konsentrasi zat berbahaya di udara ambient yang dihasilkan berbagai produk selama proses produksi maupun pasca distribusi produk ke konsumen.
 - b. Perkiraan dampak negative paparan zat toksik terhadap perikehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya.

7. Nilai ekonomi
 - a. Biaya rata-rata daur hidup material pada proses industry dan manufaktur.
 - b. Biaya operasi dan pembelian yang ditanggung oleh konsumen.
 - c. Biaya yang bisa dihemat atas perbaikan desain produk.

Pada tingkatan agregat, maka keseluruhan nilai-nilai ataupun ukuran manufaktur hijau tersebut di atas harus digunakan dalam mengukur performa sistem manufaktur. Kondisi ini disebut sebagai ukuran primer tingkat keberhasilan manajemen manufaktur hijau dalam mengelola manufaktur dan lingkungannya. Secara spesifik ukuran-ukuran tersebut di atas sangat dipengaruhi pula oleh keinginan dan kebutuhan konsumen serta faktor keterbatasan yang ada pada internal perusahaan manufaktur.

Hubungan antara tujuan pengelolaan manufaktur hijau dengan ukuran-ukuran dan manfaat bagi manufaktur dapat dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 1. Pengelolaan Manufaktur Hijau, Ukuran dan Manfaat

Pengelolaan Manufaktur Hijau	Ukuran	Manfaat
Reduksi atau eliminasi limbah	<ul style="list-style-type: none"> • Berat atau jumlah emisi yang dihasilkan selama daur hidup • Persentase berat produk yang dibuang ke tanah 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduksi emisi mencapai 30% per tahun • Reduksi limbah padat yang dibuang mencapai 1 pounds per unit produk
Pengembangan "green" produk yang dapat di recycle	<ul style="list-style-type: none"> • Persentase berat produk yang dipulihkan dan di recycle • Emisi limbah padat 	<ul style="list-style-type: none"> • Recycling mencapai 95% • Eliminasi limbah akhir setelah recycling
Reduksi biaya siklus hidup produk	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya manufaktur • Biaya distribusi dan pendukung • Biaya daur hidup produk 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduksi total biaya siklus hidup mencapai \$7500 per unit produk • Reduksi biaya akhir hidup untuk meningkatkan nilai

		mencapai 29%
Reduksi biaya untuk konsumen	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya operasi dan pembelian bahan 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduksi biaya mencapai lebih dari \$500 per tahun
Konservasi konsumsi energi pada daur hidup produk	<ul style="list-style-type: none"> • Total energi (BTUs) untuk memproduksi satu unit produk • Rata-rata penggunaan energi listrik 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduksi mencapai 1000 BTU • Reduksi 10% per tahun • Pemakaian listrik kurang dari 30 Watt
Konservasi sumber daya alam dengan cara meningkatkan bahan yang dapat didaur ulang	<ul style="list-style-type: none"> • Persen berat material produk yang dapat didaur ulang 	<ul style="list-style-type: none"> • Mencapai 20% atau lebih besar dari total bahan yang dapat didaur ulang • Mencapai 30% berat bahan plastik yang dapat didaur ulang

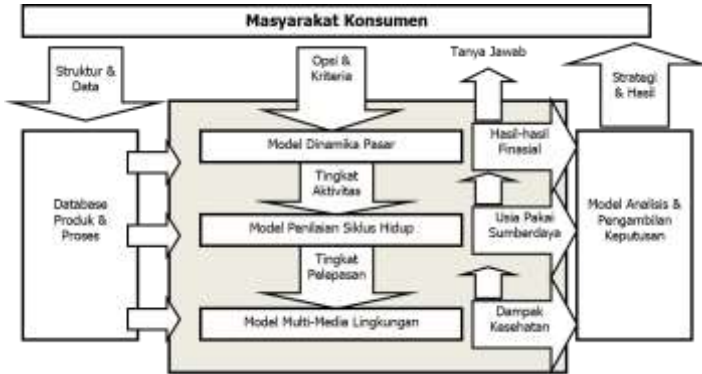
Sumber: Joseph Fiksel, 1996

Guna menciptakan sistem manufaktur yang memiliki visi berwawasan lingkungan maka diharapkan adanya suatu infrastruktur informasi yang dapat menopang sistem perancangan ekologi industri yaitu; data dasar tentang produk, proses produksi dan data tentang karakteristik manufaktur yang diperlukan untuk dapat disimpan di dalam suatu *data base* yang dapat diperbarui secara periodik.

Infrastruktur informasi dalam perancangan ekologi manufaktur hijau meliputi beberapa model-model komputasi sebagai berikut:

1. Model "dinamika pasar" dapat digunakan untuk menilai dampak masing-masing desain produk dan proses yang dipilih oleh manufaktur dan konsumen, termasuk didalamnya pola-pola penggunaan produk dan pembelian material bahan baku.
2. Model "penilaian daur hidup" pada energi, material, dan limbah yang ditimbulkan oleh aktivitas kegiatan manufaktur.
3. Model "multimedia lingkungan" dapat digunakan untuk menilai dampak yang ditimbulkan oleh kegiatan suatu manufaktur.

4. Model yang dapat mendukung kebijakan ekologi manufaktur hijau untuk mengevaluasi pilihan-pilihan yang tidak dikehendaki, dan keputusan-keputusan teknis, serta strategi apa yang dapat diambil guna merespon pasar yang berbeda dan bersifat kompetitif.



Gambar 4. Infrastruktur Informasi Perancangan Ekologi Manufaktur Hijau

Berdasarkan gambar tersebut di atas dapat diilustrasikan contoh praktis yang dapat diterapkan pada ekologi manufaktur hijau; bila kita menggunakan model dinamika pasar untuk menilai dampak produksi pakaian Blue Jean's oleh industri garmen yang melakukan pencucian garmen sampai menjadi "lusuh" atau "blel".

Pakaian Blue Jean's yang "lusuh" atau "blel" sangat diminati oleh konsumen dalam dan luar negeri dan pola-pola penggunaan pakaian Blue Jean's oleh konsumen. Karena banyaknya permintaan konsumen terhadap pakaian Blue Jean's yang "lusuh" dan "luntur" maka konsekuensinya adalah banyaknya pencemaran air yang dilakukan oleh kegiatan manufaktur maupun konsumen ketika mencuci pakaian Blue Jean's.

Untuk itu kebijakan manajemen manufaktur tekstil garmen harus diarahkan pada produksi pakaian Blue Jean's yang memanfaatkan material yang tidak mengandung material pewarna tekstil yang bersifat B₃, sehingga di satu sisi dapat menyelamatkan dan melindungi ekologi, dan di sisi lain dapat melayani dan memenuhi kebutuhan konsumen secara berkelanjutan.

Apabila menggunakan model "penilaian daur hidup" pada energi, material, dan limbah yang ditimbulkan oleh kegiatan manufaktur, maka dapat kita lihat pada kasus manufaktur tekstil garmen yang mampu memproduksi pakaian yang berkualitas tinggi dengan indikator kualitas pakaian dengan durabilitas tinggi atau tahan lama.

Apabila suatu pakaian berkualitas dapat dipakai selama 5 (lima) tahun dengan harga Rp. 200.000 per potong pakaian, sedangkan pakaian yang tidak berkualitas (produk abal-abal) seharga Rp. 50.000 per potong hanya dapat dipakai selama 1 (satu) tahun kemudian pakaian ini menjadi sampah karena cepat robek, cepat lusuh dan tidak modist dan lain sebagainya. Sehingga apabila perusahaan manufaktur garmen mengambil suatu kebijakan yang mampu memproduksi pakaian berkualitas baik, maka paling tidak manufaktur garmen ini telah mampu menahan laju pertambahan sampah pakaian di lingkungan sebanyak lima potong pakaian per tahun untuk setiap konsumen.



Pengembangan Produk dan Proses

Dengan semakin meningkatnya tekanan kompetisi dunia usaha manufaktur dan perubahan pasar yang sangat cepat, maka pengembangan produk yang daur waktunya panjang menjadi salah satu tujuan esensial yang sama pentingnya dengan responsi kebutuhan dan keinginan konsumen. Empat syarat untuk memperbaiki desain teknis dalam upaya pengembangan produk modern sebagai sumber kekuatan keuntungan kompetitif adalah sebagai berikut:

1. Adanya komitmen untuk selalu berupaya untuk memperbaiki kualitas produk, desain, dan proses produksi.
2. Adanya usaha untuk membentuk suatu kerjasama proses untuk merealisasikan produk yang didukung penuh oleh manajemen puncak.
3. Adanya usaha untuk membangun peningkatan praktik-praktik keterpaduan atau integrasi dalam memproduksi produk yang diinginkan konsumen.
4. Adanya usaha untuk membangun dukungan dalam perancangan manufaktur hijau secara berkelanjutan.

Supaya efektifnya proses kerja manufaktur hijau dalam merealisasikan pembuatan produk barang yang diinginkan oleh pasar dan konsumen maka manajemen manufaktur perlu melakukan langkah-langkah strategis sebagai berikut:

1. Mendefinisikan dan merinci kebutuhan konsumen dengan semua persyaratan daya guna produk bagi manusia (konsumen) dan makhluk hidup serta lingkungan. Sebagai contoh; mendefinisikan produk hijau (*green product*) sebagai sebuah produk yang tidak mengandung material B₃, mudah didaur ulang

(*recyclable*), mudah dirawat (*easy-care*), daya guna barang tinggi (*high-performance*) baik bagi konsumen dan lingkungan, mudah dijual kembali apabila produk telah usang dan harga barang stabil.

2. Merencanakan suatu evolusi produk yang mengarah pada produk yang apresiatif terhadap keberlanjutan manufaktur hijau. Sebagai contoh: merancang produk mobil dengan tahapan pengembangan ke arah produk ramah lingkungan, melalui perbaikan system konsumsi bahan bakar yang hemat, tanpa polusi dan getaran, system pengamananan keselamatan yang tinggi (jaminan keselamatan), sensor keselamatan dan kesehatan penumpang, suku cadang yang mudah diperoleh, layanan pasca-jual (*after sale services*), dan lain sebagainya.
3. Melakukan secara bersama-sama dalam mendesain proses manufaktur yang tidak merusak lingkungan. Sebagai contoh: menciptakan proses manufaktur karoseri mobil yang tidak merusak lingkungan, menggunakan system pengelasan otomatis (*automatic-laser*) dalam proses perakitan sehingga tidak membahayakan karyawan bekerja, menggunakan system pengecatan robotic (*robotic-painting*), mendaur ulang sisa-sisa cat dan pelarut (*recycling*) untuk digunakan kembali (*reuse*) pada pengecatan bagian dasar karoseri yang tidak membutuhkan kualitas warna cat primer.
4. Mendesain produk manufaktur yang dapat menghasilkan produk-produk yang daur hidupnya lama, termasuk kemudahan dan efektivitas dalam proses distribusi, perawatan, daur ulang, dan mendesain cara pembuangan produk setelah menjadi sampah. Sebagai contoh: menciptakan produk mobil yang tahan lama (*long-life-time*) baik model maupun ketahanan fisik mobil, mudah dan efektif pada waktu didistribusikan ke konsumen, suku cadang mobil mudah diperoleh konsumen. Contoh

produk manufaktur yang didesain sedemikian rupa untuk memberikan kemudahan kepada konsumen untuk mendaur ulang produknya adalah baterai atau accu mobil, dimana apabila aki mobil sudah tidak berfungsi baik dan harus diganti dengan aki baru, maka aki bekas dapat dikembalikan ke produsen dengan harga jual yang pantas sehingga aki bekas tidak mengganggu lingkungan.

5. Melakukan proses produksi sesuai dengan desain yang telah disepakati dengan baik, melakukan monitoring terhadap keseluruhan proses produksi dan kualitas produk yang dihasilkan. Sebagai contoh: produsen mobil Toyota dengan produk Avanza bersepakat dengan produsen mobil Daihatsu dengan produk Xenia, setiap tahun kedua produsen memproduksi Avanza dan Xenia dengan teknologi yang sama untuk memberikan kemudahan bagi konsumen dalam perawatan mobil, suku cadang yang sama, bengkel perawatan dapat diakses pada bengkel yang berbeda (bengkel Toyota dan atau bengkel Daihatsu).

Pengembangan produk secara terpadu merupakan suatu proses dimana seluruh kelompok fungsional desain, teknik, manufaktur produk dan kelompok pendistribusian serta pemasaran produk. Kelompok fungsional ini harus terlibat dalam suatu kesatuan perancangan daur hidup produk dan ikut berpartisipasi sebagai suatu tim untuk memahami dan memberikan solusi untuk mengatasi masalah-masalah penting dalam pengembangan produk. Perancangan produk yang dimaksud meliputi aspek kualitas, daya guna manufaktur, reabilitas, daya perawatan, aspek lingkungan dan keselamatan kerja.

Pengembangan produk terpadu tidak lagi mentolerir pendekatan tradisional yang mengabaikan persoalan lingkungan, tetapi aspek lingkungan harus dijadikan bagian strategi cerdas perusahaan untuk menghasilkan produk

berkualitas tinggi dan mempersingkat waktu produk menuju pasar.

Dalam rangka pengelolaan lingkungan secara berkualitas melalui penyempurnaan proses integrasi perusahaan terhadap masalah lingkungan, maka diperlukan 2 (dua) bentuk perubahan penting:

1. Membangun suatu organisasi formal yang mampu memperbaiki performa lingkungan (ekologi) manufaktur. Sebagai contoh: dalam organisasi perusahaan manufaktur harus ada divisi khusus atau sub-organisasi yang khusus yang terintegrasi mengelola aspek lingkungan manufaktur, termasuk pengelolaan keselamatan dan kesehatan kerja (K₃), tata kelola ruang terbuka hijau (*land-scape*) kawasan manufaktur, eksterior dan interior manufaktur, sehingga kawasan manufaktur mampu memberikan kesan (*image*) yang ramah lingkungan (*green manufacturing*) kepada masyarakat di sekitar lokasi manufaktur.
2. Melakukan modifikasi proses-proses bisnis guna mengakomodasikan kesadaran terhadap ekologi, sehingga diperlukan integrasi alat ukur kualitas ekologi, alat-alat penilaian kualitas lingkungan, menjadi praktis dan sangat teknis sebagaimana halnya pengembangan sistem akuntansi dan biaya pemanfaatan ekologi. Sebagai contoh: proses-proses bisnis yang sadar ekologi manufaktur atau manufaktur hijau (*green manufacturing*) adalah seperti jaminan layanan purna jual (*after-sales-services*) yang tidak mengecewakan konsumen, jaminan kualitas limbah yang bersinggungan dengan lingkungan masyarakat (sesuai baku mutu lingkungan dan peraturan perundangan), monitoring kualitas lingkungan yang menggunakan jasa monitoring lingkungan independent beserta alat laboratorium yang terkalibrasi, melaksanakan prinsip akuntabilitas

lingkungan, transparansi dan bertanggungjawab atas kegiatan manufaktur yang dikeluhkan masyarakat sekitar.

Perusahaan-perusahaan yang tidak mengimplementasikan program-program kualitas ekologi di perusahaannya akan menghadapi sejumlah hambatan dan rintangan yang kemudian dapat menjadikannya sebagai tantangan untuk melaksanakannya.

Tantangan dalam implementasi program kualitas ekologi manufaktur antara lain adalah:

1. Ketersediaan sumber daya alam yang terbatas untuk dapat dimulainya kegiatan proyek-proyek baru dalam industri. Harus disadari bahwa ketersediaan sumber daya alam yang digunakan oleh industry manufaktur sangat terbatas baik kuantitas maupun kualitas. Untuk merancang proyek-proyek baru ataupun merancang produk-produk baru harus memperhitungkan aspek kelangkaan (*scarsities*) bahan baku maupun energy. Sehingga dengan dmikian, maka manajemen manufaktur harus mencari alternative-alternatif sumber daya alam atau bahan baku substitusi agar manufaktur dapat beroperasi secara berkelanjutan. Sebagai contoh: industri otomotif harus berupaya mencari bahan bakar alternative (dari ekstraksi vegetasi dan bukan bergantung pada energy fosil) yang dapat digunakan pada rancangan produknya di masa yang akan datang.
2. Masalah cara kerja organisasi dan budaya kerja personil yang sangat lamban. Disadari bahwa tidak jarang personil dalam organisasi manufaktur tidak memiliki kesadaran tentang pentingnya lingkungan/ekologi manufaktur yang harus diimplemenasikan dalam proses produksi dan pengembangan produk. Sehingga menghasilkan kualitas kerja dan kualtas produk yang

tidak diterima oleh konsumen global yang menginginkan produk-produk ramah lingkungan yang diproduksi oleh manufaktur yang ramah lingkungan.

3. Isu manufaktur hijau yang tidak dapat dimengerti atau tidak mampu dipahami secara utuh oleh para manajer, karyawan dan operator. Disadari pula bahwa tidak jarang para manajer dalam organisasi manufaktur tidak memiliki kesadaran tentang pentingnya lingkungan/ekologi manufaktur yang harus diimplemenasikan dalam perencanaan produk, proses produksi dan pengembangan produk. Sehingga menghasilkan kualitas kerja dan kualitas produk yang tidak diterima oleh konsumen global yang menginginkan produk-produk ramah lingkungan yang diproduksi oleh manufaktur hijau.
4. Sistem akuntansi yang ada tidak mampu merefleksikan nilai atau harga ekologi yang dimanfaatkan oleh manufaktur. Sistem kalkulasi dan akuntansi yang ada pada kebanyakan manufaktur di Indonesia yang tidak mampu merefleksikan nilai atau harga sumber daya alam dan lingkungan hidup yang diinternalisasikan kedalam biaya produksi. Sebagai contoh: kegiatan manufaktur yang menggunakan sumber daya alam nitrogen (udara) yang diambil dari alam bebas tidak memperhitungkan biaya pencemaran yang harus dibayarkan kepada lingkungan (melalui pajak yang dipungut oleh pemerintah) untuk kemudian biaya pencemaran tersebut dimanfaatkan untuk merehabilitasi kerusakan lingkungan.
5. Tim perancang produksi sering mengalami ketakutan dan kekhawatiran dalam mengkompromikan kualitas produk, masalah efisiensi produksi dengan aspek

kepentingan ekologi manufaktur. Tidak jarang tim perancang produksi (*research and development*) sering mengalami ketakutan dan khawatir terhadap pimpinan manajemen manufaktur jika mengkaitkan aspek kualitas produk dan efisiensi yang tinggi dengan kepentingan lingkungan manufaktur. Sebagai contoh: memproduksi sepatu berbahan kulit sapi yang penyamakannya tanpa menggunakan bahan kimia B3 (bahan merusak lingkungan) ketakutan kepada pimpinan, karena proses memakan waktu dan menimbulkan biaya tinggi.

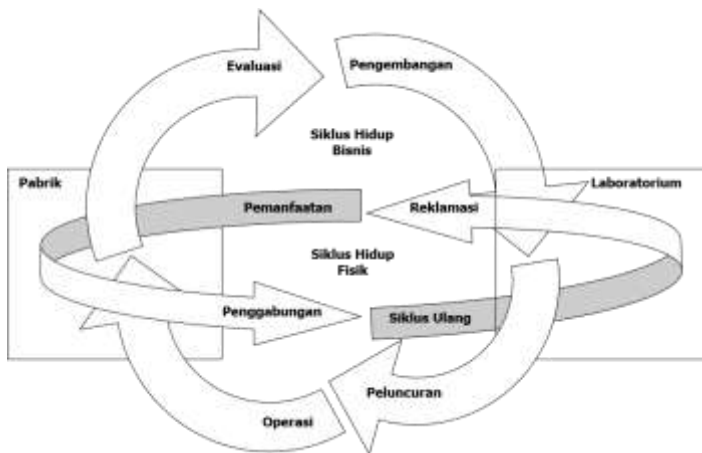


Perancangan Daur Hidup Material

Terminology daur hidup material atau siklus hidup material (*material life cycle*) didefinisikan secara berbeda oleh masyarakat karena adanya anggapan bahwa:

1. Daur hidup usaha (*business life cycle*), siklus hidup bisnis terdiri atas 2 (dua) jenis siklus hidup yaitu;
 - a) Daur hidup produk (*product life cycle*) merupakan bagian dari tahapan aktivitas pembuatan produk yang meliputi: i) daya kreasi (kreativitas) pengembangan produk, ii) efisiensi produksi, iii) perawatan alat industri, iv) proses finishing produk, dan v) proses evaluasi ulang terhadap pembaruan bentuk produk regenerasi berikutnya.
 - b) Daur hidup proses (*processing life cycle*) merupakan bagian dari tahapan aktivitas industry secara menyeluruh yang meliputi; i) perencanaan pengembangan fasilitas, ii) perancangan proses, dan iii) arsitektur manufaktur, dan iv) konstruksi yang harus berlangsung secara berkelanjutan dan berkesinambungan.
2. Daur hidup fisik (*physical life cycle*), terdiri atas daur hidup produk (*product life cycle*) dan daur hidup proses produksi (*production life cycle*).
 - a) Daur hidup produk (*product life cycle*) merupakan bagian dari proses; i) transformasi materi dan energi, termasuk ekstraksi, dan ii) proses penggabungan komponen-komponen produk, iii) proses distribusi produk, iv) penggunaan produk, dan v) pemulihan atau daur ulang sisa material produk.
 - b) Daur hidup proses (*processing life cycle*) merupakan bagian dari proses; i) transformasi penggunaan material dan energi, termasuk ekstraksi, ii) proses

penggunaan material untuk alat-alat proses, iii) sistem suplai bahan baku, iv) proses pengawasan produksi, v) pembersihan dan perawatan alat-alat, vi) pembuangan limbah, dan vii) pemulihan material limbah yang harus berlangsung secara alamiah, berkelanjutan dan berkesinambungan.



Gambar 5. Dua Daur Hidup Berasosiasi Dalam Produk Barang

Terdapat 2 (dua) model siklus hidup material yang terjadi di dalam system manufaktur yaitu; model siklus horizontal dan model siklus vertical.

Model *horizontal recycling* merupakan sistem *closed-loop recycling* yaitu suatu sistem dimana bahan atau material produk dapat di olah kembali menjadi produk yang sama. Sebagai contoh botol bekas dapat dibuat kembali (*remanufacture*) menjadi botol yang sama bentuk dan

kualitasnya. Model *vertical recycling* yang juga merupakan *closed-loop* sistem kegiatan manajemen perencanaan pengembangan produk yang telah melalui uji coba di laboratorium diluncurkan, kemudian diwujudkan dalam kegiatan produksi missal. Selanjutnya, dilakukan evaluasi terhadap produk tersebut guna pengembangan desain produk berikutnya.

Dari gambar di atas terlihat bahwa laboratorium merupakan tempat aktivitas melakukan kreasi untuk membuat konsep-konsep dan melakukan percobaan-percobaan guna membuat desain produk terbaru pada skala kecil. Sedangkan pada pabrik (*factory*) menjadi tempat aktivitas penerapan hasil uji coba laboratorium dengan kegiatan produksi berskala penuh. Terdapat perbedaan mendasar antara daur hidup bisnis dan daur hidup fisik yaitu:

1. Pada aspek waktu; daur hidup bisnis usaha industry ditentukan oleh tingkat rata-rata perubahan teknologi dan kondisi pasar, sedangkan skala waktu untuk daur hidup fisik ditentukan oleh lamanya layanan yang dapat diberikan oleh setiap unit produk kepada konsumen. Rentang waktu untuk mengkonsumsi produk oleh konsumen dapat saja berkisar waktu harian atau mingguan, sedangkan rentang waktu penggunaan atau pemanfaatan produk yang durasinya dapat berkisar tahunan atau dekade.
2. Pada aspek tanggungjawab; tanggungjawab terhadap daur hidup bisnis dan dampak bisnis (keuntungan atau kerugian) yang ditimbulkan oleh perusahaan; bertanggungjawab terhadap daur hidup fisik dan dampaknya yang didistribusikan oleh perusahaan yang terjadi pada setiap tahapan transformasi materi dan energi, serta dalam beberapa kasus bertanggungjawab terhadap dampak yang mungkin terjadi.

3. Keberlanjutan daur usaha tergantung pada kemampuan perusahaan industry untuk melakukan inovasi melalui pengembangan-pengembangan dan menghasilkan konsep-konsep produk baru yang dibutuhkan oleh pasar. Kontinuitas daur fisik bergantung kepada kemampuan bermacam-macam keinginan kelompok, secara potensial termasuk pemilik pabrik untuk memperbaiki pemanfaatan produk atau untuk pemulihan kandungan materi dan energi dari produk yang terbuang, serta merubahnya kembali menjadi produk yang memiliki daya manfaat lebih produktif.

Jadi, interpretasi pertama pada konsep siklus atau daur hidup produk hasil kegiatan manufaktur lebih bermakna pada tindakan kerangka kerja untuk membuat kebijakan biaya dan kebijakan perdagangan yang mengapresiasi produk adalah sangat dibutuhkan di masa depan. Interpretasi kedua lebih terfokus kepada upaya-upaya baru manajemen manufaktur hijau pada aspek labelisasi produk yang ramah lingkungan, penentuan dan penetapan standar mutu produk serta evaluasi daya guna produk pada konsumen dan lingkungan.

Terdapat beberapa alternatif perancangan tahapan-tahapan kegiatan proses produksi dan hasil produk barang yang dihasilkan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Perancangan Pemulihan dan Pemanfaatan kembali

a. Perancangan pemulihan material

Untuk dapat memperoleh nilai ekonomi, maka lokasi sumber-sumber material bahan baku harus dipilih sedekat mungkin dengan lokasi pabrik. Tingkat homogenitas, keaslian, dan kemampuan material untuk dapat diproses kembali menjadi produk baru adalah faktor yang sangat penting dalam menentukan nilai-nilai pemulihan material.

Material-material komposit seperti serat karbon yang digunakan untuk pembuatan raket tennis yang saat ini memiliki keunggulan kekuatan sebagai raket tennis berkualitas, ternyata telah menjadi masalah besar bagi lingkungan. Banyak material komposit yang tidak dapat dipasarkan dalam bentuk sederhana dan material asli, yang ternyata di kemudian hari tidak dapat di daur ulang kecuali menjadi limbah pada proses insinerator. Material-material yang dapat didaur ulang saat ini adalah seperti termoplastik, plastik-plastik engineering, kertas, metal, dan gelas. Saat ini teknologi daur ulang dan ilmu material telah berkembang sangat pesat, kondisinya saat ini telah mencapai suatu titik dimana material yang dapat di daur ulang dapat kita temui pada berbagai macam produk barang industri.

Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam menyeleksi material yang ramah lingkungan antara lain meliputi; struktur, estetika dan stabilitas dimensi material yang berkualitas baik.

Secara umum kemampuan daur ulang suatu material sangat tergantung kepada sejumlah faktor:

1. Insentif dan ransangan ekonomi terhadap proses daur ulang material dan eksistensi pasar pengguna produk.
2. Volume, konsentrasi dan tingkat kemurnian material yang dapat dengan mudah untuk dilakukan daur ulang.
3. Eksistensi teknologi daur ulang dan teknologi separasi, serta infrastruktur daur ulang yang cukup memadai.

b. Perancangan pemulihan komponen produk

Pada kasus dimana teknologi produksi secara absolute mampu memproduksi produk barang yang disukai dan dibutuhkan oleh konsumen, maka segala bentuk sistem dapat diperbarui dan dijual tanpa halangan sekecil apapun. Sebagai contoh terdapat pasar sekunder yang sedang berkembang seperti pemasaran mobil dan komputer, jika semua sistem tidak dapat dioperasikan maka prioritas tindakan berikut yang harus dilakukan adalah dengan cara membongkarnya dan mencoba memanfaatkan kembali komponen-komponen produk tersebut yang masih memiliki nilai secara ekonomi dan memiliki nilai secara ekologi.

Pertimbangan penting dalam menentukan nilai akhir hidup (*end of life value*) dari berbagai komponen produk adalah melakukan pengembangan terhadap produk industry yang dapat ditingkatkan nilainya melalui 4 (empat) cara yaitu;

- 1) Merancang komponen-komponen produk yang dapat dipakai ulang untuk tujuan yang mengarah pada sistem manufaktur lingkaran tertutup (*close loop manufacturing*).
- 2) Merancang komponen-komponen produk yang dapat dipakai ulang untuk tujuan-tujuan aplikasi produk sekunder yang secara profesional sesuai dengan generiknya, fleksibel dan memiliki kemampuan untuk diprogramkan secara berkelanjutan.
- 3) Merancang fasilitas pelunturan komponen produk barang atau alat untuk mendegradasikan material produk yang bersifat sulit dihancurkan misalnya; banyaknya chips yang menumpuk menjadi sampah yang sulit dipulihkan karena adanya unsur-unsur timah yang sangat halus.
- 4) Merancang komponen produk barang secara cepat dan dapat segera didiagnosis dampaknya

terhadap lingkungan hidup dan segera dapat diperbaharui bila di kemudian hari menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan hidup.

2. Perancangan Pembongkaran Komponen Produk

a. Fasilitas akses terhadap komponen produk

Tujuan perancangan pembongkaran komponen produk barang adalah untuk menjamin suatu sistem produk barang dapat dibongkar dengan biaya dan tenaga yang minimum. Kemudahan pembongkaran produk barang ataupun kemudahan untuk melakukan separasi terhadap bagian komponen-komponen produk barang merupakan hal yang sangat penting sebagai prasyarat yang diperlukan untuk pertimbangan “akhir hidup” suatu material produk barang guna memudahkan untuk dapat didaur ulang. Demikian pula halnya bila produk barang tersebut menjadi saat menjadi sampah maka dengan mudah material produk barang dapat didekomposisi oleh mikroorganisme dalam tanah, sehingga produk barang industry tidak akan mengganggu lingkungan disaat barang tersebut menjadi sampah.

b. Penyederhanaan bahan perekat

Pembongkaran pada bagian-bagian komponen produk, komponen zat pelarut, dan atau teknologi yang digunakan sebagai penghubung secara langsung dapat mempengaruhi kemudahan dalam mengerjakan pembongkaran bagian komponen produk. Sebagai contoh produk furniture yang menggunakan bahan perekat yang mudah dilepaskan pada saat furniture tersebut hendak dipindahkan ke tempat lain dengan cara melepas lem perekat

komponen furniture, sehingga pada saat dipasang kembali bahan perekat tersebut masih dapat berfungsi dengan baik untuk merekatkan kembali komponen furniture pada saat pemasangan kembali.

Upaya untuk mempercepat proses pembongkaran dan pemasangan kembali suatu proporsi yang besar dari bagian komponen produk adalah:

- 1) Hindari perancangan pegas, puli yang rumit pada mesin yang diproduksi sehingga memudahkan dalam proses-proses pembongkaran produk mesin tersebut di saat melakukan maintenance mesin.
- 2) Minimisasi penggunaan zat perekat antar komponen produk yang mungkin nantinya akan dipisah atau material-material yang sulit dilepas dari komponen lain.
- 3) Gunakan kancing (*snap*) yang cocok guna menggabungkan komponen-komponen yang memiliki sifat mekanik yang sederhana.
- 4) Hindari penguncian baut dan mur yang terlalu ketat karena ini akan meningkatkan biaya dan tenaga untuk pembongkaran produk barang saat dilakukan perawatan dan lain sebagainya.
- 5) Gunakan metode pengikatan alternatif seperti larutan zat perekat atau pengikat yang bersifat ultrasonik. Metode-metode ini dapat diterima sebagai bagian dari bahan yang sama sehingga tidak dapat dipisahkan pada akhir hidup produk barang.
- 6) Klip pegas dapat dipergunakan untuk dapat diperoleh biaya murah dan efektif dalam menggabungkan bagian-bagian material. Kesemua komponen produk barang harus dapat dijamin untuk memberikan kemudahan-kemudahan bagi konsumen bila komponen produk digabung kembali dan atau dibongkar,

serta tidak mengotori orang yang mengerjakannya.

3. Perancangan Minimisasi Limbah

Mereduksi limbah pada sumbernya secara rutin harus dilakukan guna mencegah timbulnya polusi, melakukan reduksi terhadap massa produk sehingga dapat meminimisasi limbah, dan pada akhirnya dapat dicapai biaya-biaya daur hidup yang rendah.

Perancangan reduksi terhadap sumber limbah dapat dilakukan melalui:

- a. Reduksi dimensi ukuran fisik produk barang seminimum mungkin.
- b. Minimumkan berat bahan material substitusi yang dipakai untuk produksi barang.
- c. Rancang sekecil mungkin menggunakan material bahan baku yang tersedia.
- d. Meningkatkan konsentrasi dalam material produk berbentuk cairan.
- e. Reduksi massa bagian komponen-komponen pokok produk barang.
- f. Reduksi berat ataupun kompleksitas sistem pengemasan atau pembungkusan produk barang.
- g. Gunakan sistem dokumentasi secara elektronik dan hindari penggunaan kertas yang terlalu berlebihan.

4. Perancangan Penyederhanaan Produk

Terdapat beberapa cara dalam merancang produk barang yang dapat dilakukan untuk mendapatkan produk barang yang sederhana (*simplification of product*):

- a. Mereduksi kompleksitas (rumit) produk dan penggabungannya dalam desain geometrik dan

spasial hingga sangat sederhananya penggunaan produk barang oleh konsumen.

- b. Mereduksi jumlah bagian-bagian yang nyata tidak kompak dalam suatu desain produk barang.
- c. Merancang bagian-bagian yang bersifat multifungsi dan memberikan suatu variasi tujuan penggunaan produk barang, misalnya menggunakan tipe tunggal alat pengancing pada bagian komponen produk barang yang digabung.
- d. Pemanfaatan bagian-bagian umum pada sejumlah desain produk yang berbeda dan menerapkannya pada model-model produk atau generasi-generasi produk yang akan datang.

5. Perancangan Daya Separasi

Kemampuan material untuk dapat diseparasi sangat menentukan kemampuan suatu desain produk untuk dapat di daur ulang, sehingga sebagai produk yang dirancang untuk “tidak dapat dibongkar” harus dihindari penggunaan zat-zat adhesive dan atau las guna dapat menjamin kemudahan untuk diseparasi secara mudah dan murah.

Setelah dilakukan proses separasi secara lengkap, maka tugas selanjutnya adalah melakukan sortir untuk membedakan kategori material, memberi kode, guna memudahkan proses daur ulang. Tujuannya adalah untuk menekan biaya-biaya yang timbul pada saat proses daur ulang material produk.

6. Menghindari Penggunaan Material Kontaminan

Terdapat sejumlah kontaminan potensial yang tidak dapat secara mudah untuk diseparasi dari produk atau dari bungkus material, misalnya; zat adesif, tinta, label-

label dan staples yang nantinya benda-benda ini dapat mengkontaminasi proses daur ulang material produk. Untuk itu gunakanlah material tinta, label dan lain-lain yang tidak akan mengkontaminasi proses daur ulang produk barang. Karena hal ini dapat meningkatkan ongkos dan menyulitkan pekerjaan daur ulang material produk.

7. Mendesain Pemanfaatan dan Pemulihan Limbah

Limbah akan timbul pada setiap tahapan siklus hidup produk, limbah-limbah yang terbentuk akan saling bergabung pada akhir proses produksi, terkecuali masing-masing limbah ditempatkan secara terpisah sehingga memudahkan dalam proses pemulihan dan atau pemanfaatan kembali (*reuse*) limbah-limbah tersebut menjadi produk barang yang sama.

a. Mendesain limbah insinerasi

Melakukan pemulihan (*recovery*) terhadap material sekecil apapun guna mengkonversi limbah menjadi energi melalui proses insinerasi atau pembakaran pada suhu tinggi. Namun hal ini hanya dapat dipilih karena pertimbangan perspektif lingkungan, dan dalam beberapa kasus perspektif biaya adalah yang paling penting.

Fasilitas-fasilitas pengolahan limbah menjadi energi dapat ditemui di banyak negara, misalnya; limbah perkotaan dapat diolah dengan incinerator menjadi biomasa yang bermanfaat bagi lingkungan, limbah B₃ untuk menghasilkan energy listrik.

b. Perancangan konservasi energi

1) Mereduksi penggunaan energi dalam proses produksi.

Konservasi energi merupakan salah satu pendekatan yang paling banyak digunakan pada kegiatan industri guna mencegah timbulnya polusi, karena konservasi energi lebih mudah digunakan dan secara tidak langsung dapat menghemat biaya produksi secara keseluruhan. Menurut EPA yang mensponsori "*green lights and energy star programs*", menyatakan bahwa; setiap Kwh listrik yang tidak digunakan, akan mampu mencegah timbulnya emisi sebesar 1,5 pounds CO₂, 5,8 grams SO₂, dan 2,5 gram NO₂. sehingga perancangan efisiensi penggunaan energi pada proses produksi merupakan suatu strategi kunci program perancangan ekologi (DfE) industri.

2) Mereduksi penggunaan energi pada proses distribusi produk.

Pada berbagai aspek penggunaan energi, dalam mata rantai proses distribusi produk, misalnya; pada proses pengiriman bahan baku ke pabrik, pengiriman barang dari pabrik ke pengecer, dan pengiriman produk sampai ke konsumen. Setiap langkah distribusi atau pengiriman barang akan menimbulkan biaya yang cukup signifikan besar untuk mengkonsumsi energi; secara ekstrim misalnya; terjadi kehilangan komponen tertentu dari produk sewaktu diangkut oleh kurir untuk mencapai batas waktu penyerahan barang mengakibatkan kehilangan sebagian energi yang tersimpan dalam komponen produk barang yang hilang tersebut. Sehingga dengan demikian melakukan perencanaan yang sempurna dalam

mendisain aktivitas kegiatan industri menjadi suatu hal yang sangat penting dan perlu dalam kerangka pengembangan produk secara terpadu.

Di bawah ini beberapa contoh dapat dijadikan sebagai pedoman dalam upaya meningkatkan efisiensi distribusi barang;

- a) Mereduksi jarak total transportasi untuk setiap produk atau setiap komponen produk, dengan membuat modulasi sesederhana mungkin pengiriman bahan baku produksi dari pemasok dan atau pengiriman produk barang ke konsumen.
 - b) Mereduksi intensitas transportasi bahan baku produksi melalui efisiensi waktu hingga pemanfaatan produk barang dengan biaya pengiriman yang rendah.
 - c) Mereduksi volume pengiriman barang yang diperlukan dengan merancang ulang (*redesign*) produk, besar bungkus, konfigurasi barang yang hemat ruang (*space*).
 - d) Mereduksi temperatur khusus transportasi barang yang memerlukan suhu tertentu (misal angkut ikan basah, daging segar, sayur, buah anggur) yang dipersyaratkan dalam proses pengiriman produk barang.
- 3) Menggunakan energi yang dapat diperbarui (*renewable energy*).

Salah satu pendekatan dalam pembangunan berkelanjutan adalah melakukan substitusi atau pemanfaatan sumber-sumber energi yang dapat diperbarui; seperti pemanfaatan energi sinar matahari dan energi air untuk menggantikan

penggunaan sumber-sumber energi yang tidak dapat diperbarui (*non-renewable energy*) seperti bahan bakar fosil. Pemanfaatan energy yang terdapat pada tanaman biji jarak yang diekstraksi menjadi minyak biodiesel dan biosolar yang dapat menggantikan fungsi bahan bakar solar dan minyak diesel. Pemanfaatan energy gelombang air laut dan energy aliran air sungai, serta energy angin sebagai penggerak generator pembangkit listrik untuk kebutuhan industry yang berdekatan dengan daerah aliran sungai (DAS), daerah pinggir laut atau daerah pesisir.

8. Perancangan Konservasi Material

Merancang produk-produk multi fungsi, multi manfaat melalui eko-efisiensi, yaitu; penggunaan sejumlah material yang sama dapat diperoleh tingkat fungsi yang tinggi. Proporsi yang terbesar secara actual terletak pada masa daur hidup produk barang yang bisa dimanfaatkan merupakan rasio antara nilai produk barang yang dihasilkan terhadap sumber daya yang dikonsumsi sebagai input material produk barang dalam proses produksi. Penggunaan komponen-komponen yang dapat di remanufaktur akan dapat dilakukan konsepsi terhadap material, misalnya; dengan menggosok-gosok (mengkilapkan) kembali produk-produk barang manufaktur yang sudah tua dapat secara cepat diperoleh kembali tingkat kualitas yang sama dengan produk manufaktur yang baru.

9. Perancangan Perpanjangan Usia Pakai Produk

Memperpanjang usia pakai produk akan memberikan nilai ekoefisiensi industry yang tinggi. Guna

mempertahankan keuntungan secara ekonomi bagi pabrikan atau manufaktur, maka dapat dilakukan dengan cara memperpanjang usia pakai produk. Karena hal ini akan memancing minat pembeli untuk membeli produk barang yang hemat material dan energy serta berdaya tahan lama.

Upaya ini dapat ditempuh manufaktur dengan cara; memperbaharui (*up-grading*) komponen-komponen produk barang, dan mendesain sesuatu komponen produk barang baru yang dapat digunakan kembali setelah produk barang menjadi tua atau usang.

10. Perancangan Siklus Tertutup (*closed-loop recycling*)

Memanfaatkan kembali bahan-bahan dan melakukan *re-manufacturing* terhadap komponen-komponen produk melalui pembangunan suatu sistem infrastruktur bersiklus tertutup akan dapat menjamin tingkat keseragaman produk barang ataupun homogenitas produk barang dalam siklus asset perusahaan. Mendisain daur hidup produk barang ataupun material bahan baku bersiklus tertutup dapat dilakukan oleh industry dengan cara sebagai berikut.

- a. Menghindari penggunaan zat-zat yang tidak dikehendaki.

Menghindari penggunaan bahan-bahan yang dapat membahayakan kesehatan dan lingkungan pada proses produksi, seperti; pembatasan penggunaan bahan yang memiliki toksisitas tinggi seperti zat yang mengandung khlor, mengurangi kandungan fosfat pada detergent karena fosfat dapat berikatan dengan zat lain pada air di sungai dan di danau. Dengan menghindari penggunaan zat-zat yang berbahaya dan beracun akan dapat menghindari terjadinya

pencemaran terhadap media air dan makhluk hidup lainnya.

- b. Menghindari penggunaan zat kimia yang dapat mengikis lapisan ozon.
Menghindari penggunaan *chloro-fluoro-carbon* (CFC) pada proses pembuatan produk barang, karena penguapan CFC ke atmosfer dapat mengikis lapisan ozon di stratosfir. Apabila lapisan ozon telah terkikis atau habis maka sinar *ultra-violet* dari matahari dapat secara langsung menyentuh makhluk hidup di bumi dan dapat merusak sel-sel jaringan kulit makhluk hidup.
- c. Menjamin produk yang dapat didegradasi alam.
Merancang suatu produk yang formulasi produknya berkemampuan untuk dapat didegradasi oleh mikroorganisme dalam tanah bila produk tersebut tidak bisa di daur ulang. Apabila suatu produk barang industry dapat didegradasi oleh alam pada saat menjadi limbah, maka akan terjadi siklus material secara alamiah dengan tanpa mengganggu dan merusak alam. Sebagai contoh industry sepatu yang keseluruhan bahan baku produksi menggunakan material yang bersifat biodegradable seperti kulit sapi, maka dapat dipastikan bahwa produk sepatu yang dihasilkan industry dapat larut atau hancur dalam tanah pada saat produk sepatu tersebut telah menjadi sampah.
- d. Menjamin limbah yang berkemampuan untuk dapat dibuang.
Adakalanya suatu limbah hasil produksi sebuah industri tidak ekonomis dimanfaatkan atau di proses kembali menjadi produk barang tertentu. Maka dalam hal ini bentuk fisik dan bahaya zat-zat yang terkandung di dalamnya harus dapat di kontrol guna

menjamin keselamatan dan kesehatan lingkungan serta pembuangan limbah menjadi efisien bagi lingkungan hidup. Limbah yang tidak dapat dibuang diindikasikan sebagai limbah B₃ yang dapat membahayakan ekologi industri dan lingkungan masyarakat serta makhluk hidup lainnya.

11. Perancangan Pencegahan Kecelakaan

Perancangan aspek kesehatan dan keselamatan manusia dan komponen lingkungan hidup lainnya yang dirancang melalui produk dan proses produksi adalah suatu hal yang mutlak harus dilakukan oleh pelaku industry. Keterangan tentang aspek-aspek penting yang terkait dengan lingkungan hidup harus dikemukakan dan ditonjolkan dalam setiap label dan kemasan produk barang industry yang akan dipasarkan ke konsumen. Hal ini dimaksudkan agar produsen, pengecer dan konsumen dapat segera mengetahui dengan jelas potensi bahaya yang terkandung dalam produk barang. Pada label produk harus dijelaskan batas jumlah suatu zat yang secara meyakinkan dapat menimbulkan bahaya dan kecelakaan bagi manusia dan lingkungan hidup, serta penjelasan tentang cara-cara melakukan pencegahan bahaya dan kecelakaan serta menjelaskan bagaimana cara mengatasinya.

Berikut ini adalah contoh-contoh perancangan label petunjuk pemakaian produk yang mengarah pada keamanan produk barang dan keamanan dalam proses produksi;

- a. Menghindari dan menjauhkan material kostik dan material yang mudah terbakar dari pekerja pabrik,
- b. Menyediakan gambar petunjuk penekanan perhatian bagi pekerja pabrik,
- c. Minimisasi potensi kebocoran material B₃,

- d. Menggunakan tanda peringatan dijauhkan dari jangkauan anak-anak jika diperlukan pada label produk barang.
- e. Peringatan terhadap kesalahan penggunaan yang mungkin dapat dilakukan oleh konsumen.

12. Perancangan Sistem Pancuran sumber daya (*resource cascading*)

Salah satu pendekatan yang digunakan dalam mendisain aktivitas lingkungan industry (DfE) adalah memaksimumkan pemanfaatan sumber daya alam yang didasari atas teori "*resource cascading*". *Resource cascading* adalah suatu sistem dalam pemanfaatan sumber daya material dalam aktivitas industry dilakukan secara berkelanjutan seperti pancuran air. Pancuran air pertama kali akan memancarkan air ke permukaan yang paling tinggi dan kemudian air tersebut jatuh dan ditampung oleh suatu penampung, dan bila penampung tersebut penuh air maka air akan jatuh ke bawah dan kemudian ditampung kembali oleh penampung berikutnya dan seterusnya. Maksud pendekatan ini diilustrasikan pada gambar 6 untuk menemukan susunan bagian penggunaan sumber daya, mulai dari bentuk kualitas tinggi sampai ke bentuk kualitas terendah. Aplikasinya pada sistem industry misalnya; pelarut murni digunakan untuk melarutkan lemak pada pabrik elektonik, setelah itu bekas pelarut ini digunakan kembali pada pembersihan metal, setelah itu bekas pelarut tersebut digunakan kembali pada proses pelarutan cat, dan bekas pelarut cat dapat digunakan kembali untuk keperluan lain dalam industry tersebut. Demikian seterusnya penggunaan sumber daya alam seperti pemanfaatan pelarut pelarut murni berubah pemanfaatannya dari kualitas tertinggi menjadi pelarut

kualitas terendah yang masih dapat digunakan pada kegiatan operasi lain dalam lingkungan industry tersebut. Pada pendekatan "*cascading daur tertutup*" misalnya; pada material plastik pertama kali digunakan untuk bagian peralatan kosmetik, setelah itu material plastik tadi digunakan untuk bagian-bagian struktur internal produk tertentu, dan akhirnya material plastik tadi dimanfaatkan untuk pembuatan bagian dasar proses manufaktur sebelum di daur ulang menjadi produk lain. Dengan hukum termodinamika; seluruh material dan energi akan mencapai keadaan seimbang dalam *entropy* maksimum, tetapi *cascade* sumber daya mendorong kita merebut nilai ekonomi sebanyak-banyaknya sebisa mungkin sampai nilainya semakin lama semakin surut.

Manajemen Daur Hidup Material

Pada bagian ini akan dijelaskan konsep dan teknik manajemen daur material terpadu (*integrated life cycle material* = ILCM), dan memberikan ilustrasi bagaimana teknik-teknik ini dapat digunakan oleh para pengusaha industri untuk melakukan kegiatan yang lebih konkrit memperbaiki performa ekonomi dan lingkungan.

Esensi pokok dalam manajemen daur material terpadu secara eksplisit terfokus untuk mewujudkan kebijakan perusahaan industry yang menjadikan performa ekonomi dan lingkungan secara spesifik digunakan dalam mengevaluasi opsi-opsi kebijakan perusahaan manufaktur dalam mengelola daur material sebagai sumber daya manufaktur.

Dalam pelaksanaannya, beberapa anggota manajemen daur material membuat rentang variasi ukuran performa dan tingkatan daur material, namun pada beberapa aplikasi yang sukses akan secara langsung termotivasi oleh satuan spesifikasi sasaran dan kebijakan perusahaan, dan hal ini akan lebih baik dibanding sekedar catatan teori daur hidup.

Pada abad 21 pelaksanaan daur material lebih banyak terfokus kepada manajemen aspek biaya daur material secara menyeluruh yang diasosiasikan pada produk barang, bahan baku, proses dan penggunaan produk barang. Kebijakan manajemen manufaktur hijau diarahkan pada pemilihan produk, rancangan proses, dan atau diantara keduanya, serta mendefinisikan secara spesifik batasan daur hidup. Manajemen daur material menitik beratkan perspektif daur kebijakan perusahaan yang selalu berupaya membuat pendekatan daur hidup namun bukan suatu akhir dari daur hidup. Sehingga pengertian “perspektif daur hidup” adalah “memperbaiki performa ekonomi dan lingkungan”. Untuk

mencapai performa ekonomi dan lingkungan diperlukan “fokus kebijakan perusahaan yang jelas dan tegas sasarannya”. Pendekatan yang umum digunakan oleh manajemen daur material dalam sistem manufaktur meliputi; kebijakan perusahaan yang alami, tujuan dan sasaran usaha manufaktur, definisi dan batasan daur hidup, penentuan ukuran performa daur hidup, serta analisis proses yang menggiring pengambilan kebijakan usaha manufaktur yang efisien dan efektif. Motivasi apa yang dipikirkan oleh para pengusaha industri tentang daur hidup pada saat ini, dan mengapa orientasi kebijakan diarahkan pada pemikiran daur hidup sebagai bagian dari perencanaan dan operasional manufaktur. Sangatlah benar bila di dalam praktik dan proses usaha manufaktur secara simultan dapat dicapai suatu keadaan; meningkatnya kompetisi usaha dan meningkatnya permintaan terhadap produk barang, dengan kondisi kualitas lingkungan yang baik. Meningkatnya kompetisi lokal dan global akan memaksa perusahaan manufaktur untuk mereduksi biaya dan memperbaiki efisiensi. Pola ini terlihat pada industri jasa dan manufaktur yang memiliki teknologi canggih, namun pada waktu yang bersamaan meningkat pula biaya-biaya yang diperlukan untuk membuang limbah, mengontrol emisi, tekanan regulasi yang semakin meningkat, kewajiban memperhatikan harapan orang banyak, serta meningkatnya tuntutan konsumen terhadap kualitas lingkungan. Perusahaan harus secara cepat merubah perhatiannya terhadap masalah-masalah lingkungan dari bentuk reaktif menjadi proaktif, dengan tujuan untuk merealisasikan secara konkrit keuntungan-keuntungan yang akan diperoleh konsumen, perusahaan, karyawan, pemegang saham, dan *stakeholder* lainnya.

Dengan motivasi biaya dan keprihatinan terhadap kualitas lingkungan, maka beberapa metode dan teknik telah dikembangkan untuk mencari suatu konsep sederhana dan intuitif mengenai “daur hidup” suatu produk. Salah satu metode yaitu metode pembiayaan daur hidup (*life-cycle costing* = LCC) yang secara luas telah dipakai oleh beberapa

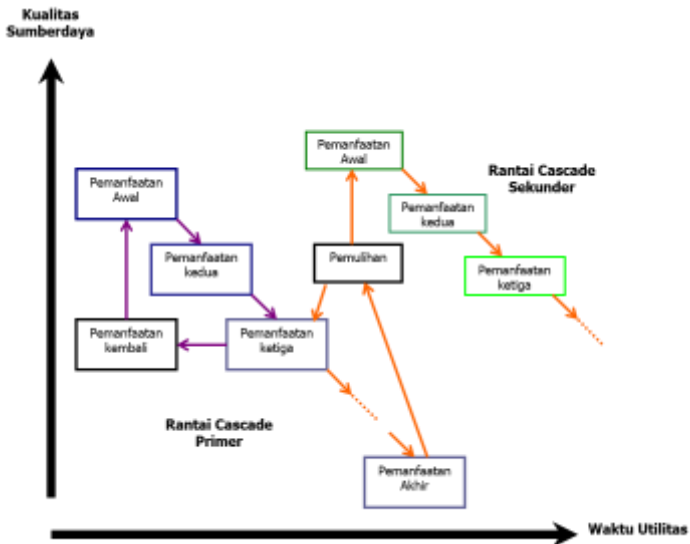
industri modern, pertimbangan langsung terhadap biaya operasional produksi, pemanfaatan produk dan perawatan produk, serta memperhitungkan biaya-biaya lingkungan dalam pengambilan sumber daya alam. Teknik lain adalah (*life-cycle assessment* = LCA) yang berfungsi untuk menilai dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh keseluruhan aktivitas daur hidup produk secara penuh mulai “dari ayunan ke kuburan” (*from cradle to grave*). Bila pendekatan daur hidup telah menjadi sesuatu yang dapat dirasakan manfaatnya oleh usaha industri, pendekatan tersebut dapat secara nyata memberikan nilai tambah pada lingkungan usaha yang kompetitif.

Kita harus percaya bahwa keberhasilan dalam melaksanakan pendekatan daur hidup harus memberikan kesempatan kepada perusahaan manufaktur untuk secara eksplisit mempertimbangkan aspek biaya dan dimensi lingkungan yang digunakannya dalam pengambilan kebijakan usaha manufaktur. Adalah sama pentingnya bahwa pendekatan daur hidup harus dimotivasi oleh kebijakan bisnis dan tujuan bisnis yang memiliki nilai-nilai praktis dan ekonomis dalam berbisnis. Tentunya setiap perusahaan manufaktur membutuhkan suatu pendekatan daur hidup yang fleksibel dan dapat disesuaikan dengan bentuk bisnis yang spesifik dan lingkungan perusahaan. Pendekatan yang digunakan harus bisa membantu perusahaan untuk secara efisien menggabungkan informasi daur hidup secara tepat dan dapat menunjang kebijakan bisnis. Perusahaan-perusahaan yang mengadopsi pendekatan yang berpotensi untuk merealisasikan keuntungan-keuntungan ekonomi yang signifikan melalui reduksi biaya ataupun dengan meningkatkan nilai produk dan jasa, maka secara simultan akan dapat memperbaiki performa lingkungan.

Terdapat 4 (empat) prinsip dasar yang berasosiasi membentuk prinsip “*cascading*” atau pancuran sumber daya yaitu;

1. Kepatutan atau kepantasan; prinsip pemanfaatan cadangan sumber daya yang berkualitas tinggi dapat digunakan pada pemanfaatan produk barang yang paling banyak dibutuhkan konsumen.
2. Peningkatan daya manfaat dan pemanfaatan sumber daya melalui perpanjangan waktu utilitas dan mencegah penurunan kualitas sumber daya alam yang dipakai oleh manufaktur sebagai bahan baku produksi. Salah satu contoh peningkatan pemanfaatan material sumber daya alam melalui proses regenerasi material sumber daya alam itu sendiri.
3. Menghubungkan kembali (*relinking*); prinsip untuk pemanfaatan hubungan konservasi terhadap matarantai *cascade* dan mengupayakan pengangkatan sumber daya ke matarantai *cascade* kedua dimana pemanfaatannya dapat lebih besar misalnya; menggunakan kembali limbah produksi menjadi bahan baku pada proses produksi yang berbeda.
4. Keberlanjutan (*sustainability*); prinsip yang dapat menjamin arus konsumsi sumber daya yang seimbang dengan arus regenerasi sumber daya alam.

Keberlanjutan ketersediaan dan penggunaan sumber daya alam sebagai bahan baku manufaktur harus dapat dijamin oleh manajemen ekologi industry. Misalnya operasional manufaktur hendaknya memperhitungkan dan mempertimbangkan factor kontinuitas atau keberlanjutan ketersediaan bahan baku untuk menopang keberlanjutan aktivitas kegiatan usaha manufaktur. Jadi, dalam prinsip ini kegiatan manufaktur yang keberlanjutan harus dapat memperhatikan ketersediaan bahan baku di lingkungannya meskipun letak lokasi material bahan baku tidak berdekatan langsung dengan lokasi manufaktur.



Gambar 6. Cascading Pemanfaatan Sumber Daya Alam Pada Kegiatan Manufaktur

Contoh yang dapat dilakukan dalam upaya memaksimalkan utilitas sumber daya atau material bahan baku manufaktur adalah sebagai berikut:

1. Merintangikan dan atau mencegah penurunan kualitas material bahan baku misalnya; menambahkan bahan pengawet pada material bahan baku yang mudah membusuk.
2. Penambahan material suplement terhadap kualitas material yang hilang misalnya; dengan penambahan zat kimia tertentu akan dapat diperoleh peningkatan kualitas produk barang.

3. Meningkatkan intensitas penggunaan produk barang sehingga produk barang dapat lebih berdaya guna.
4. Memperbaiki durabilitas produk barang misalnya melapisi produk barang dengan suatu bahan pelindung sehingga produk barang menjadi lebih tahan lama.
5. Pemisahan suatu zat ke sumber-sumber dasar misalnya melakukan penyaringan terhadap pelarut bekas, sehingga pelarut bekas dapat dimanfaatkan kembali seperti semula.
6. Mengumpulkan kembali bahan-bahan yang tercecer di lantai misalnya dengan melakukan reklamasi terhadap zat kimia kadmium dari produk baterai yang tercecer di lantai.
7. Regenerasi terhadap kualitas material dan produk misalnya melakukan transformasi termal pada sistem utilitas manufaktur, sehingga pabrik dapat memproduksi dengan baik dan menghasilkan produk yang berkualitas sepanjang waktu.

Manajemen Daur Material Terpadu (ILCM)

Program manajemen daur hidup material yang terpadu atau ILCM (*integrated life cycle management*) dapat disesuaikan dengan kebijakan dan tujuan bisnis perusahaan manufaktur hingga dapat dijaga dan dipelihara perspektif dasar daur hidup produk yang dihasilkan. Pendekatan yang digunakan untuk mewujudkan manajemen daur material secara terpadu (ILCM) dalam aktivitas, tujuan dan strategi perusahaan manufaktur adalah fokus kebijakan usaha yang lebih spesifik.

1. Menggunakan ILCM untuk tujuan bisnis

ILCM adalah suatu kerangka kerja daur hidup yang bersifat komprehensif dan fleksibel dalam membuat perencanaan dan perancangan kebijakan operasional perusahaan yang secara eksplisit mempertimbangkan aspek biaya, aspek lingkungan, aspek kesehatan, dan aspek keselamatan. Tidak seperti halnya pendekatan daur hidup material, ILCM memfokuskan diri pada aspek manajerial pengambilan kebijakan perusahaan secara terpadu untuk mewujudkan tujuan perusahaan.

Tiga faktor kunci dalam manajemen daur material terpadu (ILCM) yaitu:

- a. Batas daur hidup; yaitu batas daur hidup yang didefinisikan secara konsisten antara tujuan perusahaan dan kondisi alam lingkungan. Jika terdapat konsistensi maka batas daur hidup harus didefinisikan secara luas mencakup tahapan "*cradle to grave*" pada produk dan proses produksi. Alternatif lain; batas daur hidup harus didefinisikan lebih tajam termasuk tahapan-tahapan yang dapat dikontrol oleh perusahaan dan seluruh tahapan yang menghasilkan biaya dan dampak yang minimal terhadap perusahaan. Kata kunci konsep ini adalah "tidak satupun yang benar atas definisi daur hidup".
- b. Ukuran dan nilai; yaitu dampak dan biaya dapat diukur dalam variabel dampak kegiatan perusahaan yang mempertimbangkan ukuran volume limbah, emisi udara, penggunaan energi, dan risiko kesehatan lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh kegiatan perusahaan. Satu alternatif ukuran yang mungkin dapat meningkatkan biaya, tetapi menghasilkan limbah yang kecil dibanding alternatif lain. Sedangkan alternatif lain bisa menghasilkan biaya rendah namun dengan volume limbah yang

besar hingga dapat membahayakan lingkungan atau kesehatan.

- c. Alternatif; yaitu menggunakan suatu kebijakan yang berorientasi pada proses daur hidup yang diyakini menghasilkan kebijakan yang nyata. Misalnya; suatu perusahaan ingin meminimumkan dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan, maka pengambil kebijakan dapat memilih batas daur hidup mulai dari suplai awal material, proses manufaktur, sampai pada dampak akhir limbah dan emisi yang dihasilkan pabrik. Demikian pula dengan dimensi lingkungan seperti volume limbah sehingga dapat ditetapkan langkah-langkah untuk mereduksi dampak lingkungan.

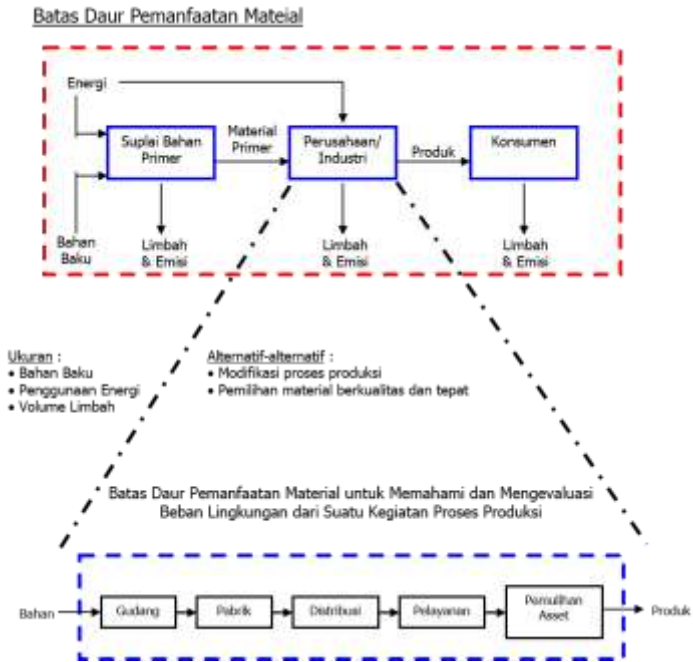
2. Mewujudkan ICLM

Berikut ini digambarkan bagaimana cara mewujudkan manajemen daur material secara terpadu (ILCM) pada suatu kegiatan manufaktur yang memiliki sasaran spesifik dengan memperhatikan aspek daur hidup, batas dan ukuran daur hidup material produksi, yaitu:

- a. Mewujudkan ILCM dengan tujuan untuk mengevaluasi beban lingkungan dari suatu produk yang dihasilkan. Untuk menyesuaikan tujuan penilaian daur hidup (LCA) yang secara eksplisit difokuskan pada kebijakan perusahaan dan konsisten dengan standar teknik LCA, maka perusahaan harus menggunakan daur hidup menyeluruh menggunakan metode "*cradle to grave*".
- b. Mewujudkan ILCM dengan tujuan untuk membuat kebijakan operasi dan pengadaan bahan yang didasari pada biaya keseluruhan kegiatan

perusahaan, fokusnya adalah untuk menentukan biaya daur hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan material dan produk selama proses produksi. Hal ini disebut sebagai manajemen biaya daur hidup (*life cycle cost management = LCCM*).

- c. Mewujudkan ILCM dengan tujuan untuk menentukan biaya *recovery* pada konsumen; penjualan dengan harga tinggi dibanding harga kompetitor, tetapi biaya yang ditimbulkan adalah rendah pada aspek pengadaan barang. Misalnya; penggunaan energi yang efisien tetapi harga pembeliannya tinggi.
- d. Mewujudkan ILCM dengan tujuan untuk mendisain produk yang ekoefisien tanpa mengkompromikan aspek biaya, kualitas, dan hambatan jadwal. Dalam merancang produk ekoefisien, tim perancang harus mempertimbangkan aspek biaya dan dampak lingkungan untuk setiap daur hidup yang berbeda. Dalam LCA yang sama, tim perancang yang mengaplikasikan DfE harus pula mempertimbangkan tekanan-tekanan terhadap lingkungan bagi produk-produk yang *cradle to life cycle* seperti diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 7. Batas Daur Hidup yang Menimbulkan Biaya

3. Manajemen Biaya Daur Hidup (LCCM)

Tujuan Utama LCCM adalah untuk menghemat biaya melalui kebijakan pengadaan material bahan baku, proses produksi, perawatan bahan dan produk barang yang didasarkan atas biaya daur hidup. Manajemen biaya daur hidup material secara eksplisit meliputi biaya lingkungan hidup, biaya kesehatan dan keselamatan manusia dan makhluk hidup lainnya yang terkena dampak akibat pembuatan suatu produk barang. Aktivitas pengelolaan biaya daur hidup material meliputi

aspek; biaya yang timbul dari aktivitas pemilihan dan penggunaan material bahan baku produksi, biaya yang timbul dari setiap kegiatan mendesain dan desain produk, biaya proses produksi, biaya pengelolaan dan pengolahan limbah.

Tujuan Kedua LCCM adalah untuk mencegah timbulnya polusi, mereduksi intensitas penggunaan bahan serta minimasi limbah.

4. Unsur-unsur Biaya Daur Hidup

Elemen-elemen biaya apa saja yang harus diperhitungkan dalam biaya-biaya daur hidup atau biaya yang timbul akibat adanya daur hidup yang berasosiasi dengan produk barang, biaya yang berasosiasi dengan material bahan baku, biaya daur yang berasosiasi dengan proses produksi atau sistem industry. Sejak daur hidup suatu produk atau material mulai dievaluasi sampai pada produk barang dapat dipergunakan konsumen, yaitu biaya penggunaan produk, pembelian zat-zat, pengadaan peralatan, sampai dengan biaya untuk membuang residu, maka setiap tahapan kegiatan tersebut pasti menimbulkan biaya.

Jadi, biaya daur hidup = biaya akuisisi + biaya pemanfaatan + biaya pembuangan limbah + biaya setelah pembuangan limbah.

Masing-masing kategori biaya tersebut di atas hendaknya diorganisir sesuai komponen-komponen biaya yang meliputi:

- a. Biaya langsung; misalnya biaya untuk pengadaan material bahan baku produksi
- b. Biaya tak langsung; misalnya biaya perizinan, biaya pelatihan karyawan, biaya untuk jasa hukum, biaya gudang produk barang dan material bahan baku.

- c. Biaya tak pasti; misalnya harga dolar yang naik turun, adanya regulasi-regulasi baru, biaya yang timbul oleh adanya kecelakaan kerja, biaya yang timbul akibat adanya bencana alam dan lain sebagainya.
- d. Biaya sosial; yaitu biaya yang ditimbulkan oleh dampak kegiatan manufaktur terhadap lingkungan sosial, seperti; biaya pemulihan lingkungan, biaya kesehatan yang dibayar oleh masyarakat di sekitar industri akibat terkena dampak kegiatan industri serta biaya dampak penggunaan produk barang yang salah rancang atau salah desain, dan lain sebagainya.

Kerangka kerja proses pengelolaan biaya-biaya daur hidup meliputi:

- a. Identifikasikan masalah, peluang, tantangan dan kebijakan yang akan diterapkan oleh perusahaan industri.
 - b. Melakukan analisis terhadap biaya daur hidup untuk tiap kebijakan yang telah teridentifikasi.
 - c. Menetapkan metode analisis yang cocok.
 - d. Membuat estimasi biaya yang mungkin timbul.
 - e. mengkalkulasikan seluruh biaya yang akan muncul.
 - f. Melakukan evaluasi terhadap hasil pengelolaan biaya daur hidup.
 - g. Membuat rekomendasi untuk kebijakan dan implementasi hasil yang menjadi pilihan.
5. Implementasi LCCM
- a. Melakukan identifikasikan terhadap peluang-peluang yang mungkin ada untuk perbaikan dan minimumkan biaya.
 - b. Membuat estimasi biaya daur hidup secara efisien.

- c. Melakukan modifikasi proses-proses bisnis untuk memfasilitasikan manajemen biaya daur hidup.
- d. Mengelola biaya daur hidup sampai tercapai pencegahan timbulnya polusi dan pencemaran lingkungan.

Manajemen daur hidup terpadu (ILCM) merupakan suatu pendekatan praktis yang bersifat komprehensif guna memikirkan dan melaksanakan proses daur hidup dalam pengambilan kebijakan usaha. LCCM adalah tindakan yang sangat logis dilakukan di masa depan untuk mencapai visi keseluruhan manajemen daur hidup. Meskipun perwujudan LCCM masih harus dimotivasi dengan tindakan pencegahan timbulnya polusi dan upaya mereduksi limbah, namun pendekatan ini dapat digunakan secara utuh guna mencegah polusi dan pencemaran lingkungan hidup.

LCCM juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menilai peluang-peluang untuk menghemat biaya, menciptakan proses-proses produksi yang efisien dan efektif, mengurangi biaya perawatan yang diperlukan, memperoleh peralatan yang tahan lama, serta pengadaan material bahan baku produksi secara efisien.

Organisasi Perancangan Lingkungan

Perancangan lingkungan industri (*design for environment* = DfE) dijadikan salah satu aspek manajemen manufaktur hijau yang mengkaji komponen lingkungan hidup, elemen kesehatan lingkungan dan masyarakat serta aspek keselamatan (*environment health and safety* = EH&S). Pada manajemen organisasi tradisional, manajemen EH&S secara historis sulit ditemukan posisi struktural yang efektif dalam manajemen perusahaan bisnis karena diperlukan kombinasi pelaksanaan secara otonomi, obyektivitas, dan mencermati detail operasional pabrik.

Beberapa perusahaan yang sukses melaksanakan DfE diantaranya adalah perusahaan Xerox, Hewlett-Packard (HP), AT&T, Levi-Strauss, dan IBM.

1. Memulai dengan Prinsip-prinsip Organisasi

Design for Environment (DfE) adalah kajian terhadap manajemen teknologi lingkungan yang bertujuan untuk menampung saran dan mengkaji saran serta pertimbangan-pertimbangan aspek internal dan eksternal organisasi perusahaan manufaktur dalam kelestarian sumber daya alam dan lingkungan hidup.

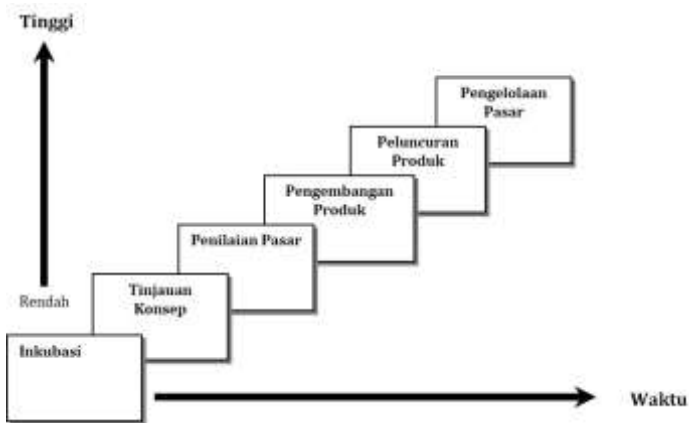
Manajemen teknologi secara spesifik memiliki strategi dalam organisasi dan kegiatan operasi, R&D (*research and development*), pengembangan produk serta alih teknologi untuk menopang rekayasa perusahaan manufaktur. Karena organisasi harus mengikuti strategi, maka DfE dalam perusahaan harus pula merefleksikan gambaran esensi mengenai manajemen teknologi seperti; manajemen produksi serta keseluruhan strategi bisnis perusahaan industri. Masalah utama yang harus dikemukakan adalah; kearah mana DfE digunakan, dan teknologi apa yang ingin diterapkan. Klarifikasi terhadap

masalah ini penting dikemukakan pada pertemuan anggota manajemen manufaktur mengingat konsep DfE mencakup aktivitas-aktivitas yang sangat luas. Konsepsi DfE yang digunakan dalam pengembangan produk manufaktur mensyaratkan aktivitas yang berbeda-beda dan lebih terfokus dibanding sebelum adanya inisiatif kerjasama anggota manajemen manufaktur dalam DfE. Sejarah manufaktur menunjukkan adanya tiga tipe pengembangan produk dalam DfE yaitu; 1) memproteksi produk jadi yang sudah ada, 2) memperbesar arus produk dengan potensi pertumbuhan yang tinggi, dan 3) melakukan promosi produk-produk baru.

Manufaktur kerangka pesawat terbang misalnya, produk ini memiliki daur hidup yang sangat panjang dan mereka mempromosikan produk barunya sekali dalam 10 tahun atau 20 tahun. Dengan cara yang sama kaitan kajian DfE dengan arus investasi rendah dapat terjadi pada jenis industry tertentu, dan DfE berpotensi untuk memperbaiki pangsa pasar. Produk yang berorientasi pada DfE memiliki kelompok pengembang meliputi; proteksi terhadap eksistensi produk, peremajaan produk, dan memperbarui produk-produk yang akan dipromosikan. Untuk suksesnya hasil pelaksanaan kajian DfE maka organisasi harus bisa meniru aktivitas dan kecepatan organisasi dalam mengembangkan produk, serta mempercepat sampai produk ke konsumen.

2. DfE pada Proses Pengembangan Produk

Secara spesifik terdapat enam tahapan proses pengembangan produk yang dikaitkan dengan program perlindungan lingkungan hidup seperti digambarkan pada gambar berikut ini.



Gambar 8. Tahapan Perancangan Pengembangan Produk

Dari gambar tersebut di atas dapat dijelaskan mengenai tahapan perancangan pengembangan suatu produk manufaktur sebagai berikut:

- a. Inkubasi adalah tahapan proses kontinyu yang terjadi pada bidang teknologi proses manufaktur yang tidak memiliki organisasi formal, dan produk yang dihasilkan tidak memiliki pasar atau produk yang dihasilkan tidak dibutuhkan pasar. Kemampuan teknologi yang ada harus dapat dinilai guna menstimulir inovasi dan ide-ide baru yang mengedepankan teknologi ramah lingkungan. Setiap anggota tim perancang pengembangan produk harus mampu bertanggungjawab terhadap disain lingkungan (DfE). Pendekatan ini membantu anggota DfE menjadi bagian yang integral dari keseluruhan proses pengembangan produk yang hendak dihasilkan oleh perusahaan manufaktur dengan memperhatikan keselamatan lingkungan hidup.

- b. Tinjauan Konsep adalah tahapan kegiatan yang mengadakan pemeriksaan terhadap konsep-konsep baru atau gagasan baru perlindungan lingkungan hidup untuk diintroduksi menjadi andalan utama pengembangan produk. Tujuannya adalah untuk memeriksa konsep gagasan yang disampaikan apakah telah cocok dengan strategi yang dipersyaratkan oleh manajemen manufaktur hijau. Tinjauan konsep baru secara spesifik harus dilakukan untuk merespon pengenalan konsep baru yang akan dijadikan produk andalan utama. Tinjauan konsep tersebut paling tidak harus dibahas oleh para manajer diantaranya manajer produksi, manajer bisnis, manajer mutu, dan manajer pengelola lingkungan hidup.
- c. Penilaian terhadap kondisi pasar adalah tahapan untuk membantu mengidentifikasi pasar secara spesifik, kebutuhan-kebutuhan pasar dan kebutuhan pelanggan bagi produk yang ditawarkan. DfE harus dapat mengendalikan pelanggan, tim secara bersama-sama untuk menilai dan mengintrodusir kebijakan DfE kepada masyarakat.
- d. Tahapan kegiatan pengembangan adalah tahapan konstruksi aktual dan menguji produk-produk prakomersial. Tahapan ini difokuskan pada peningkatan performa produk yang ramah lingkungan dan spesifikasinya, kemampuan pabrik, dan pertimbangan dalam mendisain lingkungan (DfE).
- e. Tahap kegiatan peluncuran produk (*product launching*) memerlukan banyak aktivitas dan kegiatan serta keterlibatan sejumlah aktor manajerial yang terkait. Pada tahap ini organisasi DfE harus melakukan pemeriksaan dan sokongan pada tim untuk dapat memodifikasi produk pasca

komersialisasi produk yang mengarah pada perlindungan lingkungan hidup.

- f. Tahap kegiatan manajemen produksi adalah tahapan berjalannya aktivitas kehidupan manufaktur secara harmonis dengan komponen lingkungan hidup menghasilkan produk secara komersial mulai dari pasokan bahan baku, proses produksi dan pengemasan, transportasi dan distribusi produk ke konsumen.

3. Mengorganisir komponen ekologi

Komponen ekologi manufaktur hijau secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) komponen dasar yaitu komponen ekologi alami, komponen ekologi sosial-ekonomi dan komponen ekologi buatan.

Ekologi alami dalam lingkungan manufaktur meliputi air, udara dan tanah yang ada di lingkungan industry ataupun yang dimanfaatkan oleh manufaktur untuk kegiatan produksi. Ekologi social-ekonomi adalah meliputi aspek social-ekonomi masyarakat di dalam manufaktur atau masyarakat pekerja-karyawan yang terlibat langsung dengan kegiatan manufaktur maupun masyarakat yang berdomisili di sekitar lokasi industry. Sedangkan ekologi buatan adalah komponen lingkungan buatan yang terdapat dalam lingkungan kawasan manufaktur seperti; gedung pabrik dan fasilitasnya, mesin produksi dan fasilitasnya.

Mengorganisir komponen ekologi manufaktur hijau yang terdiri atas ekologi alami, ekologi sosial-ekonomi dan ekologi buatan dapat dirancang sedemikian rupa hingga seluruh komponen ekologi tersebut dapat saling berinteraksi membentuk kondisi yang seimbang, harmonis selaras, saling ketergantungan satu sama lain,

saling menghasilkan manfaat secara berkelanjutan. Dalam merancang lingkungan manufaktur untuk dapat menghasilkan produk barang secara berkelanjutan (*sustainable*) hendaknya memperhatikan keberadaan komponen ekologi alami sebagai penyedia sumber bahan baku (sebagai fungsi daya dukung lingkungan) dan sebagai penampung produk limbah kegiatan manufaktur (sebagai fungsi daya tampung lingkungan). Kedua fungsi ekologi alami sebagai fungsi daya dukung dan daya tampung ekologi harus dirancang sedemikian rupa hingga mencapai keseimbangan yang berkelanjutan. Artinya, industry yang mengambil bahan baku dari alam harus mempertimbangkan kemampuan alam untuk dapat menghasilkan sumber daya bahan baku secara berkelanjutan.

Disamping itu pula harus mempertimbangkan kemampuan alam untuk menerima produk dan menampung limbah yang dihasilkan oleh industry secara berkelanjutan pula. Perancangan komponen ekologi sosial-ekonomi, maka manajemen manufaktur hijau harus dapat mempertimbangkan kemampuan ekologi sosial yang ada di sekitar lokasi manufaktur untuk menopang keberlanjutan manufaktur, misalnya; bagaimana upaya manajemen untuk dapat menampung dan memenuhi aspirasi masyarakat terhadap aktivitas manufaktur. Hingga pada akhirnya komponen ekologi sosial dapat mendukung kegiatan dan keberadaan industry di tengah masyarakat, serta masyarakat dapat dapat memperoleh keuntungan ekonomi atas keberadaan industri yang dirancang.

Komponen ekologi buatan baik bangunan industry maupun bangunan fisik lainnya yang terdapat di sekitar manufaktur termasuk infrastruktur, harus dapat dirancang sedemikian rupa hingga dapat diciptakan suatu keadaan yang tidak melanggar tata-ruang. Hasil

perancangan ekologi buatan yang dapat menjaga kualitas lingkungan udara yang tetap bersih, jumlah dan jenis vegetasi dari hasil rekayasa lansekap yang mampu memberikan nuansa alami di dalam lingkungan industri, serta ekologi buatan seperti mesin dan alat produksi yang bersifat ergonomis, ramah lingkungan, kegiatan pengoperasian manufaktur menghasilkan limbah dan polutan yang minimum.

Sumber Daya Alam untuk Manufaktur

Konsep pemanfaatan sumber daya alam (SDA) dalam bentuk *renewable material (resources) and renewable energy* menuju keberlanjutan manufaktur pada dasarnya mengacu kepada sifat ketersediaan sumber daya alam itu sendiri. Terdapat 2 (dua) sifat mendasar yang umumnya kita temui pada setiap sumber daya alam yang digunakan oleh manufaktur dalam setiap kegiatannya yaitu:

1. SDA habis pakai (*non renewable resources*); yaitu SDA yang penggunaannya secara terus menerus, sementara ketersediaannya makin lama makin berkurang (*depletion*); atau SDA yang proses regenerasinya jauh lebih lama dibanding proses penggunaannya dan atau pemanfaatannya. Contoh SDA habis pakai yaitu sumber daya alam tak terbarukan (*non renewable resources*); batubara dan bahan bakar fosil.
2. SDA tidak habis pakai (*sustainable resources / renewable resources*); yaitu SDA yang ketersediaannya selalu ada dan tidak pernah habis terpakai. Contoh SDA tak habis pakai atau sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*) adalah; energi matahari, angin, air, tanah, udara, vegetasi, hewan, dan manusia.

Contoh SDA terbarukan yang digunakan oleh kegiatan industri manufaktur sebagai bahan baku produksi antara lain adalah:

1. Air yang digunakan oleh industri “minuman” dijadikan sebagai bahan baku utama, karena air di bumi alam semesta jumlahnya tidak berubah dan konstan jumlahnya, serta tidak pula susut jumlahnya apabila dipakai sebagai bahan baku produksi industri minuman.

2. Udara yang digunakan oleh industri “air liquid” yang menghasilkan Nitrogen untuk bahan baku industri pupuk dan berbagai industri manufaktur lainnya; karbon dioksida yang digunakan sebagai bahan baku pembantu untuk pembuatan minuman bersoda atau berkarbon, dan lain sebagainya.
3. Ikan yang digunakan oleh industri makanan ikan kaleng
4. Vegetasi yang digunakan oleh industri minyak sawit; industri blueband/margarine/mentega; minyak goreng; industri bahan bakar biodiesel; dsb
5. Susu Sapi yang digunakan oleh industri makanan dan minuman yang mengandung bakteri; susu; makanan yang terbuat dari susu, industri makanan dan minuman yang mengandung protein hewani.
6. Kedelai yang digunakan oleh industri makanan dan minuman yang mengandung protein nabati, dan lain sebagainya.
7. Kayu pinus yang digunakan oleh industri pembuatan kertas dan industri koran, dan lain sebagainya

Contoh SDA terbarukan berupa sumber daya energi yang terbarukan (*renewable energy*) yang digunakan oleh kegiatan industri manufaktur sebagai energi penggerak proses produksi antara lain adalah:

1. Sumber daya alam **Matahari** adalah energi yang diperoleh dari energi matahari secara langsung menggunakan teknologi solar cells yang dapat digunakan oleh industri sebagai penerangan, pemanas bahan baku, pengering material dan lain sebagainya.
2. Sumber daya alam **Aliran Air** adalah energi yang diperoleh dari energi aliran air dari “PLTA” (pembangkit listrik tenaga air) menggunakan menggunakan teknologi kincir air.
3. Sumber daya alam **Angin** adalah energi yang diperoleh dari energi gerakan angin atau berupa kincir angin yang menggunakan teknologi kincir angin.

4. Sumber daya alam **Panas Bumi** (geotermal) adalah energi listrik yang diperoleh dari energi atau panas uap air dari dalam perut bumi.
5. Sumber daya alam **Gelombang Laut** adalah energi yang diperoleh dari energi atau gerakan ombak laut.

Fiksel (1996:501), mendefinisikan kata *renewable resource* sebagai sumber alam yang dapat diperbarui seperti tenaga angin, sesuatu yang dapat diganti, diregenerasi, atau sesuatu yang dapat disimpan selama ia digunakan.

Adapun indikator sumber daya alam terbarukan (*renewable resource*) menurut Enger (1997:144) adalah:

1. Sumber daya yang tidak pernah habis dipakai
2. Dapat diperbarui dengan tersedianya sumber pengganti
3. Dapat diperbarui dengan cara regenerasi
4. Dapat diperbarui dengan cara menambah cadangan/persediaan secara alami ataupun dengan bantuan teknologi

Sehingga, ukuran *non-renewable energy resources* adalah kecepatan penggunaan energi lebih cepat dari pada proses memproduksi energi itu sendiri.

Ukuran sumber daya alam “Terbarukan” antara lain adalah:

1. Kecepatan pengambilan SDA melebihi kecepatan pulihnya ketersediaan SDA itu sendiri. maka *statement* ini adalah sama dengan “tidak terbarukan”.
2. Usia manusia hanya maksimum 100 tahun, maka ukuran “terbarukan” adalah: apabila SDA (bahan baku) yang dipakai oleh *manufacture* menghasilkan produk yang tahan lama atau berusia >100 tahun.
3. Kecepatan tumbuh/berkembangnya/pulihnya SDA (bahan baku) lebih cepat dibanding kecepatan penggunaan atau pemanfaatannya oleh *manufacture*.

Karakteristik Ekosistem Alamiah yang Diadopsi oleh Kegiatan Manufaktur

Karakteristik ekosistem alamiah yang dapat diadopsi oleh kegiatan industri atau manufaktur menurut Lowe (1996) antara lain adalah:

1. Bahwa, "ekosistem" tidak mengenal adanya limbah, dalam pengertian sebagai sesuatu yang tidak dapat dimanfaatkan kembali bagi kehidupan sistem tersebut, dan nutrien yang dibutuhkan oleh suatu spesies dihasilkan oleh spesies lainnya tanpa ada yang terbuang;
2. Bagian yang terbesar dari aliran energi dikonsumsi oleh proses dekomposisi guna mendaur ulang limbah yang dimanfaatkan kembali bagi kehidupan ekosistem;
3. Bahan beracun tidak tersimpan atau dipindahkan pada skala ekosistem dalam jumlah yang besar, akan tetapi disintesis dan dimanfaatkan kembali oleh spesies sesuai dengan kebutuhan individualnya;
4. Materi dan nutrien disirkulasikan secara terus menerus dan ditransformasikan secara sempurna, sistem digerakkan oleh energi matahari dan dalam perjalanan waktu menyimpannya dalam bentuk bahan bakar fosil;
5. Ekosistem bersifat dinamis, dan determinasi pelaku ekosistem adalah dalam pengertian suatu proses;
6. Dalam ekosistem dimungkinkan aktivitas spesies secara independen, namun tetap berada dalam pola aktivitas spesies secara keseluruhan, serta kerjasama dan kompetisi berlangsung dalam suatu keseimbangan;
7. Setiap komponen ekosistem mempunyai fungsi ganda setara dengan tingkat keterkaitannya dengan komponen lainnya;
8. Relung ekologi setiap komponen dalam sistem identik dengan total keterkaitan yang bersangkutan dengan komponen lainnya, serta mencerminkan prasyarat fisik, kimiawi, dan biologi yang dibutuhkan untuk

melangsungkan kehidupan dan reproduksinya dalam ekosistem.

Pada saat ini terdapat kecenderungan aplikasi teknologi manufaktur yang mengarah pada sistem industri manufaktur bermodel siklus tertutup yang pada intinya mengarah pada sasaran pembangunan manufaktur yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan (Graedel & Allenby, 1995:21-22).

Sasaran pembangunan manufaktur tersebut diantaranya adalah melakukan kegiatan-kegiatan;

1. Penghematan pemakaian bahan baku (*dematerialization*);
2. Substitusi materi bahan melalui penggunaan bahan baku yang lebih bersahabat lingkungan (*more environmentally suitable materials*);
3. Perbaikan pola pemanfaatan intensitas energi dan waktu melalui metode dekarbonisasi dan mereduksi penggunaan energi, artinya; bahwa dengan menurunkan intensitas energi akan berimplikasi pada penurunan polutan secara signifikan;
4. Sebagai agen perubahan menjadi sistem ekologi manufaktur, menggunakan sistem komputerisasi teknologi dan informasi untuk memonitor seluruh operasi teknologi guna meyakinkan prinsip-prinsip ekologi industri dapat diterapkan dalam rancangan, dan mencegah terjadinya kebocoran-kebocoran dan mencegah arus material yang tidak perlu; dan
5. Ekologi manufaktur yang dapat memberikan implikasi optimalisasi pemanfaatan bahan, biaya dan interaksi industri manufaktur dan lingkungan.

Program minimisasi limbah dan pencemaran yang dapat diwujudkan pada kegiatan industri manufaktur antara lain adalah:

1. Mereduksi limbah pada sumber secara rutin guna mencegah timbulnya polusi, mereduksi jumlah massa

produk sehingga dapat meminimisasi limbah, dan pada akhirnya dapat dicapai biaya-biaya daur ulang yang minimum.

2. Perancangan reduksi terhadap sumber limbah.
3. Reduksi dimensi-dimensi fisik produk.
4. Minimalkan berat bahan sebagai material substitusi.
5. Rancang sekecil mungkin penggunaan material yang tersedia;
6. Meningkatkan konsentrasi pada produk cair;
7. Reduksi massa komponen-komponen penting dalam produk;
8. Reduksi berat ataupun kompleksitas pada pengemasan (*packaging*).
9. Gunakan sistem dokumentasi elektronik (IT) dan hindari penggunaan kertas untuk dokumentasi.

Integrasi manajemen lingkungan dalam proses produksi (*input-process-entropy-output*):

1. Cegah terjadinya pencemaran
2. Ubah disain produk
3. Ganti penggunaan B₃
4. Kurangi konsentrasi cemaran
5. Pengendalian kontraktor
6. Kebijakan dan komitmen organisasi
7. Kurangi pencemaran
8. Kepedulian dan kompetensi karyawan
9. Perbaiki pemeliharaan
10. Hemat energi dan air
11. Perbaiki bahan instrumen/alat
12. Perbaiki proses produksi
13. Olah limbah
14. Ubah karakter limbah
15. Pembuangan limbah secara aman
16. Daur ulang dan pakai ulang
17. Daur ulang limbah
18. Daur ulang air
19. Pulihkan dan pakai ulang limbah

Perbedaan antara Pengelolaan Limbah dan Pengolahan Limbah:

1. **Pengolahan** lebih mengutamakan cara untuk menghilangkan dan atau mengurangi dampak yang terjadi pada limbah yang apabila tidak dilakukan maka akan berdampak negatif pada lingkungan (hanya bagian akhir dari suatu proses kegiatan – upaya kuratif).
2. **Pengelolaan** merupakan seluruh rangkaian proses yang dilakukan untuk mengkaji aspek kemanfaatan benda/barang dari sisa suatu kegiatan sampai betul-betul pada akhirnya harus menjadi limbah, karena tidak mungkin dimanfaatkan kembali (upaya dari awal sampai akhir dengan pendekatan preventif).

Penerapan transformasi sistem manufaktur dari model linier-mekanistik ke sistem ekologi manufaktur menyarankan agar para pengelola manufaktur:

1. Belajar dari ekosistem, yaitu menggunakan dinamika dan prinsip ekologi dalam perencanaan dan merancang sistem produksi dan jasa. Caranya adalah melalui penerapan sistem pendaur-ulangan bahan secara multilinier dalam satu lokasi industri tertentu;
2. Mengkaji metabolisme manufaktur dengan cara mempelajari dan menganalisis aliran materi dan energi, mulai asal bahan baku masuk ke dalam sistem manufaktur kemudian produk yang dihasilkan dikembalikan lagi ke biosfir dalam keadaan tidak merusak biosfir;
3. Mempelajari struktur ekonomi dan model dinamika masukan-keluaran, menganalisis dampak perubahan jaringan teknologi terhadap perusahaan, manufaktur dan ekosistem;
4. Mendesain lingkungan manufaktur, dengan cara menyiapkan fasilitas perangkat mendesain, desain proses, desain produk dan jasa dengan mempertimbangkan

manfaat dan biaya ekologi dan ekonomi bagi siklus hidup secara keseluruhan;

5. Mengelola keterkaitan antara sistem manufaktur dengan sistem lingkungan alam yang memungkinkan munculnya umpan balik bagi manufaktur untuk melakukan penyesuaian diri setiap waktu;
6. Berusaha untuk memperpanjang usia dan manfaat produk dengan cara mengkaji kembali keseimbangan antara produksi dan jasa secara lebih proporsional.

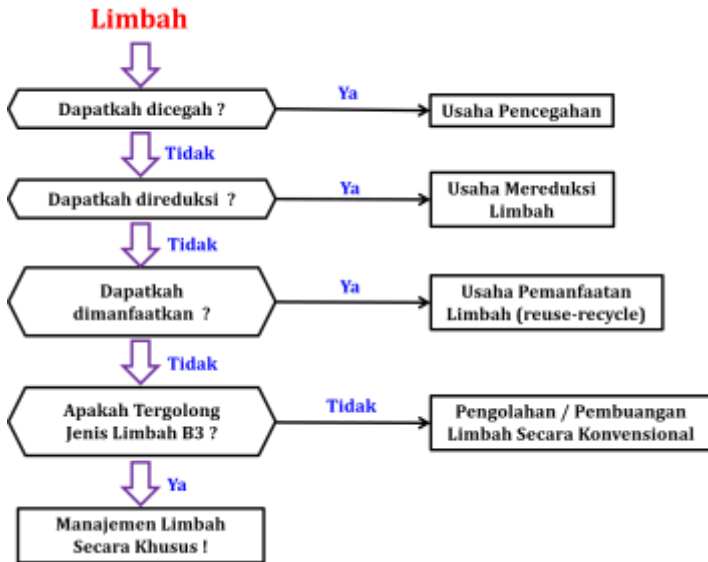
Dalam rangka mengaplikasikan prinsip-prinsip sistem alami pada sistem buatan (*man-made system*), maka beberapa karakteristik ekosistem alami yang dapat diadopsi oleh manufaktur diantaranya adalah:

1. Di dalam ekosistem alami, efisiensi dan produktivitas berada dalam keseimbangan yang dinamis melalui daya lentingnya sendiri. Perubahan terhadap keseimbangan tersebut akan menghancurkan ekosistem itu sendiri;
2. Ekosistem tidak mengenal adanya limbah, dalam pengertian sebagai sesuatu yang tidak dapat dimanfaatkan kembali bagi kehidupan sistem tersebut, dan nutrisi yang dibutuhkan oleh suatu spesies dihasilkan oleh spesies lainnya tanpa ada yang terbuang;
3. Bagian yang terbesar dari aliran energi dikonsumsi oleh proses dekomposisi guna mendaur ulang limbah yang dimanfaatkan kembali bagi kehidupan ekosistem;
4. Bahan beracun tidak tersimpan atau dipindahkan pada skala ekosistem dalam jumlah yang besar, akan tetapi disintesis dan dimanfaatkan kembali oleh spesies sesuai dengan kebutuhan individualnya;
5. Materi dan nutrisi disirkulasikan secara terus menerus dan ditransformasikan secara sempurna, sistem digerakkan oleh energi matahari dan dalam perjalanan waktu menyimpannya dalam bentuk bahan bakar fosil;
6. Ekosistem bersifat dinamis, dan determinasi pelaku ekosistem adalah dalam pengertian suatu proses;

7. Dalam ekosistem dimungkinkan aktivitas spesies secara independen, namun tetap berada dalam pola aktivitas spesies secara keseluruhan, serta kerjasama dan kompetisi berlangsung dalam suatu keseimbangan;
8. Setiap komponen ekosistem mempunyai fungsi ganda setara dengan tingkat keterkaitannya dengan komponen lainnya;
9. Relung ekologi setiap komponen dalam sistem identik dengan total keterkaitan yang bersangkutan dengan komponen lainnya, serta mencerminkan prasyarat fisik, kimiawi, dan biologi yang dibutuhkan untuk melangsungkan kehidupan dan reproduksinya dalam ekosistem.

Transformasi sistem industri tersebut memberi pengaruh yang besar terhadap paradigma sistem manufaktur dan memberikan keyakinan bahwa:

1. Keseluruhan tahapan operasi pada manufaktur dapat menjamin sistem lingkungan alami berfungsi sebagaimana mestinya dalam batas-batas ekosistem local dan biosfir;
2. Dinamika dan prinsip-prinsip ekosistem menjadi acuan mendasar dalam perencanaan dan manajemen sistem manufaktur;
3. Efisiensi materi dan energi dalam pemanfaatan, pemrosesan dan daur ulang akan memberikan keunggulan kompetitif dan manfaat ekonomi yang besar bagi manufaktur ;
4. Sumber pokok nilai ekonomi dari planet bumi dan ekosistem lokal berlangsung dalam jangka waktu panjang, tanpa itu maka kesuksesan pebisnis tidak akan ada artinya.



Gambar 9. Skema Prosedur Umum Pengelolaan Limbah

Teori *From Cradle to Grave*

From Cradle to Grave theory adalah suatu konsep untuk menilai siklus material sumber daya alam (ekologi) yang digunakan oleh sistem manufaktur guna menghasilkan produk barang tertentu. *Cradle* berarti ayunan-timbang-disayang-dirawat atau penggunaan sebuah produk barang secara berkualitas, sedangkan *grave* adalah kuburan dimana semua produk sampah dikubur dalam tanah. Jadi, teori *from cradle to grave* adalah teori yang menganggap bahwa sebuah produk yang dihasilkan oleh suatu usaha manufaktur harus dirawat dengan baik, disayang-sayang, ditimbang-timbang agar produk tersebut tidak cepat menjadi sampah.

Siklus material yang bermakna positif bagi keberlanjutan sumber daya alam adalah penciptaan produk barang yang berkualitas dengan durasi pemanfaatan yang lama (*high duration life-time*). Nilai siklus juga lebih bermakna positif bagi ekologi bilamana sebuah produk yang sudah usang dapat didaur ulang menjadi produk tertentu dengan masa pakai produk yang tahan lama (*high durable*). Nilai ekologis yang bermakna positif bila mana suatu material bahan baku industry mampu dirancang untuk dapat diproduksi menjadi produk tahan lama, bahan baku diambil dari sumber yang dapat diperbarui (*renewable resources*), dan pasca-penggunaan produk dapat didaur ulang sepanjang waktu.

Nilai siklus material sumber daya alam akan bermakna positif bilamana terdapat keadaan (upaya) industry untuk melakukan perawatan (*maintenance*) dan memelihara kondisi sistem industry yang mampu menghasilkan produk barang berkualitas (produk barang berkualitas tentunya tahan lama dipakai konsumen).



Gambar 10. *From Cradle to Grave Theory*

Bermula dari proses pengambilan material produk atau material bahan baku untuk proses-proses produksi pada industry dari tempat sumber bahan baku (Q_1) yaitu di tanah (*soil*), kemudian diekstraksi menjadi produk barang Q_1 . Setelah masa pemanfaatan material atau produk barang Q_1 habis, maka dilanjutkan dengan proses daur ulang material produk menjadi material produk Q_2 . Setelah masa pemanfaatan material atau produk barang Q_2 habis, maka dilanjutkan dengan proses daur ulang material produk menjadi material produk Q_3 . Setelah masa pemanfaatan material atau produk barang Q_3 habis, maka dilanjutkan dengan proses daur ulang material produk menjadi material produk Q_4 .

Demikian seterusnya proses daur ulang material produk sampai produk terakhir Q_n yang tidak lagi bisa dimanfaatkan dan atau tidak bisa lagi didaur ulang menjadi produk barang yang bersifat *cradle* (produk yang ditimbang, disayang, dirawat), maka daur ulang material akan dilakukan oleh komponen alam (*decomposer*) secara alamiah di dalam tanah (*soil*) atau masuk ke dalam kuburan (*grave*) untuk didaur ulang secara alamiah oleh organisme mikro (*micro organism*).

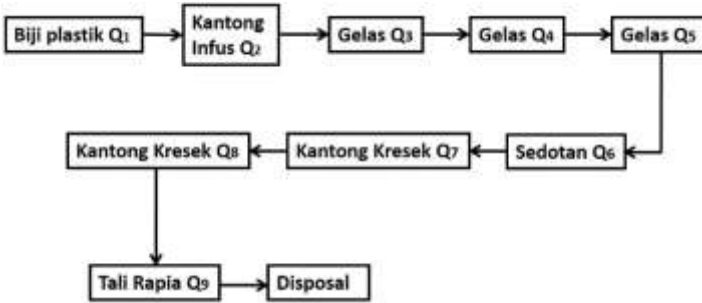
Dalam fenomena proses daur ulang material produk seperti dijelaskan tersebut di atas maka kualitas material atau produk $Q_1 > Q_2 \dots > Q_7$. Untuk dapat menjamin dan menjaga keberlanjutan kualitas material dan produk serta durabilitas manfaat suatu produk barang secara berkualitas, maka diperlukan perawatan dan penanganan produk sebaik mungkin.

Tanggungjawab implementasi tindakan perawatan dan penanganan ataupun pemanfaatan sumber daya material atau produk mulai dari produk Q_1 sampai produk Q_7 selama proses pemanfaatan produk (*cradle*) adalah terletak pada produsen dan konsumen. Keselamatan ketersediaan sumber daya alam sebagai bahan baku manufaktur dipandang sebagai sesuatu yang berharga dan bernilai ekologis menjadi prioritas utama dalam mewujudkan manufaktur hijau.



Gambar 11. Implementasi Teori *From Cradle to Grave*

Sebagai ilustrasi implementasi teori ini dapat kita analisis melalui perancangan produk manufaktur yang bahan bakunya diambil dari tanah (*soil*) sebagai tempat dimana ada sumber daya (*resources*) yaitu biji plastic yang diperoleh dari hasil ekstraksi minyak bumi.



Gambar 12. Alir Material dalam Analisis *Cradle to Grave*

Bermula dari kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam yang terdapat di tanah (*soil*) yang kemudian diekstraksi menjadi minyak mentah dan menjadi produk *polypropylene*. Biji plastik atau *polypropylene* adalah material bahan baku industri untuk pembuatan produk plastic kantong *infuse* keperluan medik. Bila kantong *infuse* sudah tidak terpakai lagi sebagai kantong *infuse* keperluan medik, maka materialnya dapat didaur ulang menjadi gelas plastic kualitas-1; bila gelas plastic kualitas-1 tidak terpakai lagi maka materialnya dapat didaur ulang menjadi produk gelas plastic kualitas-2; bila gelas plastic kualitas-2 tidak terpakai lagi maka materialnya dapat didaur ulang menjadi produk gelas plastic kualitas-3; bila gelas plastic kualitas-3 tidak terpakai lagi maka materialnya dapat didaur ulang menjadi produk sedotan minuman; bila sedotan minuman tidak terpakai lagi maka materialnya dapat didaur ulang menjadi produk kantong kresek kualitas-1; bila kantong kresek kualitas-1 tidak terpakai lagi maka materialnya dapat didaur ulang menjadi produk kantong kresek kualitas-2, dan terakhir bila kantong kresek kualitas-2 tidak terpakai lagi maka materialnya dapat didaur ulang menjadi produk tali rapia plastic, bila tali rapia plastic yang telah terpakai tidak mungkin lagi bias didaur ulang menjadi produk tertentu

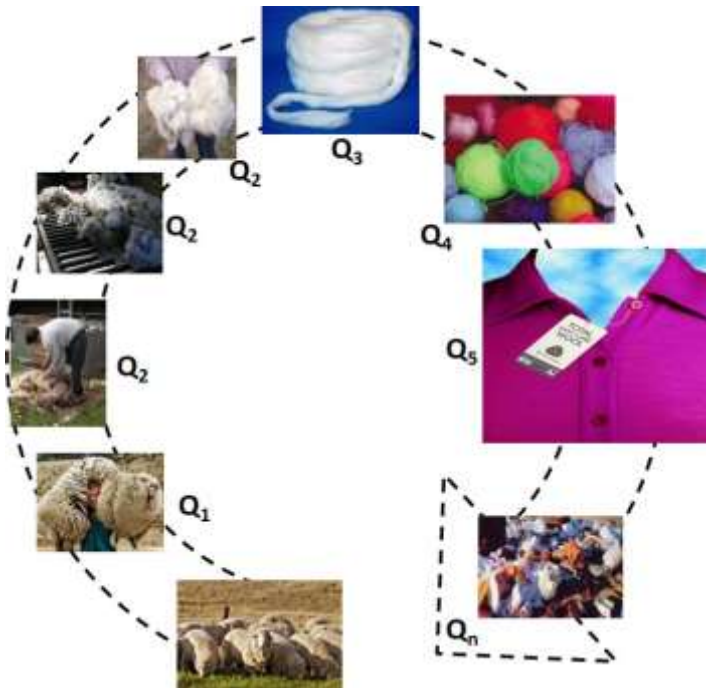
(menjadi sampah) maka ia akan masuk ke dalam kuburan (*grave*).

Masa *cradle* terpenting bagi sistem alam (ekosistem) adalah pada saat material produk berada pada posisi Q3, Q4, dan Q5 sebagai produk gelas plastic. Hal ini menjadi sangat penting karena selama pemanfaatan material produk Q3, Q4, dan Q5 tidak terjadi pengurasan sumber daya alam untuk bahan baku kegiatan industry plastic maupun terjadinya penumpukan sampah sampah di tanah. Hal penting lainnya adalah terdapat masa atau waktu jeda bagi alam untuk melakukan regenerasi material bahan baku bagi industri lainnya (meskipun regenerasi bahan baku plastic atau minyak bumi berlangsung ribuan tahun lamanya).

Ukuran tingkat keberhasilan implementasi teori "*from cradle to grave*" ini pada dunia industri adalah: i) durasi pemanfaatan material sebagai material Q₁, Q₂, ..Q_n, ii) daya manfaat produk di tingkat Q₁, Q₂,.. Q_n, iii) biaya minimum pada proses daur ulang produk Q₁ menjadi Q₂, Q₂ menjadi Q₃, dan seterusnya sampai Q_n, iv) biaya perawatan material dan produk mulai dari Q₁ sampai Q_n, dan biaya yang timbul pada saat material produk menjadi sampah, v) proses pemilahan sampah organik dan anorganik pada saat sampah produk gelas Q₃, Q₄, dan Q₅ berada pada tempat pembuangan sementara (TPS) atau di tempat pembuangan akhir sampah (TPA) agar memudahkan proses-proses daur ulang material produk, dan vi) biaya risiko lingkungan pada saat proses daur ulang dan pembuangannya di tanah (*soil*) atau di dalam kuburan (*grave*).

Masa "*cradle*" adalah total durasi waktu pemanfaatan material sebagai produk Q₁ + Q₂ + Q₃ + + Q₇, sedangkan masa "*grave*" adalah durasi waktu degradasi sampah produk Q_n menjadi nutrient dalam tanah oleh mikro-organisme sebagai pengurai material limbah.

Berikut ini dapat kita telusuri dan analisis secara kualitatif implementasi konsep “*from cradle to grave*” pada industri tekstil.

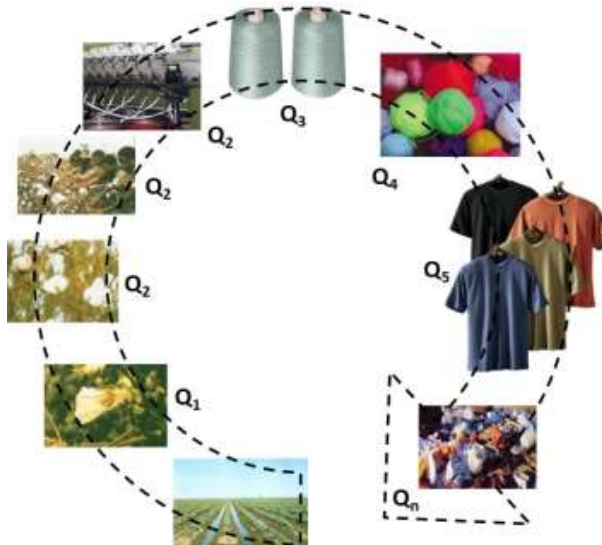


Gambar 13. *From Cradle to Grave* pada Industri Tekstil dan Garment dengan Material Wool

Bahan baku industri kain wool adalah bulu hewan Domba atau Biri-biri. Bulu domba (*sheep*) sebagai sumber daya material bahan baku untuk kegiatan industri tekstil-garment dan *apparel*, dapat tumbuh berkembang secara alami karena Domba memakan rumput *savanna* sebagai sumber materi

dan energy untuk kehidupannya. Rumput *savanna* dapat tumbuh berkembang menyediakan makanan untuk hewan domba melalui proses alamiah fotosintesis sinar matahari melalui daun rumput *savanna* yang berkhlorofil.

Siklus material bahan baku industri tekstil-garment dan apparel bermula dari transformasi energy matahari menjadi material rumput Q_1 yang kemudian dimakan oleh Domba untuk perikehidupannya termasuk menghasilkan produk bulu-bulu wool (Q_2) di sekujur tubuhnya. Material produk bulu-bulu atau serat (fibers) wool Q_2 diolah menjadi material dan produk benang wool (Q_3) pada industri pemintalan benang (*spinning mills*). Kemudian material produk benang wool (Q_3) dirajut dan atau ditenun menjadi kain (Q_4) dan apparel (Q_4), untuk selanjutnya material produk kain Q_4 diproduksi menjadi material produk pakaian wool Q_5 .

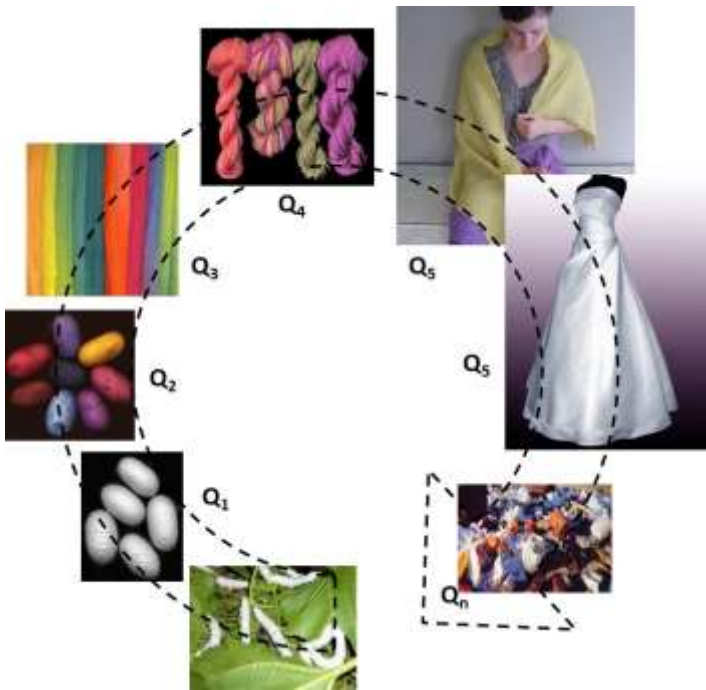


Gambar 14. *From Cradle to Grave* pada Industri Garment dengan Material Cotton

Bila material produk pakaian woll Q_5 tidak terpakai lagi maka materialnya dapat didaur ulang menjadi produk kain lap penyeka lantai (Q_6), dan terakhir bila produk kain lap penyeka lantai (Q_6) tidak terpakai lagi maka produk kain lap penyeka lantai (Q_6), maka ia akan menjadi material produk sampah (Q_n) untuk kemudian masuk ke dalam kuburan (*grave*).

Masa *cradle* terpenting bagi sistem alam (ekosistem) adalah pada saat material produk berada pada posisi Q_4 , dan Q_5 sebagai produk pakaian dan *apparel*. Hal ini menjadi sangat penting karena selama pemanfaatan material produk Q_4 , dan Q_5 tidak terjadi pengurusan sumber daya bahan baku untuk industri tekstil-garment dan *apparel* maupun penumpukan sampah di tanah. Hal penting lainnya adalah terdapat masa atau waktu jeda bagi alam untuk regenerasi material bahan baku bagi industri tekstil-garment dan *apparel*.

Ukuran tingkat keberhasilan implementasi teori "*from cradle to grave*" ini pada dunia industri adalah: i) durasi pemanfaatan material sebagai material $Q_1, Q_2, ..Q_n$, ii) daya manfaat produk di tingkat $Q_1, Q_2,.. Q_n$, iii) biaya minimum pada proses daur ulang produk Q_1 menjadi Q_2 , Q_2 menjadi Q_3 , dan seterusnya sampai Q_n , iv) biaya perawatan material dan produk mulai dari Q_4 sampai Q_5 , dan biaya yang timbul pada saat material produk menjadi sampah, v) proses pemilahan sampah organik dan anorganik pada saat sampah produk tekstil-garment dan *apparel* Q_4 , dan Q_5 berada pada tempat pembuangan sementara (TPS) atau di tempat pembuangan akhir sampah (TPA) agar memudahkan proses-proses daur ulang material produk, dan vi) biaya risiko lingkungan pada saat proses daur ulang dan pembuangannya di tanah (*soil*). Masa "*cradle*" adalah total durasi waktu pemanfaatan material sebagai produk $Q_1 + Q_2 + Q_3 + + Q_7$, sedangkan masa "*grave*" adalah durasi waktu degradasi sampah produk Q_n menjadi nutrient dalam tanah oleh mikro-organisme sebagai pengurai material limbah.



Gambar 15. *From Cradle to Grave* pada Industri Garment dengan Material Sutera (*Silk*)

Sifat dan karakteristik material produk sampah wool adalah dapat terurai oleh mikroorganisme dalam tanah (*biodegradable*), sehingga sifat ekologis material bahan baku yang digunakan oleh industri tekstil dan garment dapat dikategorikan sebagai produk yang ramah lingkungan (*eco-friendly product*). Jika semua industri tekstil dapat menggunakan material seperti; cotton, ramie, sutera dan wool maka industri ini dapat digolongkan kedalam kelompok industri ramah lingkungan (*eco-friendly industry*). Namun,

bilamana industri tekstil menggunakan material sintetik seperti; polyester, nylon dan atau acrylic maka industri ini dapat digolongkan kedalam kelompok industri yang tidak ramah lingkungan, karena material sintetik tidak dapat didaur ulang secara alamiah dalam tanah.

Teori *From Soil to Soil*

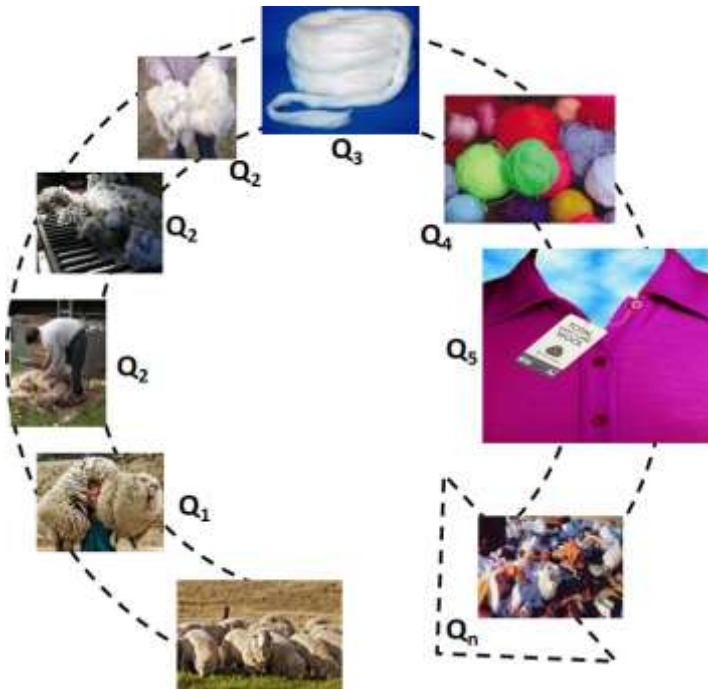
Penerapan filosofi teori “*from soil to soil*” dalam upaya mewujudkan *green manufacturing* dan atau *sustainable manufacturing* atau manufaktur berkelanjutan antara lain adalah:

1. Implementasi kehidupan yang berasal dari tanah akan kembali ke tanah (semua yang hidup pasti akan mati dan masuk kuburan dan menjadi sampah dalam tanah);
2. Semua bahan baku yang digunakan untuk memproduksi produk barang yang dihasilkan oleh kegiatan manufaktur/industri berasal dari tanah (*soil*), dan semua produk barang tersebut nantinya akan menjadi sampah setelah masa pakainya habis atau masa manfaatnya telah habis akan jatuh masuk dalam tanah (*soil*).
3. Implementasi menuju keseimbangan alam, sepanjang *entropy* yang terbentuk tidak berkelebihan;
4. Menyelamatkan sumber daya alam dan lingkungan hidup dari kerusakan dan pencemaran; dan
5. Menyelamatkan ketersediaan sumber daya alam (bahan baku industri-manufaktur/ekonomi) agar tidak cepat habis atau agar tidak cepat punah.

Prinsip dasar teori “*from soil to soil*” adalah; bahwa teori “*from soil to soil*” lebih menitik beratkan pertimbangan aspek keberadaan dan keberlanjutan ketersediaan sumber daya alam dan lingkungan hidup yang digunakan/dimanfaatkan oleh manufaktur untuk memproduksi produk barang dalam upaya mewujudkan *green manufacturing* dan atau *sustainable manufacturing* atau manufaktur berkelanjutan. Selain itu teori ini juga pertimbangan aspek *output* produk/barang yang dihasilkan oleh industri/manufaktur, yaitu; produk dengan usia pakai yang lama (tahan lama, berkualitas baik, disayangi konsumen, mudah dirawat) produk ramah lingkungan (produk barang tidak mencelakai konsumen,

produknya ramah lingkungan, produknya tidak mencemari lingkungan pada saat produk/barang tersebut telah berubah menjadi sampah).

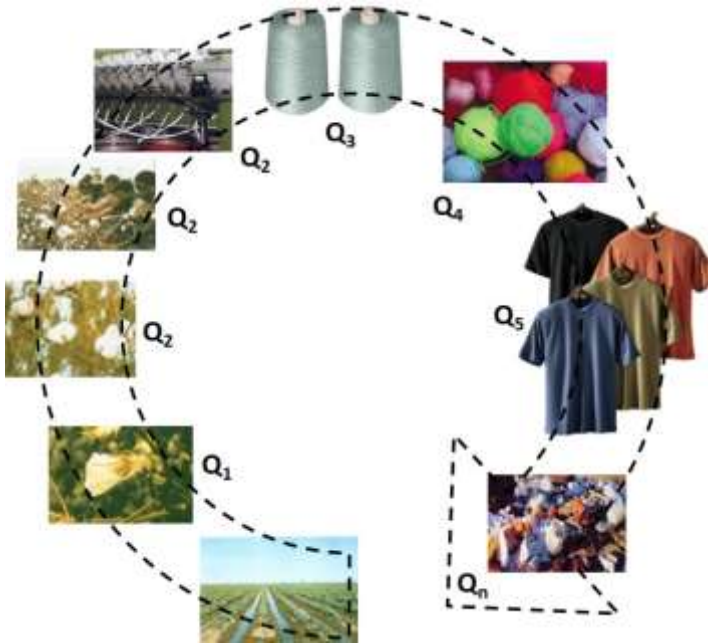
Berikut ini dapat kita telusuri dan analisis secara kualitatif implementasi konsep "*from soil to soil*" pada industri tekstil dan garment.



Gambar 16. *From Soil to Soil* pada Industri Tekstil dan Garment dengan Material Wool

Bahan baku industri kain wool adalah bulu hewan Domba atau Biri-biri. Bulu domba (*sheep*) sebagai sumber daya material bahan baku untuk kegiatan industri tekstil-garment dan *apparel*, dapat tumbuh berkembang secara alami karena Domba memakan rumput *savanna* sebagai sumber materi dan energy untuk kehidupannya. Rumput *savanna* dapat tumbuh berkembang menyediakan makanan untuk hewan domba melalui proses alamiah fotosintesis sinar matahari melalui daun rumput *savanna* yang berkhlorofil dan tumbuh di atas media tanah (*soil*). Sehingga material bahan baku industri pada dasarnya berasal dari tanah/soil.

Siklus material bahan baku industri tekstil-garment dan *apparel* bermula dari transformasi energy matahari menjadi material rumput Q_1 yang kemudian dimakan oleh Domba untuk perikehidupannya termasuk menghasilkan produk bulu-bulu wool (Q_2) di sekujur tubuhnya. Material produk bulu-bulu atau serat (fibers) wool Q_2 diolah menjadi material dan produk benang wool (Q_3) pada industri pemintalan benang (*spinning mills*). Kemudian material produk benang wool (Q_3) dirajut dan atau ditenun menjadi kain (Q_4) dan *apparel* (Q_4), untuk selanjutnya material produk kain Q_4 diproduksi menjadi material produk pakaian wool Q_5 .



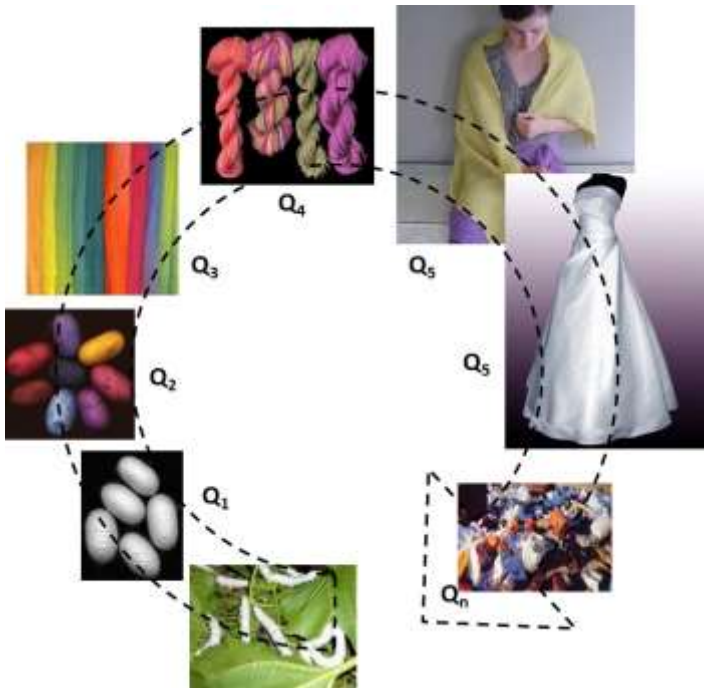
Gambar 17. *From Soil to Soil* pada Industri Garment dengan Material Cotton

Cotton atau Kapas berasal dari tumbuhan yang ditanam di tanah (*soil*), sehingga bahan baku cotton untuk industri tekstil dan *garment* berasal dari tanah (*soil*). Material cotton dimanfaatkan oleh industri tekstil untuk memproduksi benang dan kain serta pakaian jadi, setelah benang dimanfaatkan, kain dimanfaatkan oleh konsumen, serta pakaian jadi (*garment*) dipakai/dimanfaatkan, maka barang-barang tersebut akan berubah menjadi sampah setelah masa manfaatnya telah habis, dan selanjutnya menjadi sampah di tanah (*soil*).

Bila material produk pakaian woll Q_5 tidak terpakai lagi maka materialnya dapat didaur ulang menjadi produk kain lap

penyeka lantai (Q_6), dan terakhir bila produk kain lap penyeka lantai (Q_6) tidak terpakai lagi maka produk kain lap penyeka lantai (Q_6), maka ia akan menjadi material produk sampah (Q_n) untuk kemudian masuk ke dalam tanah (*soil*).

Ukuran tingkat keberhasilan implementasi teori "*from soil to soil*" ini pada dunia industri adalah: i) durasi pemanfaatan material sebagai material $Q_1, Q_2, ..Q_n$, ii) daya manfaat produk di tingkat $Q_1, Q_2,.. Q_n$, iii) biaya minimum pada proses daur ulang produk Q_1 menjadi Q_2 , Q_2 menjadi Q_3 , dan seterusnya sampai Q_n , iv) biaya perawatan material dan produk mulai dari Q_4 sampai Q_5 , dan biaya yang timbul pada saat material produk menjadi sampah, v) proses pemilahan sampah organik dan anorganik pada saat sampah produk tekstil-garment dan apparel Q_4 , dan Q_5 berada pada tempat pembuangan sementara (TPS) atau di tempat pembuangan akhir sampah (TPA) agar memudahkan proses-proses daur ulang material produk, dan vi) biaya risiko lingkungan pada saat proses daur ulang dan pembuangannya di tanah (*soil*).



Gambar 18. *From Soil to Soil* pada Industri Garment dengan Material Sutra (*Silk*)

Sifat dan karakteristik material produk sampah wool adalah dapat terurai oleh mikroorganisme dalam tanah (*biodegradable*), sehingga sifat ekologis material bahan baku yang digunakan oleh industri tekstil dan garment dapat dikategorikan sebagai produk yang ramah lingkungan (*eco-friendly product*). Implementasi teori *from soil to soil* pada industri tekstil dan garment tersebut di atas adalah terpeliharanya dengan baik ketersediaan sumber bahan baku sutera yang berasal dari telur kupu-kupu yang menetas menjadi ulat-ulat yang membalut dirinya secara alamiah dengan air

liur atau system sekresi ulat menjadi kepompong. Ulat sutera membutuhkan daun mulberry untuk makanannya dan menghasilkan air liur atau system sekresi ulat menjadi kepompong, dan daun mulberry hanya dapat hidup di tanah (*soil*) yang keberadaan kehidupan dan perkembangannya harus selalu dijaga secara berkelanjutan.

Bahan baku industri tekstil dan garment yang ketersediaannya dapat diperoleh secara berkelanjutan sebagaimana bahan Sutera tersebut di atas dapat menggunakan material lainnya seperti; cotton, ramie, sutera dan wool serta material tumbuhan/vegetasi lainnya, sehingga industri ini dapat digolongkan kedalam kelompok industri ramah lingkungan (*eco-friendly industry*). Namun, bilamana industri tekstil menggunakan material sintetis seperti; polyester, nylon dan atau acrylic maka industri ini dapat digolongkan kedalam kelompok industri yang tidak ramah lingkungan, karena material sintetik tidak dapat didaur ulang secara alamiah dalam tanah.

Transformasi Teknologi Siklus Tertutup

Bahan baku industri tekstil yang bersumber dari produksi pertanian diantaranya cotton, rami dan sebagainya, sedangkan yang bersumber dari produksi peternakan adalah wol, sutera dan serat rambut hewan lainnya sumber bahan baku tekstil dari kelompok migas adalah material yang bersifat sintetik seperti polyester, nylon, acrylic dan sebagainya.

Kecenderungan yang signifikan penggunaan material tekstil jenis sintetik semakin lama semakin meningkat, sedangkan konsumsi bahan baku tekstil jenis alami semakin lama semakin berkurang akibat keterbatasan lahan produksi. Kondisi ini mencerminkan perilaku permintaan konsumen dunia terhadap tekstil, dan sekaligus kondisi ini mengkhawatirkan semakin banyaknya industri menggunakan sumber daya minyak bumi untuk memproduksi material bahan baku tekstil sintetik.

Dalam konteks penyelamatan sumber daya alam secara berkelanjutan, maka kesadaran akan pentingnya ekologi industri pada hakekatnya terletak pada kesadaran perlunya transformasi kerangka kontekstual dalam memahami implikasi pengelolaan industri dari model linier dan mekanistik menuju suatu sistem siklus tertutup (*closed loop sistem*) menyerupai ekosistem kecil dalam tindakan (*locally action*). Model linier menempatkan produksi dan konsumsi sebagai dasar analisis terhadap suatu aktivitas industri, dan ekosistem bertindak untuk menyeimbangkan sistem produksi dan dekomposisi, dengan mendaur ulang nutrien secara terus menerus guna menunjang siklus produksi berikutnya.

Transformasi sistem industri tersebut menurut Lowe (1996:445) memberikan pengaruh yang besar terhadap

paradigma sistem industri dan memberikan keyakinan bahwa:

1. Keseluruhan tahapan operasi pada industri dapat menjamin sistem lingkungan alami berfungsi sebagaimana mestinya dalam batas-batas ekosistem lokal dan biosfir;
2. Dinamika dan prinsip-prinsip ekosistem menjadi acuan mendasar dalam perencanaan dan manajemen sistem industri;
3. Efisiensi materi dan energi dalam pemanfaatan, pemrosesan dan daur ulang akan memberikan keunggulan kompetitif dan manfaat ekonomi yang besar bagi industri;
4. Sumber pokok nilai ekonomi dari planet bumi dan ekosistem lokal berlangsung dalam jangka waktu panjang, tanpa itu maka kesuksesan pebisnis tidak akan ada artinya.

Berbagai pendekatan yang dicoba oleh para ilmuwan selama ini untuk mencari batas-batas ekologis sesuai instrumen regulasi, ekonomi, maupun kerekayasaan, ternyata belum cukup memadai untuk mengintegrasikan pengelolaan lingkungan pada berbagai skala ke dalam suatu pendekatan yang lebih sistematis. Dalam pemahaman pendekatan sistem ekologi industri, maka kendala yang dihadapi saat ini adalah keterbatasan pengetahuan pengelolaan industri untuk melintasi dimensi ruang dan waktu.

Kendala dan kompleksnya permasalahan yang ditemui dalam melintasi dimensi ruang dan waktu tersebut telah melahirkan berbagai perspektif dalam menjelaskan transformasi sistem industri dari model linier-mekanistik kepada sistem ekologi industri.

Untuk mengatasi kendala tersebut Lowe (1996:446-447) menyarankan agar para pengelola industri mulai menerapkan sistem ekologi industri sebagai berikut:

1. Belajar dari ekosistem, yaitu menggunakan dinamika dan prinsip ekologi dalam perencanaan dan merancang sistem produksi dan jasa. Caranya adalah melalui penerapan sistem pendaur-ulangan material secara multilinier dalam satu kawasan industri (*eco-industrial park*);
2. Mengkaji metabolisme industri dengan cara mempelajari dan menganalisis aliran materi dan energi, mulai asal bahan baku masuk ke dalam sistem industri kemudian produk yang dihasilkan dikembalikan lagi ke biosfir dalam keadaan tidak merusak biosfir;
3. Mempelajari struktur ekonomi dan model dinamika masukan-keluaran, menganalisis dampak perubahan jaringan teknologi terhadap perusahaan, industri dan ekosistem;
4. Mendesain lingkungan industri, dengan cara menyiapkan fasilitas perangkat mendisain, desain proses, desain produk dan jasa dengan mempertimbangkan manfaat dan biaya ekologi dan ekonomi bagi siklus hidup secara keseluruhan;
5. Mengelola keterkaitan antara sistem industri dengan sistem lingkungan alam yang memungkinkan munculnya umpan balik bagi industri untuk melakukan penyesuaian diri setiap waktu;
6. Berusaha untuk memperpanjang usia dan manfaat produk dan jasa dengan cara mengkaji kembali

keseimbangan antara produksi dan jasa secara lebih proporsional.

Aliran perspektif tersebut di atas saling melengkapi satu sama lain dan sinergi diantaranya akan melahirkan suatu pendekatan yang bersifat holistik dan sistematis. Untuk mengurangi kompleksitas ekologi industri menuju suatu penjelasan yang lebih terukur, maka pendekatan aliran materi dan energi dianggap dapat membantu menjelaskan pengaruh sistem industri terhadap sistem lingkungan alam melalui neraca massa. Pendekatan ini mencoba mengidentifikasi aliran, transformasi dan disipasi materi dan energi di dalam sistem industri pada berbagai skala, dengan menganalogikannya pada ekosistem.

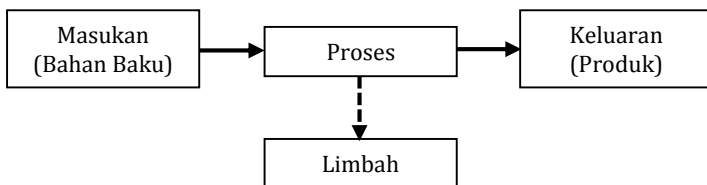
Metabolisme Manufaktur

Marina Fischer-Kowalski (2003: p.35-45) menyebutkan bahwa definisi “*metabolism*” menurut ilmu biologi merupakan totalitas reaksi biokimia yang terjadi di dalam suatu makhluk hidup. Konsep metabolisme sebagai suatu pertukaran energy dan materi yang terjadi diantara organisme dan lingkungan hidup dapat mempengaruhi teori ilmu sosial. Reaksi biokimia yang berlangsung dalam metabolisme menunjukkan terjadinya proses transformasi sel-sel, organ dan organisme, dan tidak memfokuskan perhatian pada interaksi organisme lingkungan. Sedangkan para ahli ekologi menggunakan definisi *metabolism* pada sesuatu hal terkait dengan konversi energy dan siklus nutrisi dalam ekosistem.

Metabolisme industri-manufaktur adalah kemampuan keseluruhan aktivitas industri-manufaktur untuk menangkap dan mentransformasikan materi dan energi dari lingkungannya guna memenuhi kebutuhan untuk hidup manusia, kebutuhan untuk tumbuh dan berkembangnya industri-manufaktur.

Hukum Termodinamika mengenai kekekalan massa dan energi memberikan implikasi bahwasanya bahan atau materi yang diambil dari lingkungan alam untuk diproduksi menjadi barang dan jasa akan dikembalikan ke lingkungan alam dalam bentuk yang sudah terdegradasi. Siklus materi dan aliran energi memberikan basis bagi upaya mentransformasikan sistem industri-manufaktur menuju siklus tertutup dengan meminimalkan disipasi/pemborosan bahan dan energi. Siklus materi dan aliran energi dalam sistem industri dapat dianalogikan sebagai interaksi sistem manufaktur dengan sistem lingkungan alam di sekitarnya atau disebut sebagai metabolisme manufaktur (Weisz,

2007:3). Secara sederhana sistem industri-manufaktur digambarkan sebagai metabolisme aliran masukan materi dan energi, proses dan keluaran. Keluaran akan berkualitas bila input berkualitas, dan proses metabolisme manufaktur yang baik akan menghasilkan limbah yang minimum, serta limbah akan lebih banyak bila input dan sistem produksi tidak berkualitas.



Gambar 19. Sistem Produksi pada industri-manufaktur

Sistem masukan bagi sistem industri-manufaktur adalah bahan baku yang umumnya bersumber dari alam, proses produksi merupakan serangkaian yang melibatkan teknologi, manusia dan manajemen untuk menghasilkan produk yang digunakan oleh konsumen. Disamping produk, proses produksi juga menghasilkan limbah dan pencemar. Limbah yang mempunyai nilai dapat digunakan kembali di dalam proses produksi yang bersangkutan atau proses produksi lainnya, sedangkan limbah dan pencemar yang tidak memiliki nilai dibuang ke lingkungan dengan batas-batas baku mutu lingkungan hidup.

Terdapat tiga model aliran materi dan energi yang menggambarkan siklus hidup pada sistem industri-manufaktur yaitu; model linier, model semi-siklus dan model siklus tertutup (Graedel, 1995:93-95).

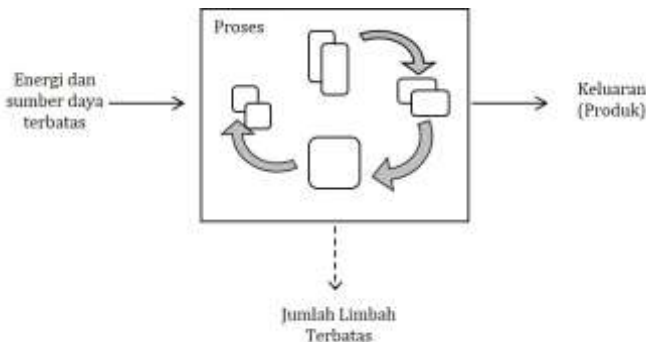
Model-1: Linier



Gambar 20. Model Linier Aliran Materi dan Energi pada Kegiatan Industri-manufaktur

Aliran materi dan energi model linier di dalam ekosistem industri terjadi bilamana sumber daya yang disediakan oleh lingkungan alam diolah dan diproses menjadi produk barang, limbah yang timbul tidak terbatas dilepas kembali ke lingkungan alam.

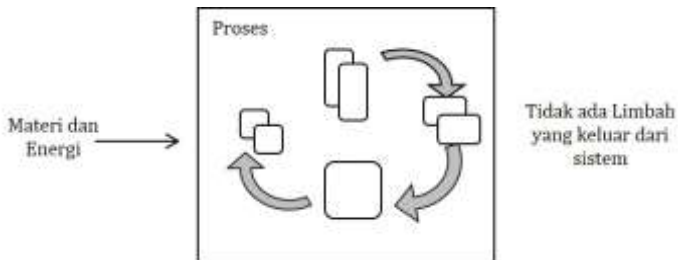
Model-2: Semi siklus



Gambar 21. Model Semi Siklus Aliran Materi dan Energi pada Kegiatan Industri-manufaktur

Aliran materi dan energi model semi-siklus di dalam ekosistem industri-manufaktur terjadi bilamana sumber daya yang disediakan oleh lingkungan alam diolah dan diproses menjadi produk barang, limbah yang timbul secara terbatas masih dapat dimanfaatkan kembali pada ekosistem manufaktur. Sedangkan sebagian limbah secara terbatas dilepas kembali ke lingkungan alam.

Model-3: Siklus tertutup

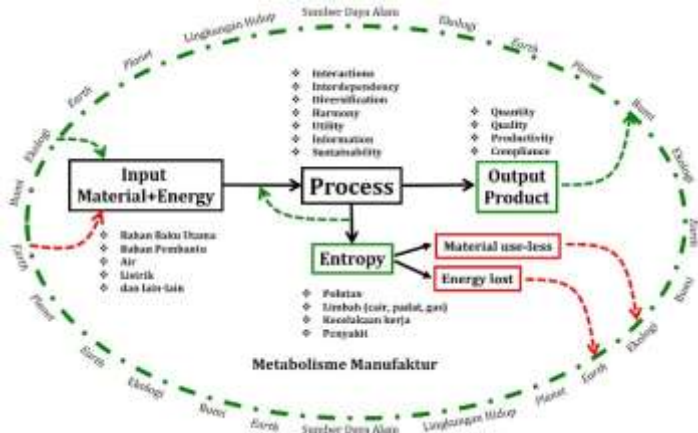


Gambar 22. Model Siklus Tertutup Aliran Materi dan Energi pada Kegiatan Industri-manufaktur

Aliran materi dan energi model siklus tertutup di dalam ekosistem industri-manufaktur terjadi bilamana sumber daya yang disediakan oleh lingkungan alam diolah dan diproses secara selektif menjadi produk barang, limbah yang timbul dapat dimanfaatkan kembali pada ekosistem industri secara terus menerus.

Pendekatan metabolisme industri-manufaktur merupakan suatu konsep pendekatan untuk membuat pola-pola produksi industri yang memiliki hubungan sangat dekat dengan konsep produksi bersih dan manajemen ekologi industri. Proses metabolisme biologi dan industri-manufaktur dapat

memberikan gambaran tentang sistem disipasi atau pemborosan yang lazim terjadi di setiap kegiatan industri. Setiap proses-proses produksi dapat dipastikan menghasilkan limbah sebagai output dari suatu proses produksi. Pendekatan metabolisme industri-manufaktur memfokuskan pemikiran dan pemahaman terhadap bagaimana suatu industri dapat dikembangkan untuk mampu mereduksi keseluruhan beban lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan industri melalui penilaian daur hidup material dan siklus produk mulai dari proses ekstraksi bahan, proses produksi, penggunaan produk, dan pembuangan produk sebagai sampah.



Gambar 23. Pendekatan Metabolisme Manufaktur

Berdasarkan gambar di atas yang mengenai konsep metabolisme manufaktur dalam manajemen manufaktur hijau; konsep efisiensi manufaktur yang selama ini berlangsung hanya mengkaji empat aspek dalam menentukan tujuan akhir perusahaan manufaktur yaitu mencapai keuntungan ekonomi dengan mengkaji: (1) *input* bahan baku, (2) proses produksi, (3) produk *output* dan (4) limbah.

Sedangkan konsep baru tentang implementasi pendekatan metabolisme manufaktur guna mencapai tujuan akhir perusahaan (yaitu keuntungan ekonomi) juga memperhatikan aspek ekologi secara berkelanjutan meliputi: (1) input materi R/NR, (2) input energi R/NR, (3) proses produksi, (4) output produk yang ramah lingkungan, (5) entropi dalam bentuk; (6) *material use-less* dalam bentuk limbah, dan (7) *energy lost* dalam bentuk pencemaran udara. Pendekatan metabolisme manufaktur dalam manajemen manufaktur hijau akan memfokuskan perhatian aspek ekologi dalam hal; penggunaan material input kegiatan produksi yang bersifat terbarukan (*renewable resources*) dan material tak terbarukan (*non renewable resources*), penggunaan energi yang bersifat terbarukan (*renewable energy*) dan energi tak terbarukan (*non renewable energy*), output produk yang ramah lingkungan (*cleaner product*), minimisasi *material use-less* dalam bentuk limbah, dan minimisasi *energy lost* dalam bentuk *pollutant*.

Dalam rangka mengaplikasikan prinsip-prinsip sistem alami pada sistem buatan (*man-made system*), maka beberapa karakteristik ekosistem alami yang harus diperhatikan oleh manufaktur menurut Lowe (1996:448-449) adalah:

1. Di dalam ekosistem alami, efisiensi dan produktivitas berada dalam keseimbangan yang dinamis melalui daya lentingnya sendiri. Perubahan terhadap keseimbangan tersebut akan menghancurkan ekosistem itu sendiri;
2. Ekosistem tidak mengenal adanya limbah, dalam pengertian sebagai sesuatu yang tidak dapat dimanfaatkan kembali bagi kehidupan sistem tersebut, dan nutrisi yang dibutuhkan oleh suatu spesies dihasilkan oleh spesies lainnya tanpa ada yang terbuang;
3. Bagian yang terbesar dari aliran energi dikonsumsi oleh proses dekomposisi guna mendaur ulang limbah yang dimanfaatkan kembali bagi kehidupan ekosistem;

4. Bahan beracun tidak tersimpan atau dipindahkan pada skala ekosistem dalam jumlah yang besar, akan tetapi disintesis dan dimanfaatkan kembali oleh spesies sesuai dengan kebutuhan individualnya;
5. Materi dan nutrien disirkulasikan secara terus menerus dan ditransformasikan secara sempurna, sistem digerakkan oleh energi matahari dan dalam perjalanan waktu menyimpannya dalam bentuk bahan bakar fosil;
6. Ekosistem bersifat dinamis, dan determinasi pelaku ekosistem adalah dalam pengertian suatu proses;
7. Dalam ekosistem dimungkinkan aktivitas spesies secara independen, namun tetap berada dalam pola aktivitas spesies secara keseluruhan, serta kerjasama dan kompetisi berlangsung dalam suatu keseimbangan;
8. Setiap komponen ekosistem mempunyai fungsi ganda setara dengan tingkat keterkaitannya dengan komponen lainnya;
9. Relung ekologi setiap komponen dalam sistem identik dengan total keterkaitan yang bersangkutan dengan komponen lainnya, serta mencerminkan prasyarat fisik, kimiawi, dan biologi yang dibutuhkan untuk melangsungkan kehidupan dan reproduksinya dalam ekosistem.

Kecenderungan aplikasi teknologi manufaktur masa depan mengarah pada sistem manufaktur model siklus tertutup yang pada intinya menuju sasaran pembangunan manufaktur yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan (Graedel & Allenby, 1995:21-22).

Sasaran pembangunan manufaktur berkelanjutan/manufaktur hijau diantaranya adalah menerapkan:

1. Penghematan pemakaian bahan baku (*dematerialization*)
2. Substitusi materi bahan melalui penggunaan bahan baku yang lebih bersahabat lingkungan (*more environmentally suitable materials*).

3. Perbaiki pola pemanfaatan intensitas energi dan waktu melalui metode dekarbonisasi (*decarbonizations*) dan mereduksi penggunaan energi, artinya; bahwa dengan menurunkan intensitas energi akan berimplikasi pada penurunan polutan secara signifikan.
4. Sebagai agen perubahan menjadi sistem ekologi industri, menggunakan sistem komputerisasi teknologi dan informasi untuk memonitor seluruh operasi teknologi guna meyakinkan prinsip-prinsip ekologi industri dapat diterapkan dalam rancangan, dan mencegah terjadinya kebocoran-kebocoran dan mencegah arus material yang tidak perlu.
5. Ekologi manufaktur hijau yang dapat memberikan implikasi optimalisasi pemanfaatan bahan, energi, biaya dan interaksi manufaktur dengan lingkungannya.

Beberapa alternatif pengembangan sumber energi nonkonvensional yang dikembangkan untuk mengganti sumber energi konvensional yang terbatas jumlahnya adalah sebagai berikut:

1. Energi matahari; cahaya matahari dapat diubah menjadi energi listrik dengan jalan menangkap cahaya matahari dengan beribu-ribu fotosel. Fotosel dapat dibuat dari silikon yang sisi-sisinya dilapisi dengan Boron dan Arsen. Untuk mendapatkan voltase yang tinggi dan arus yang kuat, ribuan fotosel dihubungkan secara seri-paralel. Energi matahari dapat juga diubah menjadi energi panas dengan pertolongan cermin cekung.
2. Energi panas bumi; panas dari gunung berapi bersumber dari magma. Bila di dekat magma tersebut terdapat cadangan air maka air itu akan mendapatkan panas. Rembesan air panas ke permukaan bumi dapat merupakan sumber air panas, berupa semburan uap atau semburan air panas. Panas bumi berupa uap air panas

dapat digunakan untuk menggerakkan turbin yang dapat menggerakkan generator listrik.

3. Energi angin; langsung dapat diubah menjadi listrik dengan menggunakan kincir angin yang dihubungkan dengan generator listrik.
4. Energi pasang surut; dapat dimanfaatkan dengan menggunakan dam yang memiliki pintu air yang dapat diatur pembukaannya. Pada saat air laut pasang, air laut masuk ke dalam dam melalui pintu air. Bila air surut maka air laut akan ke luar juga melalui pintu air yang sama. Di pintu air itulah dipasang turbin yang dapat menggerakkan generator listrik.
5. Energi biogas; prinsipnya adalah memanfaatkan jasad hidup sampah melalui cara pembusukan dengan pertolongan bakteri pengurai. Bakteri itu diperoleh dari kotoran kerbau atau sapi. Gas yang sebagian besar adalah metan dapat dibakar untuk keperluan masak memasak.
6. Energi biomassa; bahan bakunya adalah sampah organik. Panas yang timbul, digunakan untuk memanaskan ketel uap. Uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan generator listrik.

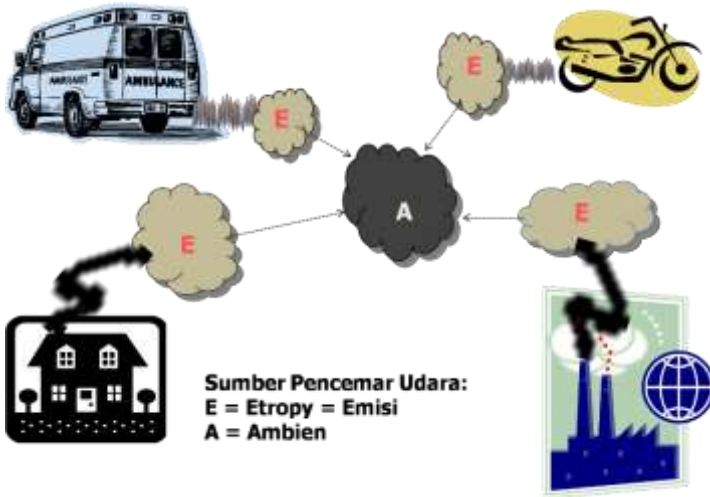
Pencemaran Lingkungan Manufaktur

Pencemaran adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, makhluk tak hidup atau zat, energi, atau komponen lain ke dalam lingkungan oleh kegiatan manusia sehingga kualitas lingkungan hidup rusak hingga ke tingkat kualitas tertentu yang dapat menyebabkan lingkungan hidup tidak mampu memenuhi fungsinya dengan baik.

Pencemaran Udara.

Secara umum udara yang tercemar atau pencemar udara dapat dibagi menjadi dua kelompok pengukuran yaitu ukuran kualitas udara emisi dan pengukuran kualitas udara ambien. Kualitas udara emisi adalah keadaan jumlah kadar dan parameter bahan pencemar udara yang keluar dari sumber pencemar udara. Contoh emisi adalah gas buang yang keluar dari knalpot kendaraan bermotor, asap yang keluar dari cerobong asap kegiatan industri, asap yang keluar dari sisa pembakaran sampah, dan asap yang keluar dari kegiatan dapur rumah tangga.

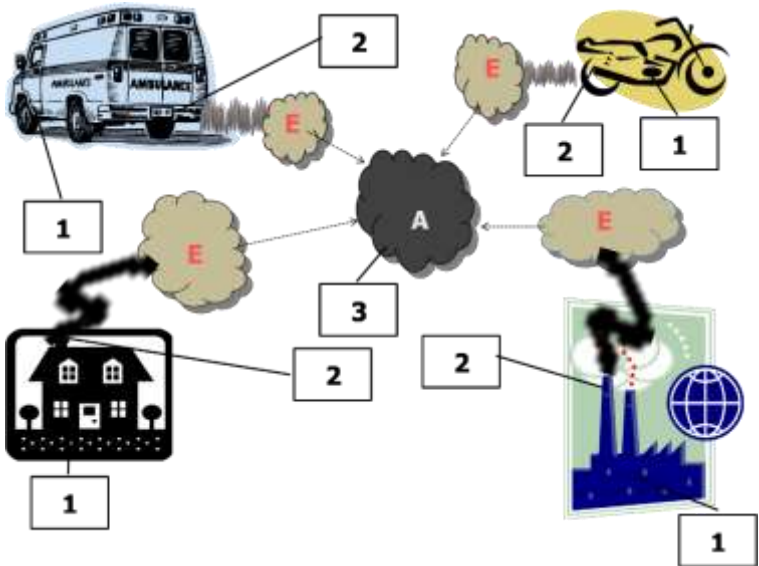
Udara ambien adalah udara bebas dipermukaan bumi yang terdapat pada lapisan troposfer yang berada di dalam wilayah tertentu yang dibutuhkan makhluk hidup dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. Selanjutnya untuk mengetahui kualitas lingkungan udara yang dicemari, maka udara tercemar adalah udara yang memiliki nilai parameter yang melampaui baku mutu lingkungan. Definisi baku mutu udara ambien adalah kadar zat, energi, dan komponen lain yang terbentuk di udara bebas. Sedangkan emisi adalah zat, energi dan komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar.



Gambar 24. Pencemaran Udara Ambien oleh Gabungan Emisi

Sebagian besar pencemaran udara dihasilkan oleh kegiatan manusia yaitu aktivitas kegiatan transportasi, kegiatan industri dan kegiatan rumah tangga. Bahan pencemar tersebut berasal dari sisa proses pembakaran energi yang tidak sempurna, yaitu terjadinya proses-proses transformasi energi dari energi potensial menjadi energi kinetik yang berlangsung secara tidak efisien ($\text{efficiency} = 1 - \text{Entropy}$). Proses pembakaran bahan bakar seperti Bensin, Solar atau LNG pada kendaraan bermotor dan industri, proses pembakaran batubara pada kegiatan industri, proses pembakaran Minyak Tanah atau LPG pada kegiatan rumah tangga, kegiatan pembakaran sampah, dan lain sebagainya selalu menghasilkan *entropy* dalam bentuk; panas, bising, getaran dan partikulat asap. Partikulat asap hasil pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor umumnya mengandung; Carbon dioksida (CO_2), Nitrogen dioksida (NO_2), Sulfur dioksida (SO_2), Hidrokarbon (HC), Timbal (Pb),

Kadmium (Cd) dan lain sebagainya. Emisi adalah pencemar udara yang keluar dari knalpot kendaraan bermotor, asap dari cerobong industry, asap dari kegiatan dapur rumah tangga. Ambient adalah pencampuran bahan pencemar udara yang berasal dari berbagai sumber emisi (asap knalpot + asap cerobong industry + asap dapur rumah tangga + asap lainnya).



Gambar 25. Hirarkhi Manajemen Emisi dan Ambient

Berdasarkan atas Gambar 25, maka hirarkhi manajemen atau mengelola pencemar udara dapat dibagi menjadi 3 (tiga) tahap yaitu: mengelola transformasi energi dan materi, mengelola kualitas udara emisi, dan mengelola kualitas udara ambient.

Manajemen pencemar udara tahap-1 (Pengelolaan Transformasi Energi): melakukan perbaikan kualitas sistem pembakaran energi, penggunaan teknologi ramah lingkungan, penggunaan energi yang berkualitas. Manajemen pencemar udara tahap-2 (Pengelolaan Emisi): penggunaan alat saringan, penggunaan air penyerap bahan pencemar. Manajemen pencemar udara tahap-3 (Pengelolaan Ambien): penggunaan vegetasi penyerap ambien.

1. Mengelola transformasi energi dan materi,
Mengelola transformasi energy untuk menghasilkan pencemar udara minimum meliputi perbaikan sistem pembakaran bahan bakar atau energy yang digunakan, baik yang terjadi pada kendaraan bermotor, industry dan rumah tangga. Sistem pembakaran yang berkualitas baik adalah mengelola besar suplai bahan bakar, jumlah udara dan besaran api pemantik untuk proses pembakaran hingga menghasilkan sisa pembakaran berupa asap yang jumlah parameter pencemarnya paling minimum. Cara lain mengelola transformasi energy dalam rangka meminimumkan pencemaran udara adalah dengan mengganti bahan bakar yang kurang berkualitas dengan bahan bakar yang berkualitas, misalnya mengganti penggunaan bahan bakar solar dengan menggunakan bahan bakar gas pada kendaraan bermotor. Mengganti bahan bakar minyak tanah yang biasanya digunakan masyarakat sebagai bahan bakar kompor untuk menanak nasi dengan bahan bakar gas LPG sehingga dihasilkan kualitas api yang baik dengan polutan yang minimum. Cara lain mengelola transformasi energy untuk meminimumkan pencemaran udara adalah dengan mengganti penggunaan mesin motor yang usang dengan mesin motor yang baru dan berkualitas baik (kendaraan baru lebih bersih asap knalpotnya dibanding kendaraan usang yang banyak mengeluarkan asap).
2. Mengelola kualitas udara emisi.

Mengelola kualitas udara emisi pada kendaraan bermotor dapat dilakukan pada saringan knalpot, membuat saringan knalpot yang minimum mengeluarkan jumlah asap. Mengelola kualitas udara emisi dari industri dapat dilakukan pada cerobong asap industri, memperbaiki sistem saringan di ujung cerobong dan memperbaiki sistem penangkapan debu yang berterbangan (*fly-ash*) dan debu yang mengendap di tungku pembakaran (*bottom-ash*). Menghilangkan sumber timbulnya pencemaran udara oleh kendaraan bermotor dapat dilakukan misalnya dengan pelarangan memproduksi bahan bakar yang mengandung timbal atau zat Pb pada produsen pembuat bahan bakar. Cara lain adalah dengan mendesain dan menciptakan sedemikian rupa konstruksi mesin kendaraan bermotor hingga menghasilkan pembakaran yang berkualitas dan asap sisa pembakaran yang tidak mengandung bahan berbahaya bagi kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.

3. Mengelola kualitas udara ambient.

Salah satu cara yang paling sederhana dalam mengelola kualitas udara ambient adalah dengan cara menangkap pencemar udara dengan vegetasi berdaun banyak. Menanam berbagai jenis vegetasi atau pohon-pohon besar yang mempunyai daun banyak di berbagai tempat dan di lahan terbuka hijau. Daun-daun memiliki uap air di permukaannya dapat menangkap setiap bahan pencemar udara atau asap yang mendekatinya, sebagian dari bahan pencemar udara seperti CO₂ secara langsung dapat dimanfaatkan untuk proses fotosintesa. Pada saat hujan turun maka bahan pencemar yang melekat di daun akan jatuh ke tanah bersama air hujan.

Pencemaran Air

Pencemaran air, yaitu masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia sehingga kualitas air menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan tidak lagi berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Jenis industri yang umumnya cenderung memberikan pencemaran terhadap air adalah industri yang kegiatannya menggunakan air sebagai sebagai salah satu sumber daya. Sebagai contoh industri yang menggunakan banyak air diantaranya adalah industri tekstil yang memiliki proses basah tekstil, industri minuman, industri makanan dan lain sebagainya.

Penanggulangan pencemaran air dilakukan dengan cara “mengelola limbah di sumbernya ” (*in pipe system*) yaitu melalui perbaikan dan penyempurnaan teknologi proses produksi yang mampu menghasilkan limbah dan pencemaran yang minimal. Langkah lain yang dapat dilakukan adalah “tindakan 5 r” yaitu *reduce, reuse, recycle, recovery* dan *rethink/re-engineering* yang dilakukan terhadap keseluruhan penggunaan sumber daya yang ada di industri tersebut. Apabila langkah tersebut “masih belum membuahkan hasil”, maka perlu dilakukan “pengelolaan terhadap limbah yang dihasilkan” (*end pipe system*) yaitu melakukan “pengolahan” (*treatment*) terhadap limbah yang telah terjadi di industri tersebut.

Pada pengelolaan pencemaran air menggunakan sistem “pengolahan limbah” (*end pipe system*) ini perlu diketahui dengan jelas “karakteristik limbah”, yaitu apakah bersifat organik, anorganik, atau gabungan organik-anorganik, serta sifat substansi limbahnya. Pada umumnya, sistem pengolahan limbah dapat dibagi dalam beberapa tahap perlakuan yaitu : perlakuan awal (*pre treatment*), pengolahan primer (*primary*

treatment), pengolahan sekunder (*secondary treatment*), pengolahan tahap tersier (*tertiary treatment*), dan pengolahan lumpur (*sludge treatment*). Selanjutnya untuk mengetahui apakah rencana pengelolaan lingkungan (RKL) telah berhasil/berjalan dengan baik atau tidak, maka proses pemantauan secara mandiri perlu dikembangkan guna lebih menjamin kelestarian lingkungan hidup, beraktivitas tanpa menghasilkan dampak negatif pencemaran terhadap lingkungan hidup.

Upaya pemantauan lingkungan guna mengelola dampak lingkungan pada perairan dapat dilakukan melalui dua cara yaitu:

- a. Upaya pemantauan langsung, yaitu metode pemantauan yang biasanya dilakukan terhadap konsentrasi pencemar primer. Tergantung dari jenis zat pencemar, misalnya untuk pencemaran air dilakukan pemantauan kandungan oksigen pada media air, apabila kadar oksigen menipis ini berarti telah terjadi pencemaran di media air tersebut. Pemantauan secara langsung bisa saja dilakukan secara kasat mata pada badan air yang telah tercemar, misalnya apabila ditemukan adanya perubahan fisik pada badan air seperti bau, warna, kekeruhan, rasa, dan sebagainya.
- b. Upaya pemantauan tidak langsung terhadap kondisi lingkungan perairan dapat digunakan beberapa indikator yang dapat menunjukkan secara jelas bahwa telah terjadi suatu pencemaran. Misalnya untuk pencemaran air bersih dilakukan pengukuran terhadap kandungan bakteri coli (*Escherichia coli*) pada media air, apabila kandungan bakteri coli terlalu tinggi atau melampaui baku mutu maka hal ini berarti telah terjadi pencemaran pada air tersebut. Cara lain yang dapat dilakukan dalam pemantauan secara tidak langsung adalah dengan melakukan pengujian terhadap kondisi air seperti

parameter COD, BOD, partikel tersuspensi, kadar nutrisi yang terdapat dalam air, dan lain sebagainya.

- c. Cara lain yang dapat digunakan sebagai indikator biologis dalam menilai pencemaran air adalah penggunaan jenis makhluk hidup misalnya pengujian bakteri E-coli, adanya bakteri E-coli yang meningkat berarti terjadi pencemaran air yang bersumber dari tinja. Bentos dari jenis *Tubifex sp* dan *Melanoides tuberculata* dapat dijadikan sebagai indikator adanya oksigen terlarut yang rendah dan padatan tersuspensi tinggi. Kangkung (*Ipomoea aquatica*) dapat dipakai sebagai indikator menentukan adanya unsur Cd, Hg, Cu, Mn, dan Zn dalam air. Alga biru (*Microcystis sp*) dapat digunakan sebagai indikator nitrogen konsentrasi yang tinggi pada air. Alga biru hijau (*Anabaena sp*) dapat digunakan sebagai indikator dampak penggunaan pupuk fosfat. Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) sebagai indikator pencemaran organik, dan lain sebagainya.

Tujuan utama pengolahan air limbah adalah untuk mengurangi BOD, partikel tercampur, serta membunuh organisme patogen. Selain itu, diperlukan juga tambahan pengolahan untuk menghilangkan bahan nutrisi, komponen beracun, serta bahan yang tidak dapat didegradasikan agar konsentrasinya menjadi rendah. Sehingga untuk itu diperlukan pengolahan secara bertahap agar bahan-bahan pencemar dalam air dapat dikurangi.

Bahan organik yang terdapat pada air limbah berasal dari rantai carbon (C) dan keberadaannya dalam air dinyatakan dengan angka BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan angka COD (*Chemical Oxygen Demand*). Pada pengujian kualitas air di laboratorium terdapat istilah BOD₅ yaitu banyaknya oksigen dalam ppm atau miligram/liter (mg/l) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri (oksigen biologis), sehingga air limbah tersebut menjadi

jernih kembali. Untuk itu diperlukan waktu 100 hari pada suhu 20°C untuk mengetahui kualitas air limbah. Akan tetapi bila pengujian dilakukan di laboratorium maka diperlukan waktu 5 hari sehingga dikenal dengan istilah BOD₅.

Dengan demikian makna angka BOD ini adalah "apabila semakin tinggi nilai BOD, maka semakin kotor air" yang sedang diteliti tersebut. Sedangkan yang dimaksud dengan angka COD adalah banyaknya oksigen kimia dalam ppm atau miligram/liter (mg/l) yang dibutuhkan untuk menguraikan benda organik dalam limbah cair secara kimiawi (reaksi oksidasi). Makna angka COD ini adalah "apabila semakin tinggi nilai COD, maka semakin kotor air" yang sedang diteliti tersebut.

Bila dibandingkan dengan reaksi COD yang hanya memakan waktu sekitar 2 jam, maka reaksi uji BOD relatif sangat lambat karena sangat tergantung pada kerja bakteri. Reaksi uji COD relatif lebih cepat karena tidak tergantung pada cara kerja bakteri.

Secara garis besar kegiatan pengolahan air limbah industri dapat dikelompokkan menjadi enam bagian meliputi :

1. Pengolahan pendahuluan (*pre treatment*)
2. Pengolahan pertama (*primary treatment*)
3. Pengolahan kedua (*secondary treatment*)
4. Pengolahan ketiga (*tertiary treatment*)
5. Pembunuhan kuman (*desinfection*)
6. Pembuangan lanjutan (*ultimate disposal*)

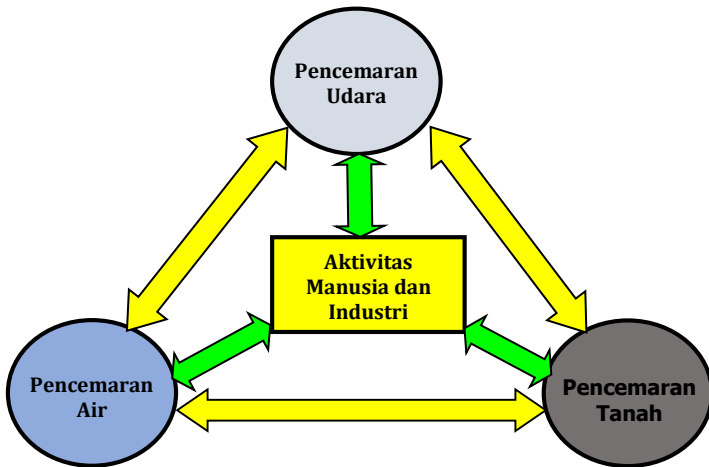
Perlu diketahui bahwa untuk mengolah air limbah tidak mutlak harus dilakukan seperti urutan tersebut di atas, melainkan harus disesuaikan menurut tujuan dan manfaat pengolahan air. Misalnya kegiatan penyaringan limbah cair bertujuan untuk menghilangkan zat-zat padat dengan besaran tertentu. Kegiatan perajagan bertujuan untuk memotog benda-benda yang berada di dalam air limbah dari ukuran besar menjadi ukuran kecil. Bak penangkap pasir

bertujuan untuk menangkap pasir dan koral dalam air limbah. Bak penangkap lemak bertujuan untuk memisahkan benda-benda terapung seperti minyak dan lemak.

Proses pada tangki ekualisasi bertujuan untuk melunakkan air limbah. Bak netralisasi bertujuan untuk menetralkan zat-zat asam atau basa. Proses pengendapan dan pengapungan material limbah pada instalasi pengolah limbah berfungsi untuk memisahkan benda atau zat tercampur dalam air limbah. Reaktor lumpur aktif atau aerasi berfungsi untuk menghilangkan bahan-bahan organik, sedangkan karbon aktif berfungsi untuk menghilangkan bau dan menangkap benda atau zat yang tidak dapat terurai.

Bagaimana Mekanisme Pencemaran Lingkungan Hidup dapat Terjadi?

Secara teoritis pencemaran terhadap komponen lingkungan hidup pada dasarnya terjadi pada media udara, air, dan tanah. Proses kejadiannya bermula dari aktivitas kegiatan manusia dan industri. Kegiatan manusia dalam mengelola industri merupakan sumber utama pencemaran terhadap lingkungan hidup baik terhadap air, udara maupun terhadap tanah. Bagaimana kegiatan industri dapat mencemari udara, air dan tanah dapat dijelaskan pada skema trilobal pencemaran berikut.



Gambar 26. Trilateral Pencemaran Lingkungan Hidup

Gambar di atas menjelaskan sumber pencemar berasal dari segala bentuk aktivitas kegiatan manusia termasuk kegiatan manusia yang mengelola industry manufaktur. Sesuai dengan hukum alam yaitu termodinamika kedua, bahwa setiap peristiwa transformasi energi akan selalu disertai entropy. Karena setiap material selalu mengandung energy baik dalam bentuk energy potensial ataupun energy kinetik, maka transformasi materi yang terjadi pada berbagai kegiatan industri manufaktur juga pasti akan diikuti timbulnya limbah dan polutan sebagai entropy.

Aktivitas kegiatan manusia dan industri manufaktur akan selalu mengikuti pola-pola hukum termodinamika kedua yaitu menghasilkan limbah dan polutan sebagai entropy yang dilepas ke udara, air, dan ke tanah. Apabila zat pencemar utama dilepaskan ke udara maka bahan pencemar di udara akan bereaksi dengan molekul lainnya yang ada di udara dan jatuh bersama hujan ke tanah dan ke air sehingga mencemari tanah dan air. Bahan pencemar yang baru saja dilepaskan ke lingkungan disebut sebagai bahan pencemar primer atau

polutan primer. Material pencemar utama yang bereaksi dengan material pencemar utama lainnya di media udara akan menghasilkan material atau zat kimia pencemar sekunder atau polutan sekunder.

Apabila zat pencemar dari industri manufaktur dilepaskan terlebih dahulu ke media air, maka dampak lanjutannya adalah terhadap media tanah mencemari kualitas tanah, kemudian zat pencemar dari media air dan tanah akan menguap ke udara sehingga pencemaran akan terjadi pada udara, dan sebaliknya apabila bahan pencemar dilepaskan pertama kali ke media tanah maka dampak lanjutannya adalah terhadap air dalam tanah serta air di permukaan tanah disebut sebagai pencemar sekunder

Apabila pelepasan zat pencemar utama dilepaskan ke media tanah maka bahan pencemar di tanah bisa menguap ke udara dan mencemari udara, kemudian bersama hujan di atmosfer pencemaran tadi akan jatuh kembali ke tanah dan ke air sehingga mencemari tanah dan air. Pencemaran yang dilepas oleh manusia dan industri baik ke media tanah, udara ataupun ke air, dampak pencemaran tersebut akan kembali dirasakan oleh manusia dan industri melalui media air, tanah, dan udara yang dicemari tersebut. Dampak pencemaran ke tanah, air, dan udara tersebut akan dirasakan oleh manusia dalam bentuk penyakit dan menurunnya daya tahan tubuh serta kesehatan ataupun kualitas hidup manusia. Dampak pencemaran ke tanah, air, dan udara tersebut akan dirasakan oleh industri dalam bentuk menurunnya kualitas sumber daya yang akan dipakai oleh industri, misalnya air yang dibutuhkan industri untuk keperluan produksi dan sebagainya. Demikian seterusnya, setiap ada kegiatan pelepasan zat pencemar yang dilakukan oleh manusia dan industri manufaktur pada media tanah, air, dan udara akan kembali ke manusia dan pabrik/manufaktur/industri tersebut sebagai dampak negatif.

Pencemaran lingkungan sering diungkapkan dalam pembicaraan atau pemberitaan melalui media massa. Ungkapan tersebut bermacam ragam diterima masyarakat, antara lain pernyataan yang menyebutkan; pencemaran udara oleh gas buang kendaraan bermotor sangat terasa dikota-kota besar yang padat lalulintasnya; pencemaran sungai oleh limbah cair industri sangat mengganggu kehidupan di perairan; limbah pulp (bubur kayu) pabrik kertas mengandung BOD (*biological oxygen demand*) dan COD (*chemical oxygen demand*) yang tinggi; sampah bahan berbahaya beracun (B₃) mencemari air dan lain sebagainya.

Di dalam bahasa sehari-hari, pencemaran lingkungan dipahami sebagai sesuatu kejadian lingkungan yang tidak diinginkan, menimbulkan gangguan atau kerusakan lingkungan bahkan dapat menimbulkan gangguan kesehatan sampai kematian. Hal-hal yang tidak diinginkan yang dapat disebut pencemaran, misalnya udara berbau tidak sedap, air berwarna keruh, tanah ditimbuni sampah. Hal tersebut dapat berkembang dari sekedar tidak diinginkan menjadi suatu gangguan yang menyесakkan kenyamanan manusia. Udara yang tercemar, baik oleh debu, gas maupun unsur kimia lainnya dapat mengganggu bahkan menyakitkan saluran pernafasan, mata menjadi perih atau merah dan berair. Bila zat pencemar tersebut mengandung bahan berbahaya dan beracun (B₃), kemungkinan dapat berakibat fatal pada kematian makhluk hidup.

Hal yang sama dapat pula terjadi pada air. Air yang tercemar dapat menimbulkan gangguan gatal pada kulit bagi orang yang mandi menggunakan air tercemar, atau menimbulkan sakit saluran pencernaan bila air tersebut terminum dan bahkan dapat berakibat lebih jauh bila ternyata pencemar air mengandung B₃. Demikian pula halnya dengan tanah yang tercemar oleh limbah B₃, selain dapat meracuni makhluk hidup yang berada di dekatnya juga dapat mengkontaminasi sumber air tanah yang terdapat di sekitarnya.

Kebiasaan manusia yang suka membuang limbah ke lingkungan akan menimbulkan masalah pada lingkungan yang lebih luas. Misalnya, limbah gas dapat terbawa oleh angin dari satu tempat ke tempat lainnya. Limbah cair atau padat yang dibuang ke sungai, akan dihanyutkan oleh arus air dari hulu sampai jauh ke hilir hingga melampaui batas-batas wilayah yang akhirnya bermuara di laut atau danau yang seolah-olah laut, sungai atau danau menjadi tempat sampah. Limbah yang menimbulkan masalah dalam kehidupan kita antara lain berasal dari kegiatan pemukiman, industri, pertanian, pertambangan dan rekreasi.

Limbah pemukiman selain berupa limbah padat yaitu sampah rumah tangga, juga berupa tinja dan limbah cair yang semuanya dapat mencemari lingkungan perairan. Air yang tercemar akan menjadi sumber penyakit yang dapat menular ke berbagai agen.

Limbah industri baik berupa gas, cair maupun padat umumnya termasuk kategori atau dengan sifat limbah B₃. Kegiatan industri disamping bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan, ternyata juga menghasilkan limbah sebagai pencemar lingkungan perairan, tanah, dan udara. Limbah cair, yang dibuang ke perairan akan mengotori air yang dipergunakan untuk berbagai keperluan dan mengganggu kehidupan biota air. Limbah padat akan mencemari tanah dan sumber air tanah.

Limbah gas yang dibuang ke udara pada umumnya mengandung senyawa kimia berupa Sulfur dioksida (SO₂), Nitrogen dioksida (NO₂), Karbon dioksida (CO₂), Karbon monoksida (CO), dan gas-gas lain yang tidak diinginkan. Dengan adanya SO₂ dan NO₂ di udara, maka dapat menyebabkan terjadinya hujan asam yang selanjutnya dapat menimbulkan kerugian karena merusak bangunan, ekosistem perairan, lahan pertanian dan hutan.

Limbah bahan berbahaya dan beracun (B₃) yang sangat ditakuti adalah limbah dari industri kimia. Limbah dari industri kima pada umumnya mengandung berbagai macam unsur logam berat yang mempunyai sifat akumulatif dan beracun (*toxic*) sehingga berbahaya bagi kesehatan manusia. Limbah pertanian yang paling utama ialah pestisida, herbisida, fungisida dan pupuk. Walau pestisida digunakan untuk membunuh hama, ternyata karena pemakaiannya yang tidak sesuai dengan peraturan keselamatan kerja, pestisida menjadi biosida yaitu pembunuh kehidupan. Pestida yang berlebihan dalam pemakaiannya, akhirnya dapat mengkontaminasi sayuran dan buah-buahan yang dapat menyebabkan keracunan pada konsumen yang memakannya. Pupuk sering dipakai secara berlebihan, sisanya bila hanyut sampai di perairan dapat merangsang pertumbuhan gulma penyebab timbulnya eutrofikasi. Pemakaian herbisida untuk mengatasi eutrofikasi menjadi penyebab terkontaminasinya ikan, udang dan biota air lainnya.

Kegiatan pertambangan memerlukan proses lanjutan setelah mengalami pengolahan hasil tambang menjadi bahan yang diinginkan. Misalnya proses dipertambangan emas, memerlukan bahan air raksa atau mercury akan menghasilkan limbah logam berat cair penyebab keracunan syaraf dan merupakan bahan teratogenik. Kegiatan sektor pariwisata menimbulkan limbah melalui sarana transportasi, dengan limbah gas buang di udara, tumpahan minyak dan oli di laut sebagai limbah perahu atau kapal motor dikawasan wisata bahari.

Pencemaran Tanah oleh Industri Manufaktur.

Terdapat sumber daya alam atau komponen lingkungan yang dapat memperbarui dirinya sendiri yang lazim disebut

sebagai sumber daya terbarukan (*renewable resources*) dan sumber daya yang tidak dapat diperbarui (*non renewable resources*). Sumber daya yang dapat diperbarui berarti sumber daya tersebut memiliki kemampuan untuk memulihkan fungsi dan kapasitasnya secara berangsur-angsur setelah penyebab kemerosotan hilang atau berhenti. Tanah pada dasarnya merupakan sumber daya yang dapat memperbaiki dirinya sendiri apabila tidak ada intervensi oleh manusia terhadapnya. Intervensi yang dimaksud adalah adanya faktor pengubah fungsi tanah alami menjadi fungsi yang berbeda secara hakiki atau merubah sebagian besar komponen yang ada di dalam tanah tersebut. Daya memperbaiki diri tanah dapat hilang jika intervensi atau gangguan melampaui batas daya lenting komponen selaku bagian dari sistemnya.

Hilangnya kemampuan tanah untuk memperbaiki diri sendiri sesungguhnya tidak terjadi secara mutlak, akan tetapi hilang kemampuan tanah secara relatif menurut ukuran waktu manusia. Daya memperbaiki diri lingkungan akan tetap berlangsung pada ukuran waktu menurut alam. Contohnya adalah minyak bumi dikatakan sebagai sumber daya yang tak terbarui menurut ukuran waktu manusia, pada hal sesungguhnya pohon yang tumbang secara alami atau hewan yang mati secara alami dan terkubur dalam waktu jutaan tahun dapat berubah menjadi fosil hingga menjadi minyak fosil di dalam tanah. Komponen ekosistem bumi yang bersifat dapat diperbarui mencakup tanah, air, udara dan vegetasi, sedangkan yang bersifat tidak dapat diperbarui mencakup kontur permukaan tanah dan cadangan bahan tambang.

Suatu unsur lingkungan tanah dapat berubah karena tindakan langsung terhadapnya atau karena tindakan tak langsung berupa tindakan terhadap unsur-unsur lain yang berasosiasi dengannya. Unsur-unsur dan tindakan yang secara langsung dapat merubah keadaan masing-masing komponen dalam tanah adalah:

- a. Perubahan unsur tanah akibat cara pengolahan, pemberian pupuk seperti bahan organik, kapur, irigasi dan drainase.
- b. Perubahan aliran air dan hidrologi akibat pengambilan air dari sumber air, pembendungan sungai, penambatan aliran dalam waduk, pembagian air ke petak-petak sawah, drainase, dan penggunaan air dalam proses manufaktur.
- c. Perubahan bentuk dan kontur permukaan tanah akibat pembabatan lereng bukit, pengirisan, pemancungan dan pengguguran bukit, pendataran dan proses penimbunan cekungan permukaan tanah.
- d. Perubahan keberadaan jumlah jenis dan spesies flora dan fauna akibat pembukaan hutan atau padang rumput untuk berbagai keperluan, pengusahaan hutan untuk produksi kayu, penggunaan padang rumput untuk penggembalaan ternak.

Perlakuan dan tindakan terhadap tanah dapat berpengaruh pada air berupa pemasukan bahan pupuk, pestisida dan aliran dari proses erosi tanah. Pengolahan tanah dan pemberian bahan pupuk dapat berpengaruh pada sifat air, perubahan sifat air yang digunakan untuk irigasi dan perubahan hidrologi dapat pula berpengaruh pada tanah. Perubahan tanah, air dan hidrologi dapat mempengaruhi flora, dan perubahan eksistensi flora dapat pula berdampak pada fauna. Perubahan kontur permukaan tanah dapat berpengaruh pada kondisi tanah itu sendiri dan hidrologi. Perubahan hidrologi dapat terjadi karena adanya perubahan tanah, flora dan fauna yang terkait dengan perubahan laju aliran limpasan air, infiltrasi, perkolasi dan evapotranspirasi.



Gambar 27. Pencemaran Tanah oleh Sampah Industri

Menurut para ahli bidang pemanfaatan tanah dan lahan, bahwa terdapat empat golongan kegiatan pemanfaatan lahan yang dapat mempengaruhi kualitas tanah yaitu; i) pertanian, kehutanan, peternakan, dan perikanan; ii) permukiman termasuk pengadaan infrastruktur jalan dan sarana lainnya; iii) pertambangan; dan iv) industri.

Masing-masing kegiatan memiliki kekhususan ragam dan pola dampak, misalnya apakah dampak kegiatan pemanfaatan lahan dapat terjadi pada keseluruhan komponen lahan ataukah ada komponen tertentu yang secara spesifik dapat dikenal dengan jelas. Industri adalah salah satu kegiatan penggunaan lahan yang paling besar kepentingannya terhadap tanah, karena tanah merupakan sarana utama tempat berlangsungnya kegiatan industri.

Dengan demikian maka pencemaran terhadap tanah oleh suatu kegiatan akan berdampak langsung dan utama terhadap proses dan aktivitas industri, pertanian,

perkebunan dan penanaman tumbuhan lainnya. Dampak lanjutan dari pencemaran tanah adalah apabila tanah tercemar diguyur hujan, maka parameter pencemar tanah akan ikut hanyut oleh air ke aliran air dan terserap ke dalam tanah sehingga dapat mengkontaminasi sumber air dalam tanah.

Upaya pengelolaan kualitas tanah secara berkelanjutan dapat dilakukan dengan berbagai cara yang meliputi antara lain:

- a. Pengaturan tata ruang dan tata penggunaan lahan sesuai dengan fungsinya menurut ekosistem setempat.
- b. Mengatur dan mengendalikan interaksi antar komponen dalam tanah dan lingkungannya menuju ke arah yang menguntungkan secara berkelanjutan untuk pemenuhan kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya.
- c. Memperbaiki kualitas tanah (*recovery*) yang telah tercemar dengan cara memperkaya unsur hara atau nutrisi bagi kepentingan mikroorganisme tanah dan membiarkan tumbuhan dapat hidup di tanah tersebut secara mandiri.
- d. Mencegah intervensi manusia secara berlebihan terhadap suatu lingkungan yang merugikan tanah, menghilangkan segala gangguan terhadap tanah dan komponen-komponennya.

Upaya pemantauan terhadap kualitas tanah dapat dilakukan dengan cara :

- a. Secara langsung melihat secara kasat mata apakah telah terjadi perubahan-perubahan pada tanah dibandingkan dengan keadaan sebelumnya.
- b. Melakukan penelitian dengan mengambil sampel tanah tersebut dan memeriksakannya ke laboratorium.

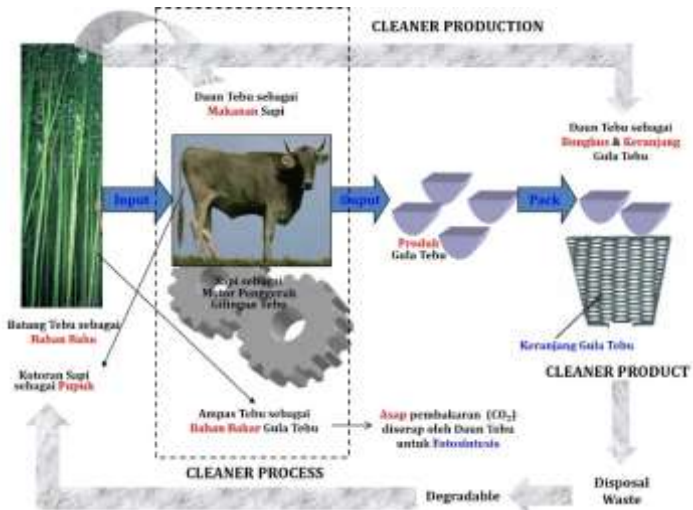
- c. Meneliti jumlah dan spesies flora dan fauna yang hidup di atas tanah atau lahan tersebut.
- d. Meneliti penyebaran dampak yang terjadi akibat pengaruh suatu kegiatan tertentu di tanah tersebut, misalnya dengan melihat banyak sedikitnya organisme hewan dan tumbuhan yang mati pada kawasan tersebut. Apabila banyak dan sudah menyebar berarti telah terjadi pencemaran pada tingkat konsentrasi yang tinggi.
- e. Pada tingkat konsentrasi zat pencemar yang rendah, pemantauan dapat dilakukan dengan melihat dan membandingkan tingkat pertumbuhan tanaman dalam suatu kawasan, terhadap kawasan lainnya dengan catatan tipe, jenis tanahnya dan waktu pertumbuhan harus sama. Umumnya tanah yang kondisinya telah tercemar mengakibatkan perkembangan tumbuhan dan tanaman di atasnya menjadi tidak optimal.

Produk, Proses, Produksi Bersih dan Minimisasi Limbah

Upaya pengelolaan lingkungan manufaktur pada awalnya terfokus pada pengolahan limbah di ujung pipa (*end pipe of treatment*). Derasnya tuntutan dari masyarakat global dan pembeli produk (konsumen dunia) terkait aspek keselamatan lingkungan hidup dan sumber daya alam selama proses produksi, membuat konsep pengelolaan lingkungan model lama harus diganti dengan konsep baru yang mengarah pada kegiatan manufaktur yang mampu meminimumkan dampak negatif pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup. Adanya tekanan dari dunia internasional terhadap kegiatan manufaktur, seperti keharusan menerapkan ISO 14000, penggunaan eco-label, syarat produk ramah lingkungan dan sebagainya memaksa manufaktur untuk mengikuti kehendak konsumen. Kehendak konsumen tersebut antara lain menginginkan kegiatan manufaktur harus ramah lingkungan, dan produk yang dihasilkan tidak membahayakan lingkungan hidup dan manusia.

Salah satu strategi untuk merealisasikan pembangunan industry berkelanjutan adalah mendorong pengembangan dan penerapan prinsip-prinsip Produksi Bersih. Konsep produksi bersih mengarahkan pelaku manufaktur untuk menciptakan strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan diterapkan secara terus menerus pada setiap kegiatan industry. Kegiatan manufaktur tersebut mulai dari kegiatan hulu sampai kegiatan hilir yang terkait dengan proses produksi, produk dan jasa. Tujuan penerapan konsep ini adalah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga dapat meminimumkan risiko kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan hidup.

Contoh penerapan konsep produksi bersih pada industri gula tebu dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 28. Pemanfaatan Sumber Daya Alam Sistem Siklus Tertutup

Siklus material yang terjadi di dalam ekosistem industri gula tebu dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Material dari batang tebu diekstraksi menjadi konsentrat cair gula tebu untuk selanjutnya dijadikan produk gula tebu.
2. Sisa batang atau ampas tebu dapat dimanfaatkan untuk dijadikan kayu bakar pada tungku pemanas gula tebu.
3. Daun tebu dapat dimanfaatkan untuk pembungkus (*packaging*) masing-masing gula tebu, untuk pembuatan keranjang tebu, dan untuk dijadikan sebagai sumber makanan hewan sapi, kerbau atau kuda yang

dimanfaatkan sebagai sumber energi pemutar gilingan tebu.

4. Material kotoran hewan sapi, kerbau atau kuda dapat dimanfaatkan sebagai pupuk di perkebun tebu yang terdapat di lingkungan industri gula tebu tersebut.
5. Tenaga sapi dijadikan sebagai sumber energi untuk menggerakkan alat gilingan tebu.
6. Pelumas alat gilingan tebu dapat saja menggunakan pisang yang bersifat lumas dan tidak toksik.
7. Asap sisa pembakaran ampas batang tebu dapat diserap oleh daun tebu di lahan perkebun tebu untuk proses fotosintesa.
8. Abu dan arang sisa pembakaran ampas batang tebu dapat dijadikan pupuk di lahan perkebun tebu.

Jadi, seluruh material yang dipakai dalam area industri gula tebu tersebut habis di dalam ekosistem industri gula tebu dan perkebunan tebu itu sendiri, dan yang keluar dari ekosistem industri gula tebu hanyalah produk gula tebu yang akan dipasarkan ke konsumen.

Dalam kerangka penerapan konsep produksi bersih pada sistem industri dapat dikemukakan ilustrasi contoh kegiatan proses pemanfaatan sumber daya alam baik materi maupun energi pada kegiatan industri gula tebu. Bahan baku utama untuk produksi maupun bahan baku pembantu untuk pembungkus produk (*packaging*) gula tebu ini diambil dari batang tebu. Berdasarkan teori penetapan lokasi industri (*site plan determinate*) secara teknis selalu mempertimbangkan aspek keuntungan ekonomis, sehingga tipologi industri gula tebu tentunya akan lebih condong pabrik dibangun berdekatan dengan sumber bahan baku yaitu di perkebunan tebu.

Secara ekologis, penetapan lokasi industri atau pabrik gula tebu yang berada di dekat perkebunan tebu akan dapat membantu memanfaatkan entropi berupa limbah ampas tebu

sebagai bahan bakar, sisa pembakaran dan kotoran sapi dimanfaatkan sebagai pupuk perkebunan tebu, asap pencemaran udara (CO₂) yang dikeluarkan dari proses produksi dimanfaatkan secara alami untuk proses fotosintesis vegetasi daun tebu sehingga tidak terjadi pencemaran terhadap lingkungan hidup.

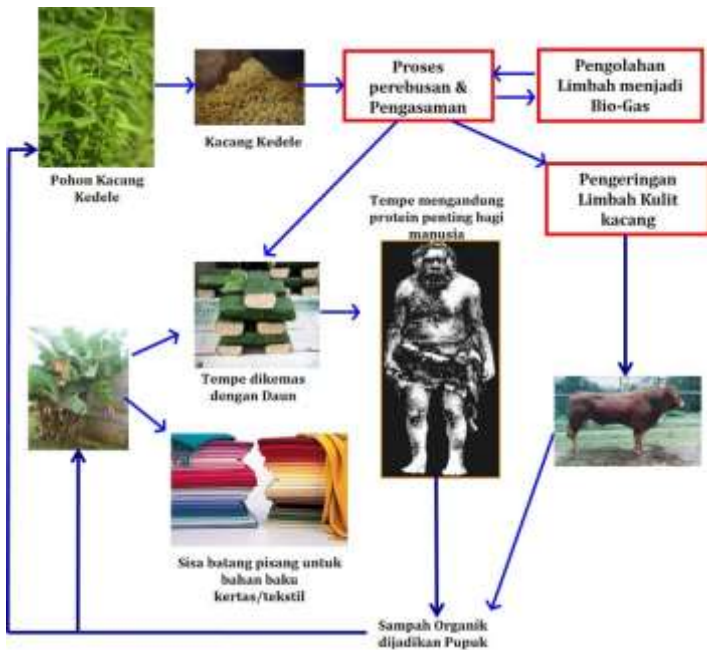
Dari Gambar tersebut di atas, proses produksi bersih pada sistem industri yang memiliki sistem siklus tertutup berlangsung dengan cara; batang pohon tebu yang telah diseleksi kualitasnya ditebang untuk digunakan sebagai bahan baku utama untuk digiling diekstraksi menjadi gula tebu. Ampas batang tebu yang telah diambil saripatinya (ampas telah kering) dijadikan sebagai bahan kayu bakar untuk dijadikan energi memanaskan dan menguapkan ekstrak tebu hingga menjadi kental dan membentuk kristal dan merah kecoklatan. Sumber energi yang digunakan untuk menggiling tebu, memeras, mengekstraksi tebu adalah tenaga hewan sapi, kerbau atau kuda yang akan memutar alat penggiling. Pemanfaatan sumber energi terbarukan (*renewable energi resources*) yaitu tenaga hewan sapi, kerbau atau kuda tersebut merupakan implementasi konsep penggunaan energi yang ramah lingkungan (*environmentally friendly energy uses*).

Makanan hewan sapi, kerbau atau kuda juga dapat diperoleh dari lokasi industri tersebut yaitu daun-daun tebu yang memiliki nutrien kaya vitamin yang telah diseleksi sebelum proses ekstraksi tebu. Di dalam ekosistem industri gula tebu ini terjadi simbiosis pemanfaatan limbah industri, kotoran hewan sapi, kerbau atau kuda untuk dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pada perkebunan tebu. Pasca proses produksi untuk finishing produk, biasanya produk gula tebu masing-masing dikemas atau dibungkus (*packaging*) menggunakan daun tebu, dan untuk mendistribusikan produk ke konsumen maka produk gula tebu yang sudah dibungkus tersebut dalam

jumlah tertentu dimasukkan ke dalam keranjang (sebagai pengganti "box" pada kemasan produk konvensional) yang materialnya juga terbuat dari pilinan daun tebu.

Dari ilustrasi kegiatan industri gula tebu seperti tersebut di atas, maka sesungguhnya konsep industri yang berwawasan lingkungan atau istilah populernya konsep ekologi industri telah terwujud secara baik dan benar yang membuktikan pula bahwa pelaksanaan konsep-konsep "*cleaner product*", "*cleaner process*", "*cleaner production*" berlangsung secara baik dan benar pula. **Asas produk bersih** lingkungan (*cleaner product*) gula tebu diwujudkan dalam bentuk kandungan bahan (*material content*) yang terdapat dalam produk gula tebu yang tidak mengandung bahan berbahaya dan beracun (non-B₃), kemasan pembungkus berupa daun tebu yang tidak membahayakan kesehatan konsumen maupun lingkungan hidup bila nantinya dibuang ke tempat sampah. **Asas proses bersih** lingkungan (*cleaner process*) gula tebu pada pabrik diwujudkan dalam bentuk jumlah limbah minimum atau limbahnya yang dapat digunakan kembali (*reuse*) ataupun limbahnya yang dapat didaur ulang (*recycling*). Pencemaran udara oleh asap pembakaran ampas tebu menjadi energi dalam bentuk CO₂ dapat diserap oleh vegetasi daun berkhlorofil tebu di perkebunan tebu untuk proses fotosintesa dan produksi tebu, sedangkan abu dan arang sisa proses pembakaran dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pada perkebunan tebu. **Asas produksi bersih** lingkungan (*cleaner production*) pembuatan gula tebu diwujudkan dalam bentuk; 1) pabrik memanfaatkan sumber daya alam yang bersifat dapat diperbarui (*renewable resources*), 2) menggunakan material alami dan tidak menggunakan material sintetik, 3) limbah yang terjadi dapat dimanfaatkan kembali untuk kegiatan produksi, 4) tidak ada pencemaran lingkungan karena seluruh material habis terpakai dalam siklus material industri.

Apabila seluruh kegiatan industri mampu mewujudkan ketiga asas tersebut di atas (*cleaner product, cleaner process, cleaner production*) maka secara otomatis industri telah berlangsung menuju keberlanjutan ekologi yang disebut oleh Fiksel (1996) sebagai industri yang ecoefisien dalam pembangunan sumber daya alam dan lingkungan hidup secara berkelanjutan (*sustainable resources development*). Contoh lain penerapan konsep produksi bersih adalah pada industri tempe dapat kita pelajari sebagaimana dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 29. Produksi Bersih pada Industri Tempe

Bahan baku utama dan bahan pembantu pembuatan tempe pada industri tempe antara lain adalah; kedelai, ragi, daun

pisang, air dan energi gas. Proses pembuatan tempe dilakukan secara manual dengan cara kedelai dimasak hingga matang lalu direndam sehari semalam dan dicuci bersih (agar tidak asam), setelah itu kedelai dikupas dan diikuti proses peragian dan dikemas, proses peragian sampai menjadi tempe kurang lebih 2 (dua) hari.

Entropi yang dihasilkan oleh industri tempe antara lain; kulit kacang yang berasal dari pengelupasan kulit ari kedelai, limbah cair yang bersumber dari proses pencucian kedelai, pencucian peralatan proses, pencucian lantai dan pemasakan serta larutan bekas rendaman kedelai. Limbah cair industri tempe biasanya dibuang begitu saja ke sungai tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga dapat mencemari sungai dan menimbulkan bau busuk. Jumlah limbah cair yang dihasilkan dari industri tempe kira-kira 15 s/d 20 liter/kg bahan baku kedelai.

Limbah gas yang berasal dari proses perebusan dan peragian berupa gas CO₂, SO₂ dan NO₂ sehingga dapat mengakibatkan penurunan kualitas udara disekitarnya.

Pengelolaan lingkungan industry tempe agar mengarah pada kegiatan produksi bersih, maka pemilihan biji kedelai yang berkualitas tinggi mutlak diperlukan, agar proses produksi tidak banyak menghasilkan limbah disamping mampu dihasilkan tempe yang berkualitas.

Adapun cara pengelolaan material limbah industri tempe adalah sebagai berikut:

1. Material limbah kulit kacang kedelai dikeringkan untuk dipakai sebagai bahan baku pakan ternak sapi, kerbau atau ternak lainnya. Selanjutnya kotoran ternak yang dihasilkan dari pemanfaatan limbah industri tempe bisa dimanfaatkan sebagai pupuk tanaman.
2. Material limbah cair industry tempe bisa dimanfaatkan sebagai biogas, biogas bisa dimanfaatkan untuk proses

perebusan kedelai untuk industri tempe atau keperluan rumah tangga lainnya.

3. Gas buang hasil pembakaran dapat diserap oleh daun pohon pisang guna dimanfaatkan secara alamiah untuk proses fotosintesa. Daun pisang dapat dipakai untuk pembungkus tempe, sedangkan pisang dapat dikonsumsi manusia, gedebog pisang dikeringkan bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku industri pulp untuk pembuatan kertas atau tekstil.

Penilaian daur hidup material dan siklus produk dilakukan mulai dari; i) ekstraksi material bahan baku, ii) proses produksi, iii) distribusi barang, iv) penggunaan produk barang, dan v) pembuangan produk sebagai sampah. Contoh sederhana tentang siklus material produk Tempe: bahan baku tempe adalah kedelai, kedelai direbus untuk kemudian dilakukan proses peragian hingga menjadi tempe yang sudah dikemas. Tahapan siklus produk selanjutnya adalah Tempe tersebut dimakan oleh manusia guna dijadikan atau diproses menjadi energi untuk bekerja, dan disamping itu terbentuk limbah (tinja). Limbah dari pemanfaatan Tempe oleh manusia selanjutnya akan diurai oleh bakteri pengurai di dalam septic-tank, hasil penguraian tinja oleh bakteri akan menghasilkan produk-produk mineral dalam tanah. Dalam perjalanan waktu maka unsure mineral atau hara hasil dekomposisi tinja akan diserap oleh akar-akar tumbuhan (kedelai).

Empat prinsip dasar yang melekat pada kegiatan Green Production/Cleaner Production dalam system manufaktur adalah sebagai berikut:

1. Prinsip kehati-hatian (*precautionary*); tanggung jawab yang utuh dari produsen agar kegiatan manufaktur tidak menimbulkan dampak yang merugikan sekecil apapun.
2. Prinsip pencegahan (*preventive*): produsen harus dapat memahami siklus hidup produk (*product life cycle*) mulai dari tahap pemilihan bahan baku sampai pada tahap terbentuknya limbah.

3. Prinsip demokrasi: komitmen & keterlibatan semua pihak dalam rantai produksi & konsumsi.
4. Prinsip holistik: produsen harus dapat memahami aspek keterpaduan (*integrated*) dalam pemanfaatan SDA & konsumsi sebagai satu daur yang tidak dapat dipisahkan.

4 (empat) Kategori Pencegahan Pencemaran oleh Kegiatan Manufaktur adalah sebagai berikut:

1. Praktik-praktik kebersihan dalam rumah (*Good housekeeping*) yang menjamin pemanfaatan sumber daya secara efisien, dan mencegah terjadinya kehilangan-kehilangan bahan baku selama proses (*material losses*), atau oleh karena penggunaan bahan yang terlalu berlebihan.
2. Substitusi Bahan baku dan bahan pembantu guna mereduksi atau mengeleminir kehadiran zat-zat yang tidak dikehendaki seperti; logam berat, zat-zat karsinogenik, atau CFCs.
3. Perbaikan proses manufaktur kearah penyederhanaan teknologi produksi, melakukan pengurangan penggunaan air dan energi, atau mengintrodusir "sistem daur tertutup" (*closed-loop recycling*).
4. Pemulihan sumber daya dengan cara mengambil material limbah & memanfaatkannya kembali sebagai bahan masukan (*input*) pada proses manufaktur lainnya, atau digunakan kembali untuk penggunaan pembuatan produk kualitas kedua (*secondary applications*).

Beberapa istilah atau penamaan produk ramah lingkungan diantaranya adalah *cleaner products* = *green product* = *eco-product* = Produk Bersih = Produk Ramah Lingkungan.

Ciri-ciri produk yang ramah lingkungan adalah sebagai berikut;

1. Produk yang menggunakan material non toksik;
2. Produk yang tahan lama tanpa pengawet atau tanpa zat aditif;
3. Produk yang tidak mencelakai konsumen;
4. Produk yang diproses (manufaktur) dengan *zero waste* dan atau *zero pollutant*;
5. Produk yang diproses (manufaktur) dengan *zero accident*;
6. Produk yang diproses (manufaktur) menggunakan material renewal (*renewable resources*);
7. Produk yang diproses (manufaktur) menggunakan energi terbarukan;
8. Produk yang diproses (manufaktur) mengikuti aturan hukum (peraturan nasional-internasional) dan tidak melanggar hukum tersebut; dan atau
9. Produk pascapakai oleh konsumen (menjadi sampah) tidak mengganggu lingkungan kehidupan.

Konsep Dasar Produksi Bersih (*Cleaner productions*) adalah:

1. Pencegahan, pengurangan dan penghilangan limbah pada sumbernya.
2. Perubahan mendasar pada komitmen manajemen.
3. Pencegahan polusi harus dilaksanakan sedini mungkin, pada setiap tahapan kegiatan yaitu: pada pembuatan peraturan, kebijakan, implementasi proyek, proses produksi dan desain produk.
4. Program harus dilaksanakan secara kontinyu dan selaras dengan perkembangan iptek.

5. Penerapan strategi yang komprehensif dan terpadu, agar produk dapat bersaing di pasar lokal dan internasional.
6. Produksi bersih melibatkan pertimbangan daur hidup suatu produk.
7. Program multi media dan multi disiplin.
8. Diterapkan di seluruh sektor: industri, jasa, pertanian, energi, transportasi dan para konsumen.

Kegiatan-kegiatan manufaktur yang mengarah pada Produksi Bersih adalah sebagai berikut;

1. Penggunaan SDA efisien dan melakukan upaya konservasi.
2. Penggantian bahan baku dan penolong yang ramah lingkungan.
3. Modifikasi proses menuju efisien dan produktif.
4. Formulasikan kembali produk-produk yang telah pernah diproduksi.
5. Pemeliharaan, peningkatan usaha kebersihan.
6. Minimisasi penggunaan materi dan energi termasuk air.
7. Penggunaan kembali dan daur ulang material di lokasi manufaktur.
8. Penerapan tata-laksanaan rumah tangga yang baik (*good house keeping*).
9. Pelatihan bagi personil manufaktur.

Praktik perancangan lingkungan (DfE) manufaktur yang digunakan saat ini antara lain:

1. Substitusi bahan baku : yaitu penempatan kembali unsur-unsur pokok produk dengan bahan-bahan pengganti yang lebih berkualitas dalam rangka meningkatkan daya daur (*recyclability*) dan menurunkan kandungan energi yang digunakan pada kegiatan industri.
2. Reduksi sumber limbah : yaitu mereduksi massa produk, termasuk menurunkan massa pembungkusan produk yang pada akhirnya dapat mereduksi limbah per produk yang dihasilkan.

3. Reduksi penggunaan zat toksik : yaitu mereduksi atau mengeleminir jumlah dan jenis zat toksik yang tidak diinginkan (seperti; zat toksik, CFC) yang digunakan dalam proses produksi.
4. Perancangan daya pemisahan dan daya pembongkaran : yaitu menyederhanakan cara pembongkaran produk dan pemulihan bahan dengan menggunakan teknik cepat kancing (*snap*) dan pengkodean (*coding*) menggunakan plastik berwarna.
5. Perancangan daya daur ulang : yaitu menjamin kandungan material dalam produk untuk dapat didaur ulang, dan dengan limbah yang minimum sejak dari awal proses produksi sampai pada produk akhir.
6. Perancangan daya/kemampuan untuk dapat dibuang : yaitu menjamin bahwa yang tidak dapat didaur ulang berikut komponen-komponennya dapat secara aman dan efisien untuk dibuang (misalnya; pembatasan jumlah penggunaan tinta dan pigment).
7. Perancangan kemampuan untuk dapat digunakan kembali (*reusability*) : yaitu mendorong agar tercipta produk yang dapat dipulihkan dan dimanfaatkan kembali, serta dapat diperbarui kembali.
8. Perancangan untuk *remanufacture* : yaitu mendorong pemulihan limbah setelah proses industri, atau pasca pakai oleh konsumen pemakai guna dapat didaur ulang sebagai *input* pada pabrik yang menghasilkan produk baru lainnya.
9. Perancangan pemulihan energi : yaitu melakukan ekstraksi energi dari limbah yang terjadi, misalnya melalui proses incenerasi, memanfaatkan limbah B₃ sebagai bahan bakar pada *incinerator*.
10. Reduksi penggunaan energi : yaitu mereduksi energi yang diperlukan untuk proses-proses produksi, proses transportasi, proses penyimpanan, perawatan, penggunaan, dan daur ulang, serta proses pembungkusan produk. Sebagai contoh produk garment yang banyak bungkus tidak laku di Eropa, Amerika & Canada.

11. Perpanjang usia pakai : yaitu memperpanjang usia pakai produk atau komponen-komponen produk, dan mereduksi jumlah aliran limbah.

Dematerialisasi dan Dekarbonisasi

Dematerialisasi adalah segala tindakan yang mengarah pada penghematan penggunaan material, sedangkan makna dekarbonisasi adalah tindakan untuk meminimumkan timbulnya karbon atau polusi atau pencemar.

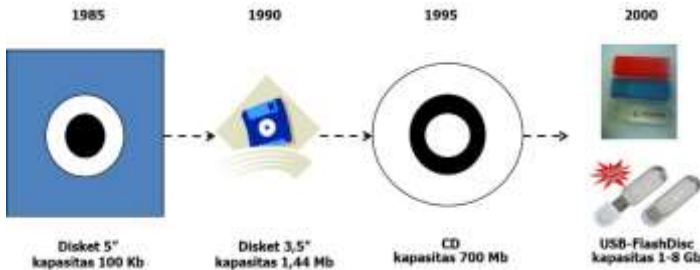
Konsepsi dematerialisasi dan dekarbonisasi adalah upaya meminimumkan jumlah penggunaan material bahan baku dan bahan pembantu dalam proses produksi yang dapat berimplikasi pada minimnya jumlah emisi atau polusi udara (karbon, terutama CO₂) yang dihasilkan oleh setiap kegiatan proses produksi.

Contoh penerapan konsep dematerialisasi dan dekarbonisasi dapat kita lihat pada kegiatan industri teknologi informatika. Sekitar tahun 1985 muncul teknologi disket (disc) penyimpan data elektronik hasil pengetikan ataupun data hasil pengolahan data menggunakan komputer. Produk disket terbuat dari material kertas hitam dan plastik yang dilapisi magnet tersebut berdimensi 5 x 5 inci dengan ketebalan ± 2 mm mampu menyimpan data elektronik sebanyak 100 Kb (kilobite). Kemudian pada tahun 1990 para ahli teknik informatika berhasil membuat produk teknologi disket yang hemat material yang mampu menyimpan data elektronik yang lebih besar lagi. Produk disket terbuat dari material plastik yang beraneka warna tersebut berdimensi 3,5 x 3,5 inci dengan ketebalan ± 3 mm mampu menyimpan data elektronik sebesar 1,44 Mb (megabite). Dalam konteks sistem ekologi industri yang menghasilkan produk tertentu, maka industri teknologi informasi telah berhasil menerapkan konsep dematerialisasi dan dekarbonisasi secara baik. Artinya, dengan mengubah desain, material dan dimensi produk dari ukuran fisik 5" x 5" x 2 mm menjadi 3,5" x 3,5" x

3 mm maka selama kurun waktu lima tahun industri ini telah melakukan penghematan material (dematerialisasi) dengan meningkatnya kemampuan penyimpanan data elektronik sebesar 100 kali. Karena prinsip dematerialisasi berbanding lurus dengan dekarbonisasi maka dengan demikian telah pula terjadi sekaligus pengurangan pencemaran karbon (dekarbonisasi) yang dihasilkan oleh proses produksi yang hemat menggunakan material (dematerialisasi).

Pada perkembangan selanjutnya, sekitar pada tahun 1995 industri informatika berhasil membuat produk teknologi disket yang lebih hemat material yang mampu menyimpan data elektronik yang lebih besar lagi. Produk yang kita kenal dengan nama CD (*compact disc*) terbuat dari material plastik yang berdiameter ± 15 cm dengan ketebalan ± 3 mm mampu menyimpan data elektronik sebesar 700 Mb (megabite).

Dalam konteks sistem ekologi industri yang menghasilkan produk tertentu, maka industri teknologi informasi telah berhasil menerapkan konsep dematerialisasi dan dekarbonisasi secara baik. Artinya, dengan mengubah desain, material dan dimensi produk dari ukuran 3,5" x 3,5" x 3 mm maka selama kurun waktu lima tahun berikutnya industri ini telah melakukan penghematan material (dematerialisasi) dengan meningkatnya kemampuan penyimpanan data elektronik sebesar 700 kali. Karena prinsip dematerialisasi berbanding lurus dengan dekarbonisasi maka dengan demikian telah pula terjadi sekaligus pengurangan pencemaran lingkungan oleh karbon (dekarbonisasi) yang dihasilkan oleh proses produksi yang hemat menggunakan material (dematerialisasi).



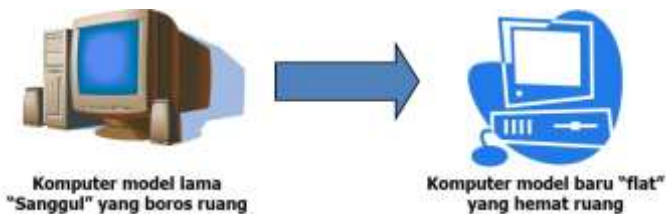
Gambar 30. Evolusi Teori Dematerialisasi dan Dekarbonisasi pada Industri Teknologi Informasi

Pada perkembangan selanjutnya, sekitar pada tahun 2000 industri informatika telah berhasil pula membuat produk teknologi penyimpanan data yang lebih hemat material yaitu produk "*flashdisc*" terbuat dari material plastik dan chip elektronik yang berukuran relatif lebih kecil dari "geretan korek api gas" mampu menyimpan data elektronik lebih sebesar dari satu Gigabite. Dalam kerangka sistem ekologi industri, maka perkembangan desain produk, material dan dimensi produk dari bentuk CD berkapasitas 700 Mb dirubah menjadi produk "*flashdisc*" berkapasitas > 1 gigabite, maka selama kurun waktu lima tahun industri ini telah melakukan penghematan material (dematerialisasi) dengan meningkatnya kemampuan penyimpanan data elektronik sebesar lebih dari 100 kali dan tentunya dengan pengurangan karbon pencemar sebanding dengan pengurangan penggunaan material dari bentuk CD menjadi *flashdisc*.

Dengan demikian maka penerapan asas dematerialisasi dan dekarbonisasi akan berdampak positif pada sistem pemanfaatan sumber daya alam dan meminimumkan dampak pencemaran lingkungan hidup oleh karbon kegiatan industri. Pada perkembangan selanjutnya, di tahun 2005 industri informatika berhasil memproduksi produk "*flashdisc*" yang mampu menyimpan data elektronik lebih sebesar dari empat

gigabite. Dalam kerangka sistem ekologi industri, maka perkembangan desain produk, material dan dimensi produk yang sama, maka dapat diperoleh peningkatan kemampuan penyimpanan data elektronik sebesar empat kali lebih banyak dari produk sebelumnya. Sehingga dengan peningkatan kapasitas penyimpanan data maka penerapan asas dematerialisasi dan dekarbonisasi akan berdampak positif pada sistem pemanfaatan sumber daya alam dan meminimumkan dampak pencemaran lingkungan hidup oleh karbon kegiatan industri.

Dari kasus evolusi konsep dematerialisasi dan dekarbonisasi pada industri teknologi informatika yang memproduksi produk penyimpan data elektronik, diharapkan dunia industri lainnya dapat meniru evolusi perkembangan sistem pemanfaatan materi dan energi dalam memproduksi suatu barang yang dibutuhkan masyarakat banyak sehingga dapat dicapai keberlanjutan ekologi di dunia industri secara baik.



Gambar 31. Evolusi Teori Dematerialisasi dan Dekarbonisasi pada Industri Komputer

Hal yang hampir sama dalam penerapan konsep dematerialisasi dan dekarbonisasi pada proses produksi dalam sistem industri juga kita dapat lihat pada produk komputer, dimana perangkat keras komputer lama desain

produk "monitor komputer" berukuran besar dan tebal, namun sekarang telah berubah lebih ringkas dan tidak banyak membutuhkan ruang yaitu monitor komputer "model flat" yang tidak lagi memiliki "sanggul" seperti televisi yang memiliki tabung pemancar sebagai "sanggulnya" sekarang telah disederhanakan menjadi bentuk flat tipis, praktis dan efisien menggunakan material, energi dan ruang penggunaan dan penyimpanannya.

Eco-Industrial Park

Eco-industrial park atau kawasan industri yang berwawasan lingkungan adalah suatu komunitas kegiatan perusahaan dan industri yang dibangun secara terpadu di dalam sebuah kawasan yang dikenal sebagai kawasan industri yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Keterpaduan dalam pembangunan blok kawasan ataupun pengelompokan kegiatan berbagai jenis industri dilakukan berdasarkan asas manfaat, efisiensi dan produktivitas terkait dengan program keberlanjutan ekologi dan keberlanjutan ekonomi kegiatan seluruh industri dalam kawasan. Komunitas kegiatan perusahaan dan industri tersebut berupaya mendapatkan kinerja lingkungan, ekonomi, sosial dan budaya yang terbaik melalui kerjasama terpadu dalam pengelolaan lingkungan dan pemanfaatan sumber daya alam. Melalui kerjasama komunitas perusahaan dan industri tersebut maka para pengusaha dan para pelaku industri akan mendapatkan keuntungan kolektif termasuk masyarakat yang ada di sekitar kawasan industri. Keuntungan kolektif yang dimaksud adalah adanya keserasian, keseimbangan, saling keterkaitan, saling menguntungkan menuju keberlanjutan ekologi dan sosial ekonomi.

Tujuan pembangunan *eco-industrial park* adalah dalam rangka untuk meningkatkan kinerja ekonomi dan lingkungan perusahaan dan industri yang tergabung dalam kawasan

guna meminimumkan dampak negatif kegiatan industri terhadap lingkungan hidup. Komponen *eco-industrial park*; terdapat "*green design*" pada infrastruktur dan pabrik maupun industri, baik pabrik baru maupun pabrik yang disempurnakan; di dalam kawasan terdapat kegiatan produksi bersih, terdapat kegiatan pencegahan pencemaran seperti; instalasi pengolahan air limbah (IPAL), alat pengendali emisi, alat penangkap debu dan lain sebagainya. *Green design* ini mencerminkan efisiensi pemanfaatan materi dan energi dalam semua lini kegiatan, dan terdapat kerjasama antar perusahaan industri di dalam dan di luar kawasan industri. Suatu *eco-industrial park* akan memberikan keuntungan bersama dengan komunitas tetangganya untuk meyakinkan bahwa secara keseluruhan pembangunan di kawasan tersebut memberikan dampak positif pada lingkungan hidup.

Keuntungan *eco-industrial park* bagi perusahaan dan industri antara lain; adanya penurunan biaya produksi melalui peningkatan efisiensi penggunaan material dan energi, pemanfaatan kembali air, dan menghindari terkena sanksi peraturan pemerintah, adanya peningkatan efisiensi menghasilkan produk-produk yang ramah lingkungan dan kompetitif, menyediakan berbagai jasa konsultasi dan akses informasi, menyediakan berbagai pelayanan umum seperti; pengelolaan limbah, kegiatan pelatihan tenaga kerja, pengadaan barang, tersedianya tim penanggulangan bencana, tersedianya sistem informasi lingkungan, dan meningkatkan nilai properti dari perusahaan yang terdapat dalam kawasan industri.

Keuntungan menerapkan *eco-industrial park* bagi lingkungan antara lain; untuk mengurangi banyak sumber polusi dan limbah sejalan dengan berkurangnya kebutuhan akan sumber daya alam, mengurangi beban lingkungan melalui pendekatan yang lebih inovatif menuju produksi yang lebih bersih (*cleaner production*). Usaha-usaha tersebut meliputi;

pengecahan pencemaran, peningkatan efisiensi penggunaan energi, manajemen air, perbaikan alam dan lain sebagainya. Sedangkan keputusan mengenai lokasi *eco-industrial park*, infrastruktur, dan target rekrutmen tergantung pada batasan kapasitas pendukung lokal dan karakteristik ekologi setempat.

Keuntungan menerapkan *eco-industrial park* bagi masyarakat sekitar kawasan antara lain; dapat dijadikan sebagai alat pengembangan ekonomi yang ampuh bagi masyarakat sekitar, *eco-industrial park* yang berhasil dapat menarik perusahaan dan industri besar sehingga dapat meningkatkan nilai dari kawasan, dapat terciptanya lapangan-lapangan kerja baru dalam fasilitas industri yang lebih ramah lingkungan. Sedangkan keuntungan bagi pemerintah, baik pusat maupun daerah, *eco-industrial park* menjadi lahan untuk mengkaji dan menerapkan peraturan dan kebijakan yang lebih efektif bagi lingkungan yang juga menguntungkan kalangan perusahaan dan industri.

Adapun tantangan dalam pembangunan *eco-industrial* antara lain adalah; pembangunan *eco-industrial park* memiliki kompleksitas yang tinggi karena memerlukan integrasi lintas bidang baik dalam desain maupun dalam pembuatan kebijakan, keberhasilannya sangat tergantung pada kerjasama lembaga pemerintah, perancang profesional, kontraktor proyek, dan perusahaan dan industri yang terlibat, jika masih terdapat ada celah-celah yang membatasi kerjasama antar pihak yang berkepentingan maka keberhasilan *eco-industrial park* akan sulit terwujud. Beberapa keuntungan ekonomi dari *eco-industrial park* mungkin baru dapat dilihat bila dihitung dalam jangka panjang, bukan dalam perhitungan keuangan yang biasanya dilakukan tiap perusahaan dan industri. Untuk itu pengembang perlu didukung oleh lembaga keuangan yang mampu memfasilitasi proyek dengan tingkat pengembalian dana investasi yang cukup lama.

Pendekatan pengelolaan lingkungan dapat dilakukan melalui dua pendekatan yaitu; pendekatan *end pipe of treatment* yang akan memberikan manfaat pada aspek teknis-ekonomi dan pendekatan penerapan produksi bersih yang akan memberikan dampak positif pada aspek ekonomi maupun ekologi.

Tabel 2. Perbedaan *End Pipe Treatment* dan Produksi Bersih

No.	Aspek	Perbedaan	
		<i>End of Pipe Treatment</i>	Produksi Bersih (<i>cleaner production</i>)
2	Tindakan Perbaikan	Tindakan perbaikan hanya untuk menyelesaikan satu masalah	Perbaikan dilaksanakan secara berkelanjutan
3	Solusi	Solusi dibuat oleh tenaga ahli dengan tidak melibatkan pihak lain.	Melibatkan peran berbagai pihak, ahli bidang sosial, ahli ekonomi, ahli bidang budaya, ahli bidang kesehatan masyarakat dan <i>engineering</i>
4	Hasil proses	Hasil proses merupakan limbah yang memerlukan sumber daya untuk proses pembuangannya.	Daur proses kontinyu atau perbaikan dengan sistem tertutup.
5	Pendekatan	Merupakan pendekatan reaktif setelah limbah dihasilkan.	Antisipasi secara aktif & menghindari terjadinya polusi dan limbah dan pencemaran
6	Aspek Pencemaran	Pencemaran dikendalikan melalui pengolahan limbah dengan berbagai metode.	Pengurangan masalah pencemaran lingkungan diselesaikan pada sumber pencemaran.
7	Kondisi perbaikan lingkungan	Sangat tergantung pada perbaikan teknis terhadap teknologi yang ada.	Akan memunculkan teknik-teknik inovatif, cara-cara baru, perilaku dan teknik manajemen lingkungan yang mendorong penerapan teknologi ramah lingkungan.

Produksi Bersih

Produksi bersih adalah perwujudan aktivitas kegiatan produksi secara berkelanjutan dengan melaksanakan strategi pencegahan pencemaran lingkungan secara terpadu yang diaplikasikan pada proses, produk, dan jasa produk guna meningkatkan efisiensi di semua lini kegiatan, dan mengurangi risiko terhadap manusia dan lingkungan hidup. Pada tahap kegiatan proses produksi menerapkan konservasi bahan baku dan energi, menghilangkan zat racun pada bahan baku mengurangi kuantitas dan kualitas zat beracun pada semua emisi pencemar dan limbah. Pada tahap kegiatan produksi berupaya mengurangi dampak negatif selama siklus produksi, dari ekstraksi bahan baku sampai limbah terakhir yang dihasilkannya. Pada aspek layanan produk yang diproduksi harus tercermin produk yang peduli lingkungan, dalam arti; produk tidak mengandung B₃ dan bila produk menjadi sampah tidak akan menimbulkan persoalan pada lingkungan hidup.

Peranan teknologi dalam produksi bersih pada suatu industri dapat dilihat dari cara dan bentuk penggantian bahan baku yang tidak menimbulkan masalah pada lingkungan, pengendalian proses produksi yang tidak menimbulkan masalah pada lingkungan, perubahan teknologi yang dapat meningkatkan kinerja lingkungan pabrik, melakukan modifikasi produk untuk meningkatkan kinerja lingkungan, berupaya memanfaatkan produk samping atau limbah menjadi produk yang bermanfaat, melakukan pemulihan (*recovery*) terhadap limbah B₃, melakukan modifikasi peralatan yang mengarah pada efisiensi kerja, produktivitas dan menerapkan penatalaksanaan kegiatan rumah tangga industri secara baik (*goodhouse keeping*). *Good house keeping* adalah penatalaksanaan kegiatan-kegiatan rumah tangga industri secara apik, bersih dan lestari sehingga dapat tercermin pada kegiatan lingkungan industri yang bersih,

sehat, alami, efisien dan produktif, seluruh karyawan dan pekerja sejahtera serta hubungan perusahaan dengan masyarakat lingkungannya terlihat harmonis.

Kebijakan produksi bersih yang dapat dilakukan oleh berbagai pihak baik pemerintah maupun swasta, baik konsumen maupun produsen. Kebijakan produksi bersih yang bisa dilakukan oleh pemerintah antara lain; pembuatan peraturan perundangan, yang mengizinkan sebuah perusahaan untuk beroperasi asal memenuhi baku mutu lingkungan, jika melanggar aturan yang berlaku akan menyebabkan terkena sanksi baik sanksi perdata maupun sanksi pidana. Kebijakan produksi bersih dalam bentuk program sukarela dilakukan oleh pihak swasta atau industri itu sendiri, dalam hal ini pemerintah melakukan dialog dengan perusahaan dalam penyebaran dan diseminasi informasi serta penyediaan tenaga ahli.

Penetapan kebijakan produksi bersih menggunakan instrumen berdasarkan pasar, seperti penggunaan pajak, tarif, subsidi dan sebagainya (keuntungan berpihak pada lingkungan). Kebijakan-kebijakan bersifat transparan, melalui kepedulian masyarakat terhadap bahaya pencemar. Kebijakan dibukanya akses publik terhadap laporan tingkat pencemaran industri akan mendorong masyarakat lebih peduli terhadap produk, pabrik, industri yang ramah lingkungan. Kebijakan penyebarluasan informasi kebijakan dan pendidikan, seperti pendidikan kesehatan masyarakat yang menyadarkan masyarakat lebih peduli terhadap risiko pencemaran pada kesehatan manusia dan kesehatan lingkungan.

Ekologi industri atau ilmu pembangunan industri berkelanjutan yang memiliki konsep dan penerapan kesadaran lingkungan yang lebih luas dari pada produksi bersih (*cleaner production*). *Eco-industrial park* mengarah pada target penanganan persoalan lingkungan hidup yang

lebih luas. *Eco-industrial park* memerlukan integrasi dari beberapa aspek yaitu aspek teknis, arsitektur, perencanaan kota, manajemen perusahaan dan industri, pengembang *real estate*, sektor keuangan, perancang *landscape*, ekologi, pembangunan ekonomi, desain sistem informasi, dan banyak aspek lainnya yang harus diintegrasikan dalam *eco-industrial park*. Melakukan rekayasa perbaikan industri dalam penggunaan energi dan material, melakukan perbaikan desain proses untuk mengurangi pemakaian energi, melakukan substitusi teknologi, material dan desain produk untuk mengurangi intensitas material pada produk akhir. Melakukan perancangan sistem industri dengan kepedulian terhadap kebutuhan sosial dan ekonomi komunitas lokal, dan mengoptimalkan kinerja perusahaan dan industri lokal dan penciptaan peluang dan lapangan kerja, mengurangi dampak pembangunan industri di kawasan melalui investasi dalam program-program komunitas masyarakat lokal. Pendekatan ekologi industri adalah mengelola aktivitas manusia dan industri menuju pembangunan industri berkelanjutan melalui: pengintegrasian secara esensial atas sistem kerja manusia dan industri ke dalam sistem alami, meminimasi penggunaan energi dan material yang, dan meminimasi dampak ekologi dari aktivitas manusia dan industri sampai ke tingkat yang dapat diterima oleh sistem alami.

Tujuan penerapan ekologi industri bagi berbagai kegiatan industri, baik dalam kawasan ataupun non kawasan industri adalah untuk menjaga daya dukung alam, menjaga kualitas hidup manusia dan lingkungan industri, menjaga kekuatan ekonomi sistem industri, menjaga keberlanjutan sistem perdagangan global dan sektor komersial menuju kondisi homeostatis dalam pemanfaatan sumberdaya alam dan lingkungan.

Homeostatis dan harmonisasi adalah suatu keadaan dimana terdapat kondisi keseimbangan antara input dan *output* dalam kegiatan industri. Keseimbangan antara masukan

(*input*) produksi dan keluaran (*output*) produksi terhadap daya dukung ekosistem alami dilakukan dengan menerapkan prinsip-prinsip; mengurangi beban lingkungan dengan cara mengurangi pelepasan energi dan material ke alam, merancang antar-muka industri (*industrial interface*) dengan alam dengan cara mengkaji karakteristik dan sensitifitas lingkungan penerima dampak, menghindari atau meminimumkan risiko transportasi bahan beracun dan berbahaya.

Indikator *eco-industrial park* yang berhasil sukses dalam kegiatan komunitas perusahaan dan industri dapat tergambar pada:

- 1) Kemampuan membuat rencana strategis bagi komunitas dalam mengurangi limbah secara total (perumahan, komersial, publik, dan industri);
- 2) Membangun pertukaran produk sampingan dari industri (*by-product*) untuk tingkat regional yang efektif sehingga dapat menyediakan pasar bagi material yang sebelumnya dianggap sampah/limbah;
- 3) Memperkuat rencana pembangunan ekonomi untuk mengajak kalangan usaha yang cocok sehingga dapat mengubah sampah/limbah menjadi produk dan pekerjaan;
- 4) Menggerakkan sumber-sumber pendidikan untuk membantu usaha masyarakat dan program-program pemerintah dalam rangka meningkatkan efisiensi energi dan pencegahan pencemaran;
- 5) Mengurangi emisi gas rumah kaca melalui program aksi komunitas yang dipimpin oleh *eco-industrial park*.
- 6) Mendanai beberapa biaya pengembangan *eco-industrial park* melalui kemitraan swasta, masyarakat dan pemerintah dalam bentuk program tanggungjawab sosial perusahaan terhadap masyarakat (*CSR*).
- 7) Kemampuan membangun kesejahteraan pekerja industri dan masyarakat di sekitar kawasan industri.

Teori Ekoefisiensi

Eco-Efficiency terdiri dari dua suku kata *Eco* dan *Efficiency*. Kata *Eco* merupakan singkatan dari kata *Ecology*, dan *Ecology* berasal dari bahasa Yunani; *oikos* yang berarti rumah atau tempat untuk hidup, dan *logos* berarti ilmu atau pengetahuan (Ernst Haeckel ; pakar biologi Jerman 1869). Semula ekologi diartikan sebagai ilmu yang mempelajari organisme di tempat tinggalnya, kemudian setelah ilmu ini berkembang maka ekologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari hubungan timbal balik antara organisme atau kelompok organisme dengan lingkungannya. Sekarang ekologi lebih dikenal sebagai ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi dari alam. Sedangkan *efficiency* berarti daya guna atau ketepatangunaan dalam proses pemanfaatan suatu sumber daya. Kedua suku kata *Ecology* dan *Efficiency* digabung menjadi istilah populer dalam dunia ilmu pengetahuan lingkungan sebagai *Eco-efficiency*, dan dalam beberapa literatur para pakar menulisnya sebagai Eko-efisiensi atau efisiensi ekologi.

Konsep ekoefisiensi pertama kali muncul ke gelanggang publik sejak tahun 1992. Badan usaha atau perusahaan yang mengaplikasikan konsep ekoefisiensi pada waktu itu diantaranya adalah WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*) dan UNEP (*United Nations Environment Programs*) yang kemudian menyebarluaskan pegalamannya ke seluruh dunia. Kemudian pihak pemerintah bekerjasama dengan pihak swasta untuk menerapkan teori ekoefisiensi dalam kebijakan-kebijakan yang dikeluarkan (DeSimone, 2002).

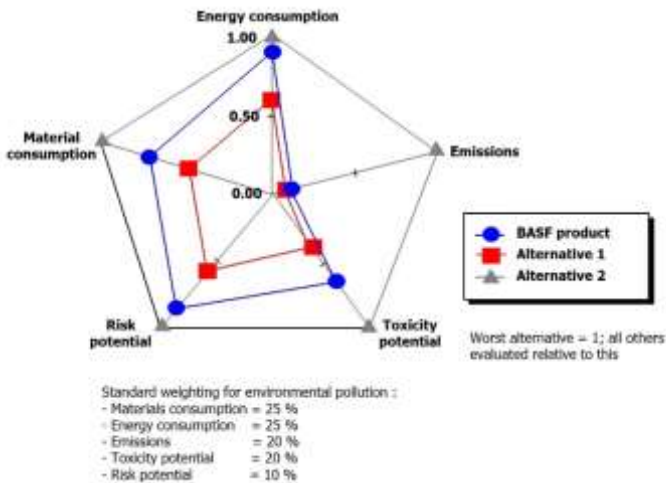
Makna teori-teori ekoefisiensi yang dikemukakan beberapa pakar dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Stephen Schmidheiny (1995), mendefinisikan “*Eco-Efficiency*” sebagai suatu upaya untuk memproduksi barang dan jasa secara lebih bermanfaat, dan secara kontinyu berusaha untuk mereduksi konsumsi sumber daya dan pencemaran.
2. Fiksel (1996), mendefinisikan *eco-efficiency* sebagai suatu usaha manajemen perusahaan yang sungguh-sungguh untuk secara simultan mengkompromikan antara aspek biaya, kualitas produk, dan performa lingkungan, meminimumkan kerugian dampak lingkungan, serta memaksimalkan konservasi sumber daya alam dan lingkungan.
3. Clapham (1973), menyatakan bahwa metode yang memungkinkan untuk memperbandingkan persentase perpindahan energi dari suatu tingkat trofik ke trofik lain adalah menggunakan efisiensi ekologi (*gross ecological efficiency*).
4. Miller, G. Tyler, Jr., (2002, p.41-42) yang senada dengan pendapat Clapham menyatakan bahwa persentase perpindahan energi yang dapat digunakan sebagai biomasa dari tingkat tropik satu ke tingkat tropik lainnya disebut sebagai efisiensi ekologi (*ecological efficiency*).
5. Charles O. Holliday and Friends, 2002. menyatakan bahwa terdapat empat aspek kajian dalam keefisiensi meliputi :
 - a. Dematerialisasi dengan mendisain sistem proses produksi yang menghindari penggunaan material secara berlebihan, ataupun menciptakan produk baru yang hemat menggunakan material.
 - b. Menciptakan sistem produksi bersiklus tertutup (*production loop closure*), dimana setiap output dikembalikan ke dalam sistem alam sebagai nutrisi

- atau dijadikan material input pada pabrik yang menghasilkan produk berbeda.
- c. Peningkatan kualitas pelayanan (*service extention*) dan jasa serta merespon kebutuhan konsumen.
 - d. Peningkatan fungsi dan manfaat barang (*functional extension*) dengan cara menciptakan produk baru yang memiliki nilai fungsi dan manfaat produk yang tinggi.
6. Livio Desimone dan Popoff (2002) mendefinisikan keefisiensi sebagai suatu pabrik yang mampu beroperasi dan memproduksi dengan prinsip : a) bersih lingkungan, b) mereduksi, c) mengeliminasi limbah dan risiko pada produk dan proses, d) menghemat biaya, memperbaiki mutu produk, e) menyelamatkan manusia dan lingkungan, f) memperbaiki pangsa pasar, dan g) selalu melihat solusi “bersih” yaitu : *cleaner and greener solution*. Selanjutnya DeSimone menjelaskan bahwa ukuran keefisiensi yang sesungguhnya (*the true eco-efficiency measures*) memperlihatkan seberapa besar output yang diperoleh dari suatu input bahan baku yang diberikan atau efek lingkungan yang diberikan.
7. Earling Lorentzen, *Chairman of Aracruz Cellulose* menyatakan bahwa disiplin keefisiesi dimaksudkan sebagai usaha secara terus menerus mencari produktivitas yang lebih tinggi dalam pemanfaatan sumber daya alam. Tadahiro Sekimoto (2002 dalam Buku DeSimone), *chairman of the board of NEC Corporation* menyatakan bahwa keefisiensi dapat dicapai dengan cara pemanfaatan/utiliasi secara penuh kemampuan teknologi yang ada. Björn Stigson, *chairman of Eskom* menyatakan bahwa keefisiensi dapat dicapai dengan cara; *doing more with less, and being environmentally responsible* (hemat energi dan bertanggungjawab terhadap lingkungan).

8. Ed. Falkman, *chaiman of Waste Management International* melihat ekoefisiensi sebagai; tanpa limbah, lebih banyak limbah yang dapat di *reuse or recycled*, dan menitik beratkan perhatian pada konservasi energi dan sumber daya alam.

Hasil penelitian BASF (2000) menggunakan analisis ekoefisiensi (*ecoeficiency analysis*) dalam menilai daur hidup suatu produk (*life cycle of a product*), yaitu dengan menerapkan model “*ecological fingerprint*” untuk mengukur ekoefisiensi pada proses pewarnaan tekstil Blue Jeans yang menggunakan zat pewarna indigo.



Gambar 32. *Ecological Fingerprint* by BASF

Gambar *ecological fingerprint* memperlihatkan bahwa terdapat empat parameter yang menentukan nilai ekoefisiensi dalam proses pewarnaan benang lusi untuk produksi tekstil *blue jeans* yang dilakukan oleh pabrik

kimia BASF yaitu konsumsi material bahan baku, konsumsi energi, emisi (terhadap udara, air dan tanah), potensi toksik dan risiko. Penilaian keefisiensi proses produksi didasarkan atas standar beban pencemaran lingkungan (*standard weighting environment pollution*) yaitu : konsumsi material (25%), konsumsi energi (25%), emisi (20%), potensi toksik (20%) dan potensi risiko (10%). Model *ecological fingerprint* tersebut di atas menjelaskan bahwa nilai keefisiensi yang terendah untuk tiap-tiap parameter adalah bernilai 1 atau 100%, sehingga dengan demikian maka luasan terkecil dari area *ecological fingerprint* yang diperoleh dari suatu kegiatan merupakan nilai keefisiensi yang paling baik.

Dari hasil penelitian beberapa pakar dan definisi tentang keefisiensi yang dikemukakan oleh para ahli tersebut di atas maka penulis mengambil suatu pengertian tentang keefisiensi sebagai berikut. Keefisiensi adalah efisiensi ekologi yang berarti bahwa efisiensi pemanfaatan sumber daya alam dan lingkungan yang sekaligus dapat menggambarkan efisiensi secara ekonomi. Efisiensi secara ekonomi yang dimaksud adalah efisiensi penggunaan sumber daya sehingga diperoleh penghematan biaya secara ekonomi, dan efisiensi secara ekologi adalah efisiensi penggunaan sumber daya yang dapat menghemat sumber daya alam dan lingkungan, serta dapat mencegah pencemaran lingkungan akibat penghematan penggunaan material sumber daya alam.

Pada bagian lain dalam buku Fiksel menjelaskan tentang petunjuk praktis perancangan lingkungan, bahwa Ekoefisiensi dapat dicapai dengan cara penggunaan sejumlah material yang sama dapat diperoleh tingkat fungsi yang lebih tinggi. Proporsi terbesar secara aktual terletak pada masa hidup produk yang bisa dimanfaatkan merupakan rasio antara nilai yang dihasilkan terhadap sumber daya yang dikonsumsi, atau rasio antara output dan input. Dijelaskan pula oleh Fiksel bahwa dengan cara memperpanjang usia

pakai produk (*product life-time*) dapat menghasilkan keefisiensi yang tinggi.

Terdapat enam alasan mengapa perusahaan/industri produk dan jasa melaksanakan konsep keefisiensi industri, karena (Graedel);

- a. Konsumen menghendaki produk-produk bersih lingkungan (*cleaner product*),
- b. Adanya regulasi di bidang lingkungan yang semakin hari semakin ketat,
- c. Pasar tenaga kerja dan karyawan yang berkualitas cenderung memilih perusahaan atau industri yang bertanggungjawab terhadap lingkungan,
- d. Dunia perbankan lebih memprioritaskan pemberian pinjaman modal kepada perusahaan atau industri yang mampu mencegah polusi (*green banking system*),
- e. Perusahaan-perusahaan asuransi lebih condong menjaminan perusahaan atau industri yang bertanggungjawab terhadap lingkungan,
- f. Adanya instrumen ekonomi baru seperti keringanan pajak (*taxes*), ongkos-ongkos (*charges*), dan kemudahan izin pemasaran (*tradeable permit*) bagi perusahaan atau industri yang bertanggung jawab terhadap lingkungan,

Clapham (1973 p.29) menyatakan bahwa metode yang memungkinkan untuk memperbandingkan persentase perpindahan energi dari suatu tingkat trofik ke trofik lain adalah menggunakan efisiensi ekologi (*gross ecological efficiency*).

Rasio atau perbandingan antara laju aliran energi pada berbagai mata-rantai dalam rantai makanan disebut sebagai efisiensi ekologi. Penelusuran terhadap konsepsi piramida energi dapat digunakan untuk menghitung efisiensi ekologis tersebut.

$$Efisiensi.Ekologi = \frac{P_n}{I_n}$$

P_n = Energi yang mengalir pada aras $n+1$

Efisiensi Asimilasi Energi pada Produsen (EAEP) :

$$EAEP = \frac{\text{energi.yang.diikat.oleh.tumbuhan}}{\text{cahaya.yang.diabsorbsi}}$$

Efisiensi Asimilasi Energi pada Konsumen (EAEK) :

$$EAEK = \frac{\text{makanan.yang.diabsorbsi.(asimilasi)}}{\text{makanan.yang.ditelan}}$$

Efisiensi ekologi pada aras (tingkatan) trofik yang lebih tinggi umumnya juga lebih tinggi, hal ini berarti bahwa organisme yang menempati aras trofik yang lebih tinggi akan semakin efisien menangkap atau memperoleh energi. Padahal kita ketahui bahwa; organisme yang menempati aras trofik yang lebih tinggi, energi makanan yang tersedia justru lebih kecil. Ini berarti bahwa hewan karnivora lebih efisien dalam menangkap energi bila dibandingkan dengan hewan herbivora.

Dewan pebisnis untuk Pembangunan Berkelanjutan (*the Business Council on Sustainable Development*) pada tahun 1992 telah mendeklarasikan tekad untuk melakukan “perubahan” (*changing course*) kearah konsep keefisiensi yang dianggap penting keterkaitan antara efisiensi sumber daya (produktivitas dan keuntungan) dengan tanggungjawab pengusaha terhadap lingkungan. Disebutkan pula bahwa perusahaan-perusahaan yang mampu mencapai efisiensi yang tinggi bila ia mampu mencegah timbulnya polusi melalui *good house keeping*, yaitu; melakukan substitusi bahan baku, menggunakan teknologi bersih, dan produk bersih, serta berusaha keras untuk lebih efisien menggunakan sumber daya dapat disebut *eco-efficiency*. Dalam operasional kegiatan industri dapat diterapkan tiga pendekatan (*approach*) yang

digunakan biasa digunakan oleh *Business Council on Sustainable Development* (BCSD) untuk meningkatkan keefisiensi yaitu ;

1. Proses Bersih (*cleaner processes*) :
Dengan cara melakukan modifikasi terhadap “proses dan teknologi”, maka perusahaan mampu menghasilkan produk yang nir-pencemaran dan nir-limbah. Pendekatan ini mengasumsikan bahwa definisi produk haruslah selalu tetap (produk tidak berubah-ubah). Pada industri tekstil misalnya dapat ditemui pada pabrik pemintalan berupa modifikasi terhadap sistem penyuaipan bahan pada proses carding dengan peralatan *chute feeding sistem*.
2. Produk Bersih (*cleaner products*) :
Dengan cara melakukan modifikasi terhadap “komposisi” material dan desain produk, maka perusahaan mampu menghasilkan nir-limbah dan nir-pencemaran melalui daur hidup di luar sistemnya (*through-out their life cycle*). Bila daur hidupnya dilakukan di dalam pabrik itu sendiri, maka pendekatannya harus melalui pengembangan proses-proses bersih (*cleaner processes*) yaitu dengan melakukan perubahan-perubahan mendasar pada produk itu sendiri.
3. Pemanfaatan Sumber daya secara Berkelanjutan (*sustainable resource use*) :
Dengan cara melakukan modifikasi terhadap sistem secara keseluruhan (termasuk hubungannya dengan pemasok dan pelanggan), maka setiap unit produksi yang dihasilkan hanya menggunakan sedikit energi dan sedikit materi. Sehingga dengan demikian untuk mereduksi limbah dan pencemaran dapat dicapai dengan cara mereduksi jumlah penggunaan sumber daya. Pendekatan pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan ini pasti menerapkan sistem produksi

bersih dan produk bersih dengan cara melakukan inovasi terhadap teknologi dan ekonomi yang sering disebut sebagai *Industrial Ecology* (Fiksel, 1996).

Di dalam proses produksi terdapat proses perpindahan energi dari suatu mesin ke mesin lainnya dalam bentuk materi atau bahan baku, sehingga bahan baku yang memiliki energi juga dapat dihitung aspek efisiensi ekologisnya. Sehingga keefisiensi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara materi dan energi yang terpakai (*input*) dengan materi dan energi yang dihasilkan dalam bentuk produk (*output*).

Masalah-masalah lingkungan industri secara spesifik direfleksikan dengan mengukur variabel keefisiensi (*Eco-efficiency metric*) atau pengukuran performa lingkungan industri. Pengukuran keefisiensi ini telah banyak digunakan di berbagai industri dan diadopsi oleh program *eco-labeling* di Eropa dan Amerika.

Jenis ukuran keefisiensi yang dapat diterapkan oleh industri antara lain;

1. Jumlah penggunaan zat toksik, dengan satuan total kilogram larutan untuk setiap unit produksi (kg/unit).
2. Jumlah penggunaan sumber daya, dengan satuan total energi yang dikonsumsi untuk setiap daur hidup produk (joule/life cycle).
3. Jumlah emisi lingkungan, dengan satuan efek gas rumah kaca dan penipisan ozon yang dihasilkan per unit produksi (misal; $\mu\text{g SO}_2/\text{Nm}^3/\text{unit produk}$).
4. Jumlah minimisasi limbah, dengan satuan persen pemulihan bahan pada akhir masa hidup produk (% pemulihan bahan).
5. Jumlah penggunaan air (*fresh water*) yang dikonsumsi pabrik.
6. Total limbah yang dihasilkan selama proses produksi.
7. Jumlah bagian pembungkus produk yang dapat didaur ulang (%).

Sementara itu menurut Charles O. Holliday and Friends (2003; p.10) bahwa terdapat empat aspek kajian dalam ekoefisiensi yaitu: Dematerialisasi dengan mendisain sistem proses produksi yang menghindari penggunaan material secara berlebihan, ataupun menciptakan produk baru yang hemat material.

1. Menciptakan sistem produksi bersiklus tertutup (*production loop closure*), dimana setiap output dikembalikan ke dalam sistem alam sebagai nutrisi atau dijadikan material input pada pabrik yang menghasilkan produk berbeda.
2. Peningkatan pelayanan (*service extension*) dan merespon kebutuhan pelanggan.
3. Peningkatan fungsi dan manfaat barang (*functional extension*) dengan cara menciptakan produk baru yang memiliki fungsi dan manfaat produk yang tinggi.

Sementara itu menurut DeSimone and Popoff (2000 p.56-78) menyebutkan bahwa terdapat tujuh dimensi pada ekoefisiensi yaitu:

1. Melakukan reduksi terhadap intensitas penggunaan energi.
2. Meningkatkan daya tahan (*durability*) produk.
3. mereduksi penggunaan material (*material intensity*).
4. Memaksimalkan keberlanjutan pemakaian bahan baku yang dapat diperbarui (*renewable resources*).
5. Mereduksi penggunaan zat toksik dan mereduksi penebaran zat toksik pada lingkungan.
6. Tingkatkan intensitas layanan produk (*service intensity*) pada konsumen.
7. Meningkatkan pemanfaatan material yang kandungan daya daur ulang tinggi (*recyclability*).



Gambar 33. Ukuran Ekoefisiensi Menurut DeSimone & Popoff

Selanjutnya menurut DeSimone and Popoff menyebutkan bahwa daftar pertanyaan yang relevan diajukan untuk mengidentifikasi tingkat ekoefisiensi pada aktivitas kegiatan industri tekstil adalah:

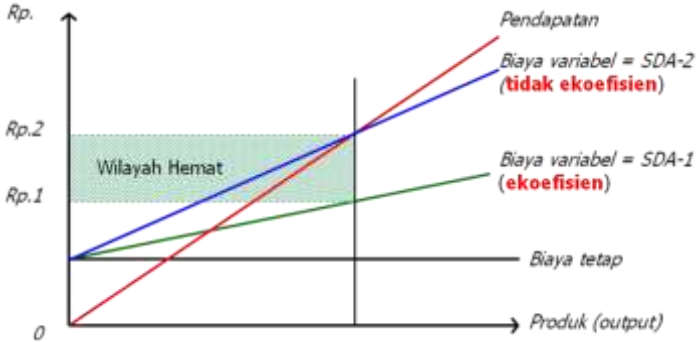
1. Pada aspek material; apakah bahan baku yang ada dapat diproses atau diproduksi dalam jumlah minimum untuk memproduksi barang yang sama ?; dan apakah dapat dilakukan reduksi penggunaan air ?.
2. Pada aspek energi; apakah efisiensi energi yang tinggi dapat ditingkatkan ?
3. Pada aspek zat toksik; dapatkah industri tekstil menekan penggunaan zat-zat yang bersifat toksik ?
4. Pada aspek kemampuan mendaur ulang limbah; apakah limbah bahan baku produksi dapat digunakan kembali atau didaur ulang ?, dan apakah limbah dari hasil proses produksi dapat digunakan kembali atau didaur ulang ?.

Dari beberapa teori dan pendapat para ahli seperti tersebut di atas maka penulis menarik suatu benang merah, bahwa

faktor-faktor yang dapat menjadi ukuran keefisiensi dari suatu sistem kegiatan industri adalah sebagai berikut:

1. Tingkat konsumsi sumber daya/unit produk dan pencemaran yang ditimbulkan/unit produk yang dibuat (Graedel, 1995 p.293).
2. Tingkat kerugian lingkungan dan tingkat keberhasilan konservasi sumber daya alam dan lingkungan (Fiksel, 1996 p.449).
3. Tingkat efisiensi penggunaan material (Fiksel).
4. Usia pakai produk (*product life-time*) (Fiksel).
5. Laju aliran energi dalam rantai makanan (Clapham, 1973 dan Subagja, 2001 p.28).
6. Efisiensi penggunaan sumber daya (Stephen Schmidheiny : 1995)
7. Proses, teknologi, nir-pencemaran dan nir-limbah (Tadahiro : 2002).
8. Komposisi material dan desain produk (BCSD 1992).
9. Pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan (mereduksi energi dan materi) (DeSimone & Popoff, 2000 p.56-78).
10. Hemat material, sistem produksi lingkaran tertutup, peningkatan fungsi dan manfaat barang (Charles O. 2003; p.10).

Hubungan Ekoefisiensi dengan Biaya



Gambar 34. Hubungan Ekoefisiensi dengan Biaya

Gambar di atas menjelaskan hubungan antara ekoefisiensi industri dengan biaya produksi suatu produk dapat dijelaskan melalui teori Enger & Smith (1997:144) tentang sumber daya alam (SDA) yang bersifat *renewable resources*. Teori tentang penggunaan material *renewable resources* menyebutkan bahwa kecepatan penggunaan atau pemanfaatan SDA lebih cepat dari pada proses memproduksi atau menghasilkan SDA itu sendiri, maka secara ekonomi biaya yang harus dikeluarkan untuk penyediaan SDA-1 atau yang bersifat *renewable* akan lebih murah dibanding SDA-2 yang bersifat *non renewable*. Sesuai pula dengan terminologi ekoefisiensi yang dikemukakan pada bagian sebelumnya yaitu tentang makna ekoefisiensi pada nilai pemanfaatan SDA *renewable*; yaitu semakin besar kadar penggunaan SDA *renewable* dibanding penggunaan SDA *non renewable* dalam proses produksi maka nilai ekoefisiensi industri semakin tinggi.

Dengan demikian maka penghematan penggunaan sumberdaya alam (SDA) dan lingkungan (ekoefisien) dapat menekan biaya yang harus dikeluarkan dalam proses produksi. Sebagai ilustrasi dapat dikemukakan apabila industri tekstil/pabrik pemintalan menggunakan SDA dengan material bahan baku antara Cotton (SDA-1) dan Polyester (SDA-2), cotton adalah SDA yang bersifat *renewable resources* dan polyester adalah SDA yang bersifat *non renewable resources*, maka pabrik pemintalan yang memproduksi benang polyester mengeluarkan biaya sebesar Rp. 2,- sedangkan apabila pabrik pemintalan memproduksi benang cotton (SDA-1) hanya mengeluarkan biaya sebesar Rp. 1,-. Dari penjelasan tersebut di atas maka industri tekstil/pabrik pemintalan menggunakan material cotton ataupun material yang dapat diperbarui akan menanggung biaya yang lebih ekonomis dibanding menggunakan material polyester yang tidak dapat diperbarui. Dengan demikian maka hubungan antara nilai ekoefisiensi dengan biaya adalah berbanding terbalik yaitu semakin tinggi ekoefisiensi maka biaya yang ditimbulkan untuk proses produksi semakin rendah. Sehingga dengan demikian maka perusahaan tekstil yang memiliki ekoefisiensi tinggi lebih maju (sukses) dibanding perusahaan tekstil yang tidak ekoefisien.

Ukuran-ukuran Keberlanjutan Manufaktur

Ukuran tingkat keberlanjutan kegiatan manufaktur ataupun ukuran manufaktur hijau menurut Jon Dreher (*MITS Ioan Management, Strategies for Sustainable Bussines Lab*) menjelaskan, bahwa: faktor-faktor yang diukur untuk menentukan apakah suatu manufaktur/industri/pabrik telah beroperasi secara berkelanjutan dan berwawasan lingkungan (*sustainable manufacturing / green manufacturing = GM*) adalah sebagai berikut:

1. Dampak Lingkungan (*environmental impact*)
2. Konsumsi energi (*energy consumption*)
3. Kesehatan (*personal health*) pekerja
4. Keselamatan kerja (*occupational safety*)
5. Biaya produksi (*manufacturing cost*)
6. Pengelolaan limbah (*waste management*)



Gambar 35. Ukuran Manufaktur Berkelanjutan/Manufaktur Hijau

Secara detail ukuran-ukuran manufaktur berkelanjutan atau ukuran manufaktur hijau adalah sebagai berikut:

- a. Sub-faktor yang diukur pada faktor Dampak Lingkungan (*environmental impact*):
 - 1) Jumlah tenaga kerja yang menggunakan transportasi publik (*% employees who take public or eco-friendly transportation*) selama bekerja di manufaktur yang bersangkutan.

- 2) Jumlah karbon pencemar yang diemisikan oleh setiap unit produk (*CO emission per unit*) yang dihasilkan kegiatan manufaktur.
 - 3) Konsentrasi bahan pencemar yang terdapat pada air tanah (*pollutants in ground water*) yang ada di sekitar lokasi kegiatan manufaktur.
 - 4) Jumlah bahan pencemar yang terdapat pada air limbah (*contaminants in waste water*) yang ditimbulkan oleh kegiatan manufaktur.
 - 5) Jejak langkah perpindahan usaha bisnis manufaktur (*footprint of bussiness travel*).
 - 6) Persentase penggunaan energy terbarukan (*% energy from renewable resources*) selama proses produksi manufaktur.
 - 7) Tingkat kedalaman sumber air tanah dangkal (*level of ground water*) yang terdapat di sekitar lokasi kegiatan manufaktur.
- b. Sub-faktor yang diukur pada faktor Konsumsi energi (*energy consumption*):
- 1) Jumlah konsumsi listrik warga masyarakat (*number of Green Manufacturing/GM "energy citizen"*)
 - 2) Laju/tingkat penangkapan kembali energi (*rate of energy recapture*) yang tidak termanfaatkan.
 - 3) Gagasan/ide-ide pelaksanaan hemat energi (*energy ideas implemented*) yang mampu diciptakan oleh manajemen manufaktur.
 - 4) Efisiensi pemanfaatan energi (*energy efficiency/unit*)
 - 5) Total penggunaan energi (*total energy/unit*)
- c. Sub-faktor yang diukur pada faktor Kesehatan (*personal health*) pekerja:
- 1) Jumlah sarana dan tenaga medis (*number of medical LOA*)
 - 2) Rasio jumlah hari sakit dan jumlah hari kerja (*sick/work days ratio*)

- 3) Partisipasi pada program pendidikan kesehatan (*participation in health education/wellness programs*)
 - 4) Pemanfaatan sarana dan waktu olahraga setiap bulannya (*monthly on-site fitness use*).
 - 5) Indeks sehat pada aspek makanan (*health index of on-site food*)
- d. Sub-faktor yang diukur pada faktor Keselamatan kerja (*occupational safety*):
- 1) Jumlah kecelakaan yang membutuhkan pertolongan pertama (*number of accidents requiring first aid*)
 - 2) Jumlah kejadian kecelakaan kerja yang tercatat (*number of OSHA reported events*).
 - 3) Angka/jumlah keselamatan & keamanan masyarakat (*number of GM "safety citizens"*).
 - 4) Penghamburan kerja (kerja sia-sia) terkait angka kesakitan (*diffusion of work related illness*).
 - 5) Jumlah garis marka stop yang menyebabkan timbul perhatian/mengacuhkan pada aspek keselamatan (*number of line stops due to safety concerns*).
 - 6) Jumlah hari kerja hilang yang disebabkan oleh adanya kejadian kecelakaan kerja (*number of workdays missed due to accidents*).
- e. Sub-faktor yang diukur pada faktor Biaya produksi (*manufacturing cost*):
- 1) Jumlah konsumsi baja/unit (*steel consumption/unit*)
 - 2) Jumlah konsumsi aluminium/unit (*aluminum consumption/unit*) pada setiap unit produk yang diproduksi.
 - 3) Jumlah konsumsi plastik/unit (*plastic consumption/unit*) pada setiap unit produk yang diproduksi.
 - 4) Jumlah penghematan uang melalui peningkatan efisiensi energi (*dollars saved by energy efficiency increase*).

- 5) Biaya energi/unit (*energy costs/unit*) pada setiap unit produk yang diproduksi.
- f. Sub-faktor yang diukur pada faktor Pengelolaan limbah (*waste management*):
- 1) Jumlah limbah/unit yang dapat didaur ulang (*recycling waste/unit*)
 - 2) Jumlah limbah B₃ yang dihasilkan/unit produk (*hazardous waste/unit*)
 - 3) Jumlah limbah/unit produk yang dibuang di tanah (*landfill waste/unit*)
 - 4) Jumlah air limbah/unit produk (*waste-water/unit*)
 - 5) Efisiensi pemindahan limbah/unit (*waste removal efficiency/unit*)

Implementasi pengukuran tingkat keberlanjutan manufaktur tersebut di atas hendaknya dilakukan pengukuran frekuensinya pada setiap kurun waktu kerja yang berbeda yaitu:

1. Pada atau dalam kurun waktu masing-masing shift kerja (shift I, II, dan III).
2. Pada atau dalam kurun waktu mingguan.
3. Pada atau dalam kurun waktu bulanan, dan
4. Pada atau dalam kurun waktu tahunan.

Contoh dan Teknik Penghitungan Kinerja Lingkungan Manufaktur (Manufaktur Hijau)

Jenis Kegiatan Manufaktur Furniture/Meubel:

Input	Process	Output
<ul style="list-style-type: none">• Kayu• Paku• Lem• Cat• Pelarut• Palu• Logam• Amplas	<ul style="list-style-type: none">• Pengukuran• Potong• Gergaji• Palu• Press• Serut• Amplas• Pengecatan• Finishing• Packing	  

Identifikasi material produk Meja Biro (*output*):

- Berat netto meja biro = 100 kg
- Bahan kayu jati = 90 kg (material terbarukan & *recycable*).
- Kayu triplek = 3 kg (material terbarukan & *recycable*).
- Besi, paku, dan engsel = 1.5 kg (tak terbarukan).
- Kaca = 5 kg (tak terbarukan).
- Cat sintetis, bahan dasar cat beserta pelarutnya = 0.5 kg (tak terbarukan dan bersifat B3).

Kinerja Lingkungan Manufaktur Furniture: dapat diukur pada 18 indikator (*input-process-output*) sebagai berikut:

Aspek Input:

1. Intensitas material tak terbarukan (*non-renewable material*):
= 1,5 kg + 5 kg = 6,5 kg = 0,065%
2. Intensitas material B3:
= 0,5 kg = 0,005%
3. Intensitas material yang dapat didaur ulang (*recycable*):
= 90 kg + 3 kg = 93 kg = 93%

Aspek Process:

4. Jumlah penggunaan air:
= **nihil** karena proses produksi tidak menggunakan air.
5. Jumlah penggunaan energi:
= Energi listrik digunakan untuk proses-proses pemotongan, gergaji, press, serut, amplas, dan pengecatan serta proses finishing yaitu sebanyak 10kVA per unit produksi.
6. Proporsi penggunaan energi terbarukan:
= **nihil** karena energi listrik tidak bersumber dari energi terbarukan tetapi dari PLN.
7. Intensitas GHGs:
= selama proses pengecatan dan finishing akan

menimbulkan gas pencemar berupa bau cat, bau benzen, bau naphtalen dan emisi gas lainnya yang dapat meningkatkan intensitas green-house-gases (gas efek rumah kaca).

8. Intensitas limbah/sampah:
= limbah/sampah yang ditimbulkan selama proses-proses pemotongan, gergaji, serut, amplas, dan pengecatan serta proses finishing yaitu sebanyak 5 kilogram per unit produksi (5%).
9. Intensitas udara bersih tak termanfaatkan:
= **nihil**, karena tipologi kegiatan manufaktur ini tidak menggunakan udara bersih untuk proses produksi, namun kegiatan manufaktur ini justru mencemari udara bersih.
10. Intensitas air bersih tak termanfaatkan:
= **nihil**, karena tipologi kegiatan manufaktur ini tidak menggunakan air bersih untuk proses produksi, namun kegiatan manufaktur ini dimungkinkan dapat mencemari air bersih di lingkungan kerja.
11. Proporsi penggunaan lahan (lahan tertutup & RTH):
= diasumsikan penggunaan lahan untuk kegiatan manufaktur **telah memenuhi ketentuan** peraturan perundangan yang berlaku (undang-undang tentang tata ruang dan peraturan tentang Koefisien Dasar Bangunan).


Aspek Output:

12. Jumlah material yang dapat digunakan kembali (*reuse*):
= diasumsikan tidak ada material output produk yang dapat digunakan kembali (*reuse*), karena seluruh output produk diterima seluruhnya oleh konsumen (tidak ada produk yang kadaluarsa atau rusak menjadi

sampah).

13. Kemampuan untuk mendaur ulang material secara keseluruhan:
= hampir seluruh produk barang dapat didaur ulang oleh tanah apabila produk barang telah berubah menjadi sampah (pascapakai oleh konsumen), terkecuali material sintetik yang intensitasnya mencapai 0,5 kg atau 0,005%.
14. Kandungan material terbarukan (*renewable material*):
= sebanyak 93% (kayu jati dan tripleks).
15. Kandungan material tak terbarukan (*non-renewable material*):
= sebanyak 1,5 kg + 5 kg = 6,5 kg = 0,065%
16. Kandungan material B3 dalam produk:
= sebanyak 0,5 kg = 0,005%
17. Konsumsi energi pada (selama) penggunaan produk:
= diasumsikan nihil, karena produk mebel dalam pemanfaatannya oleh konsumen tidak memerlukan energi untuk merawatnya dan menggunakannya.
18. Intensitas GHGs pada (selama) penggunaan produk:
= diasumsikan nihil, karena produk mebel dalam pemanfaatannya tidak mengemisikan pencemar yang tergolong pada GHGs.

Jenis Kegiatan Manufaktur Kipas Angin (*Desk Fan*):

Input	Process	Output
<ul style="list-style-type: none"> • Motor listrik (<i>Stator, Rotor, Kumparan kawat tembaga email, Bushing, Starting capasitor</i>) • Plastik baling-baling • Pelindung baling-baling • Input : Listrik 220V 50 Hz. • Sekring Pengaman 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran • Pemotongan • Cetak • Press • Baut • Pengecatan • Assembly • Finishing • Packing 	

Identifikasi material produk kipas angin (output)

- Berat netto : 4 kg
- Bahan plastik pelindung baling-baling, baling baling : 2 kg (tak terbarukan)
- Besi penyangga : 1,6 kg (tak terbarukan)
- Sekring pengaman, baut : 0,2 kg (tak terbarukan)
- Cat sintetik, bahan dasar cat dan pelarutnya : 0,2 kg (tak terbarukan dan bersifat B3)

Kinerja lingkungan manufaktur kipas angin dapat diukur pada 18 indikator sebagai berikut:

Aspek Input:

1. Intensitas material tak terbarukan (non-renewable material):
= 2 kg + 1,6 kg + 0,2 kg = 3,8 kg = 95 %
2. Intensitas material B3
= 0,5 kg = 12,5 %
3. Intensitas material yang dapat didaur ulang (recyclable)
= 0 kg = 0 %

Aspek Process:

4. Jumlah penggunaan air
= nihil karena proses produksi tidak menggunakan air
5. Jumlah penggunaan energi
= energi listrik digunakan untuk proses-proses pemotongan, pencetakan, press, pemasangan baut, pengecatan, assembly, dan proses finishing yaitu sebanyak 10 kVa per unit produksi.
6. Proporsi penggunaan energi terbarukan
= nihil karena energi listrik tidak bersumber dari energi terbarukan melainkan PLN
7. Intensitas GHGs
= selama proses pengecatan dan finishing akan menimbulkan gas pencemar berupa bau cat, bau benzen, bau naphthalen, dan emisi gas lainnya yang dapat meningkatkan intensitas *green-house-gases* (gas efek rumah kaca).
8. Intensitas limbah/sampah
= limbah/sampah yang ditimbulkan selama proses-proses pemotongan, pencetakan, dan pengecatan serta proses finishing yaitu sebanyak x kg per unit produksi (x%)
9. Intensitas udara bersih tak termanfaatkan

= nihil, karena tipologi kegiatan manufaktur ini tidak menggunakan udara bersih untuk proses produksi, namun kegiatan manufaktur ini justru mencemari udara bersih

10. Intensitas air bersih tak termanfaatkan
= nihil, karena tipologi kegiatan manufaktur ini tidak menggunakan air bersih untuk proses produksi, namun kegiatan manufaktur ini dimungkinkan dapat mencemari air bersih di lingkungan kerja.
11. Proporsi penggunaan lahan (lahan tertutup&RTH)
= diasumsikan penggunaan lahan untuk kegiatan manufaktur telah memenuhi ketentuan peraturan perundangan yang berlaku (undang-undang dasar tentang tata ruang dan peraturan tentang koefisien dasar bangunan).

Aspek Output:

12. Jumlah material yang dapat digunakan kembali (reuse):
= diasumsikan tidak ada material output produk yang dapat digunakan kembali (reuse), karena seluruh output produk diterima seluruhnya oleh konsumen (tidak ada produk yang kadaluarsa atau rusak menjadi sampah).
13. Kemampuan untuk mendaur ulang material secara keseluruhan:
= seluruh komponen tidak dapat didaur ulang, namun bisa dikreasikan kembali sebelum benar-benar menjadi sampah
14. Kandungan material terbarukan (renewable material):
= tidak ada satupun 0%
15. Kandungan material tak terbarukan (non-renewable energi):
= sebanyak $\frac{1}{2}$ kg + 1,6 kg + 0,2 kg = 3,8 kg = 95 %
16. Kandungan material B3 dalam produk:
= sebanyak 0,5 kg = 12,5 %

17. Konsumsi energi pada (selama) penggunaan produk:
= diasumsikan menggunakan energi listrik untuk input sebesar 220V 5Hz, besar daya konsumsi kipas angin tidak besar, rata-rata hanya 15 Watt s/d 60 Watt per jam (0,015 kWh s/d 0,06 kWh).
18. Intensitas GHGs pada (selama) penggunaan produk:
= diasumsikan nihil, karena produk kipas angin dalam pemanfaatannya tidak mengemisikan pencemar yang tergolong pada GHGs

Penghitungan Kinerja Lingkungan Manufaktur Kipas Angin (*Desk Fan*):

Indikator 1. Intensitas atau jumlah material tak terbarukan
Kalkulasi:

$$\begin{aligned} \text{Intensitas (jumlah) material tak terbarukan (\%)} &= \\ & \frac{\text{Berat material tak terbarukan yang menjadi bahan baku}}{\text{Faktor Normal (berat normal produk)}} \\ & \times 100\% \\ & = \frac{3,8 \text{ kg}}{4 \text{ kg}} \times 100\% = 95\% \end{aligned}$$

Indikator 2. Daur ulang (pemanfaatan kembali material input)

Kalkulasi:

$$\begin{aligned} \text{Daur ulang (pemanfaatan kembali) material input} &= \\ & \frac{\text{Total berat material daur ulang} + \text{Total berat pemanfaatan kembali material input}}{\text{Total berat material input}} \\ & \times 100\% \\ & = \frac{0 \text{ kg}}{4 \text{ kg}} \times 100\% = 0\% \end{aligned}$$

Indikator 4. Intensitas atau jumlah penggunaan air

Kalkulasi:

- Intensitas atau jumlah penggunaan air = Total air yang diambil (sebagai factor normal)
= 0%
- Unit indikator = meter kubik (m³)
= 0

Indikator 5. Intensitas atau jumlah penggunaan energi

Kalkulasi:

$$\frac{\text{Intensitas (jumlah) penggunaan energi} = \text{Konsumsi Energi untuk Proses Produksi} + \text{Energi untuk Overhead}}{\text{Faktor Normal}} \text{ (Mega joule)}$$
$$= \frac{22500}{1,2} = 18,75 \text{ Mega joule}$$

Indikator 6. Proporsi Konsumsi Energi Terbarukan

Kalkulasi:

$$\frac{\text{Proporsi Konsumsi Energi Terbarukan} = \text{Konsumsi Energi Terbarukan}}{\text{Total Konsumsi Energi}} \times 100\%$$
$$= \frac{0}{15} \times 100\% = 0\%$$

Indikator 7. Intensitas Efek Gas Rumah Kaca (Green House Gas = GHGs)

Kalkulasi:

$$\frac{\text{Intensitas GHGs atau zat pencemar udara (Intensitas pollutant)} = \text{Jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh penggunaan energi pada kegiatan manufaktur} + \text{Jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh penggunaan energi pada kegiatan overhead} + \text{Jumlah pencemar yang ditimbulkan oleh transportasi}}{\text{Faktor Normal}}$$

$$= \frac{10 + 12 + 25}{1,2} = 39,16$$

Indikator 8. Intensitas sisa (residuals)

Kalkulasi:

1. Menggunakan pendekatan "mass balance" (keseimbangan masa)

$$\frac{\text{Intensitas sisa (mass balance)} = \text{Berat Input Keseluruhan} + \text{Berat bahan bakar yang dikonsumsi} - \text{Berat seluruh produk}}{\text{Faktor Normal}}$$

$$= \frac{5 \times 12 - 4}{1,2} = 46,67$$

2. Pendekatan limbah yang ditimbulkan:

$$\begin{aligned} & \text{Intensitas sisa (limbah)} = \\ & \text{Berat limbah (dari produksi dan domestik) pencemar udara} \\ & \quad + \text{Berat limbah yang dibuang ke air} \\ & \quad + \text{Berat sampah yang dibuang ke tanah} \\ & \quad + \text{Berat sampah dari halaman pabrik} \\ & \quad + \text{Berat limbah yang dipindahkan ke TPA} \\ & \quad + \text{Berat limbah yang diperlakukan daur ulang} \\ & \quad + \text{Berat limbah yang digunakan ulang} \\ & \quad + \text{Jumlah energi yang dapat dipulihkan} \\ & \quad + \text{Jumlah limbah yang dapat dibuang ke saluran air} \\ & \quad + \text{Berat pencemar udara GHGs} \\ & \quad + \text{Jumlah carbon yang dihasilkan dari pemanfaatan energi} \\ & = \frac{\text{Faktor Normal}}{1,2} = \frac{12 + 24 + 30 + 25 + 35 + 10 + 15 + 8 + 12}{1,2} = 142,5 \end{aligned}$$

Indikator 9. Intensitas sisa yang dilepas ke udara (polutan udara)

Kalkulasi:

$$\begin{aligned} & \text{Intensitas Polutan Udara (ton)} = \\ & \frac{\text{Berat polutan udara yang dilepas dari proses produksi dan kosmetik}}{\text{Faktor Normal}} \\ & = \frac{12}{1,2} = 10 \text{ ton} \end{aligned}$$

Indikator 10. Intensitas limbah yang dilepas ke air (pencemar air)

Kalkulasi:

$$\begin{aligned} & \text{Intensitas pencemar air (ton)} = \\ & \frac{\text{Berat pencemar air yang dilepas dari proses produksi dan overhead}}{\text{Faktor Normal}} \\ & = \frac{24}{1,2} = 20 \text{ ton} \end{aligned}$$

Indikator 11. Proporsi penggunaan lahan (lahan tertutup dan RTH)

Kalkulasi:

$$\text{Proporsi Penggunaan Lahan (\%)} =$$

$$\frac{\text{Luas Area Terbangun/Tertutup}}{\text{Total Luas Area Lahan Manufaktur}} \times 100\% \\ = \frac{120 \text{ m}^2}{2350 \text{ m}^2} \times 100\% = 0,05 \%$$

Indikator 12. Pemanfaatan kembali atau daur ulang material produk

Kalkulasi:

$$\frac{\text{Pemanfaatan kembali atau daur ulang material produk (\%)} = \text{Jumlah masing – masing produk [(berat produk + proporsi material yang dapat didaur ulang} \times \text{unit produk)} + (\text{berat produk} \times \text{proporsi material yang dapat dimanfaatkan kembali})]}{\text{Jumlah masing – masing produk (berat produk} \times \text{unit produk)}} \times 100\% \\ = \frac{[(4 \text{ kg} \times 95\% \times 1) + (4 \text{ kg} \times 0)]}{4 \text{ kg} \times 1} \times 100\% = 95\%$$

Indikator 13. Produk-produk yang dapat didaur ulang

Kalkulasi:

$$\frac{\text{Produk – produk yang dapat didaur ulang(\%)} = \text{Jumlah masing – masing Produk berat (berat produk} \times \text{proporsi material yang dapat didaur ulang} \times \text{unit produk)}}{\text{Jumlah masing – masing produk (berat produk} \times \text{unit produk)}} \times 100\% \\ = \frac{4 \text{ kg} \times 0 \times 1}{4 \text{ kg} \times 1} \times 100\% = 0\%$$

Indikator 14. Produk-produk yang mengandung material terbarukan

Kalkulasi:

$$\frac{\text{Produk – produk yang mengandung material terbarukan (\%)} = \text{Jumlah masing – masing Produk berat (berat produk} \times \text{proporsi material terbarukan} \times \text{unit produk)}}{\text{Jumlah masing – masing produk (berat produk} \times \text{unit produk)}} \times 100\% \\ = \frac{4 \text{ kg} \times 0,95 \times 1}{4 \text{ kg} \times 1} \times 100\% = 95\%$$

Indikator 15. Intensitas Material Tak Terbarukan pada Produk Pasca Pakai (Sampah)

Kalkulasi:

$$\frac{\text{Material tak terbarukan pada produk pasca pakai (ton)} = \text{Jumlah masing – masing Produk berat (berat produk} \times \text{proporsi material tak terbarukan} \times \text{unit produk)}}{\text{Estimasi durasi waktu pakai produk (product lifetime)}}$$

$$\frac{4 \text{ kg} \times 0 \times 1}{5} = 0$$

Indikator 16. Kandungan B3 dalam produk

Kalkulasi:

$$\text{Kandungan B3 dalam produk (\%)} =$$

$$\frac{\text{Jumlah masing – masing Produk berat (berat produk} \times \text{proporsi B3 dalam produk} \times \text{unit produk)}}{\text{Jumlah masing – masing produk (berat produk} \times \text{jumlah produksi)}}$$

$$\times \%$$

$$\frac{4 \text{ kg} \times 12,5 \times 1}{4 \text{ kg} \times 1} \times \% = 12,5\%$$

Indikator 17. Intensitas Konsumsi Energi pada Produk

Kalkulasi:

$$\text{Intensitas Konsumsi Energi pada Produk (MJ)} =$$

$$\frac{\text{Jumlah masing – masing Produk (rata – rata konsumsi energi pada setiap produk} \times \text{unit produk)}}{\text{Faktor Normalisasi}}$$

$$\frac{15 \text{ watt} \times 1}{1,2} \times 100\% = 14,9\%$$

Indikator 18. Intensitas GHGs yang berasal dari Produk

Kalkulasi:

$$\text{Intensitas GHGs yang berasal dari produk (tCO2e)} =$$

$$\frac{\text{Jumlah masing – masing Produk (rata – rata emisi GHGs per produk} \times \text{unit produk)}}{\text{Faktor Normalisasi}}$$

$$\frac{0 \times 1}{1,2} = 0$$

Definisi

1. Pola produksi dan konsumsi berkelanjutan adalah pembuatan dan penggunaan produk dan jasa untuk memenuhi kebutuhan hidup dan meningkatkan taraf hidup, dengan mengurangi penggunaan sumber daya alam, bahan beracun dan timbulan limbah serta pencemar sepanjang daur hidup produk dan jasa.
2. Sistem manajemen lingkungan adalah bagian sistem manajemen organisasi yang digunakan untuk mengembangkan dan menerapkan kebijakan lingkungan dan mengelola aspek lingkungannya.
3. Ekolabel adalah label lingkungan yang berupa pernyataan atau tanda yang menunjukkan keunggulan suatu produk dalam memberikan manfaat terhadap perlindungan lingkungan.
4. Produksi bersih adalah strategi pengelolaan yang bersifat preventif, terpadu, dan diterapkan secara terus-menerus pada setiap kegiatan mulai dari hulu ke hilir yang terkait dengan proses produksi, produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya sehingga meminimisasi risiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan.
5. Teknologi berwawasan lingkungan adalah teknologi yang diterapkan pada suatu kegiatan terkait dengan proses, produk dan jasa sehingga dapat mengurangi dan mencegah terjadinya pencemaran atau kerusakan lingkungan hidup.

6. Industri adalah seluruh bentuk kegiatan ekonomi yang mengolah bahan baku dan/ atau memanfaatkan sumber daya alam sehingga menghasilkan barang dan/ atau jasa yang mempunyai nilai tambah ekonomi dan manfaat yang lebih tinggi. Contoh industri jasa yang memanfaatkan sumber daya alam dan lingkungan adalah kegiatan industri perbankan, industri pariwisata, industri perhotelan dan lain sebagainya.
7. **Industri hijau** (*green industry*) adalah industri yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan sehingga mampu menyelaraskan pembangunan industri dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat bagi masyarakat.
8. **Manufaktur** adalah seluruh bentuk kegiatan ekonomi yang mengolah Standar Industri Hijau (SIH) adalah standar industri yang terkait dengan bahan baku, bahan penolong, energy, proses produksi, produk, manajemen perusahaan, pengelolaan limbah dan/ atau aspek lain yang dibakukan dan disusun secara consensus oleh semua pihak terkait yang bertujuan untuk mewujudkan Industri Hijau (*green industry*).
9. Rancangan Standar Industri Hijau (RSIH) adalah rumusan SIH yang disusun oleh Tim Teknis secara consensus.
10. Rancangan Akhir Standar Industri Hijau (RASIH) adalah RSIH yang siap ditetapkan menjadi SIH.
11. Bahan baku dan/ atau memanfaatkan sumber daya manufaktur sehingga menghasilkan barang yang mempunyai nilai tambah ekonomi atau manfaat lebih tinggi.

12. **Manufaktur hijau** (*green manufacturing*) adalah manufaktur yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan, sehingga mampu menyelaraskan pembangunan manufaktur dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat bagi masyarakat.

13. **Manufaktur berkelanjutan** (*sustainable manufacturing*) adalah manufaktur yang dalam proses produksinya mengutamakan upaya efisiensi dan efektivitas penggunaan sumber daya secara berkelanjutan, sehingga mampu menyelaraskan pembangunan manufaktur dengan kelestarian fungsi lingkungan hidup serta dapat memberikan manfaat yang besar bagi masyarakat.

Daftar Pustaka

- Anonym. 2015. Pedoman Penyusunan Standar Manufaktur Hijau, Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 51 Tahun 2015.
- Bell, P. A. 1978. *Environmental Psychology*. W. B. Saunders Company, Philadelphia : 457 hlm.
- Bies, D. A. & Hansen. 1996. *Engineering Noise Control, Theory and Practice*. 2nd ed. An Imprint of Chapman & Hall London : 44-127.
- Cooper, C. 1990. *Causes, Coping and Consequences of Stress at Work*. 3rd ed. John Wiley & Sons Ltd., New York : 419 hlm.
- DeSimone and Popoff, 2000. *Eco-efficiency, The Business Link to Sustainable Development*. The MIT Press Cambridge: xv + 280 hlm.
- Doelle, L. L. 1993. *Akustik Lingkungan*. Penerbit Erlangga, Jakarta : 261 hlm.
- Eileen Senn. et al. 2000. *Controlling Chemical Exposure Manufaktural Hygiene Fact Sheets*, Concise guidance on 16 components of manufaktural hygiene controls. New Jersey Department of Health and Senior Services Division of Epidemiology, Environmental and Occupational Health Occupational Health Service. 2000.
- Fine, William T. (1971). *Mathematical Evaluation for Controlling Hazards*. Naval Ordnance Laboratory White OAK : Maryland.
- Grandjean, E. 1996. *Fitting the Task to the Man. A Textbook of Occupational Ergonomics*. 4th Edition. Taylor & Francis, London and Philadelphia: 363 hlm.
- Groothoff, B. (2012). Physical Hazard: Noise and Vibration. In HaSPA (Health and Safety Professionals Alliance), *The Core Body of Knowledge for Generalist OHS Professionals*. Tullamarine, VIC. Safety Institute of Australia.

- Holmer, I. 1982. *Manual of Methods for Ergonomic Research*. National Institute for the Improvement of Working Conditions and Environment, Canberra: 68 hlm.
- I.D. Paul, G.P. Bhole, & J.R.Chaudhari. (2014). *A review on Green Manufacturing: It's important, Methodology and its Application*. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation (ICMPC 2014). Procedia Materials Science 6 (2014) 1644 – 1649. www.elsevier.com/locate/procedia.
- International Labour Organization. Encyclopedia Occupational Health Safety. ILO. 1998
- Jawahir, I. S. (2007). Sustainable Manufacturing Processes: New Challenges for Developing Predictive Models and Optimization Techniques. *First International Conference on Sustainable Manufacturing* (pp. 1-19). Montreal: Aerospace Manufacturing Technology Centre.
- Jonathan Dreher, Maureen Lawler, Jeremy Stewart, Giovanni Strasorier, Malaika Thorne. 2009. Metrics for Sustainable Manufacturing. General Motors. Laboratory for Sustainable Business.
- Kiely, G. 1997. *Environmental Engineering*. Chapter Nine. *Noise Pollution*, McGraw-Hill International (UK) Limited : 390-419.
- Miller, Geoff *et al.* 2010. *A case study of lean, sustainable manufacturing*. Journal of Industrial Engineering and Management. V3n1.p11-32. JIEM, 2010 – 3 (1) – Online ISSN: 2013-0953. Print ISSN: 2013-8423.
- Newman-Martin, G. (2012). Biological Hazards. In HaSPA (Health and Safety Professionals Alliance), *The Core Body of Knowledge for Generalist OHS Professionals*. Tullamarine, VIC. Safety Institute of Australia
- Murrell, H. 1986. *Ergonomics: Man in His Working Environment*. Chapman and Hall London : 496 hlm.
- OECD Council Working Party on Shipbuilding (WP6), 2010, *Environmental and Climate Change Issues in the Shipbuilding Industry*.

- Rizal. R. 2013. Manajemen Ekologi Industri. Penerbit UI-Press. Jakarta 2013; 320 hlm.
- Rosen, Marc A. & Kishway, Hossan A., 2012, *Sustainable Manufacturing and Design: Concepts, Practices and Needs*, Sustainability 4: 154-174
- Smith, L. dan Ball, P, 2012, *Steps Towards Sustainable Manufacturing through Modelling Material, Energy and Waste Flows*, International Journal of Production Economics Vol. 140 Issue 1: 227-238
- Tien-Chien Chang, et al. 1998. *Computer-Aided Manufacturing*, Second Edition, Prentice Hall 1998.
- Varinder Kumar Mittal & Kuldip Singh Sangwan. (2014). *Prioritizing Drivers for Green Manufacturing: Environmental, Social and Economic Perspectives*. 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering. Procedia CIRP 15 (2014) 135 - 140. www.elsevier.com/locate/procedia.
- Weisz, Helga. 2007. *Material and Energy Flow Studies: The Industrial Metabolism*. <http://www.mitpressjournals.org/jie>.
- Wyckoff, Andrew. 2010. *OECD Sustainable Manufacturing Toolkit. Seven Steps to Environmental Excellence*. Start-up Guide. www.oecd.org/innovation/green/toolkit.

RIWAYAT HIDUP



Dr. Ir. Reda Rizal, B.Sc. M.Si. lahir pada tanggal 25 Agustus 1959 di kota Padangpanjang Sumatera Barat. Tahun 1982 menyelesaikan pendidikan tinggi teknik dan manajemen industri, tahun 1983 menjadi Pegawai Negeri Sipil pada Kementerian Pertahanan yang ditugaskan sebagai Dosen Tetap di UPN "Veteran" Jakarta (sejak tahun 2015 menjadi Dosen PNS di Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi). Pada tahun 1998 menyelesaikan pendidikan pascasarjana pada Program Magister Sains Ilmu Lingkungan di Universitas Indonesia, dan pada tahun 2008 menyelesaikan pendidikan Doktor bidang Ilmu Lingkungan di Universitas Indonesia.

Pendidikan tambahan yang pernah diikuti antara lain Kursus Pengembangan Teknologi bidang Desain dan Industri, Pengembangan Manajemen Industri, Kursus Amdal Tipe A dan Tipe B (penyusun Amdal) serta Sertifikat Audit Lingkungan.

Pada tahun 2008 penulis memperoleh Sertifikat Dosen Professional Bidang Teknik dan Manajemen Industri dari Kementerian Pendidikan Nasional. Pada tahun 2012 ditunjuk oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sebagai Dosen Asesor untuk Beban Kinerja Dosen bidang Teknik dan Manajemen Industri. Sejak tahun 1986 Penulis telah menulis 14 (empatbelas) buah buku yaitu; 1) Buku Teknologi dan Material Tekstil Ramah Lingkungan, 2) Buku Teknologi Garmen, 3) Buku Prosedur Pengendalian Mutu Garmen, 4) Buku Ekologi yang diterbitkan oleh Kementerian Pendidikan Nasional Universitas Terbuka, 5) Buku Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah yang diterbitkan oleh Kementerian Dalam Negeri-Lembaga Administrasi Negara, 6) Buku Ilmu Pengetahuan Lingkungan, 7) Buku Manajemen Ekologi Industri yang diterbitkan di UI. Press, 8) *Apparel Handbook for Garment Companies and Education Institutes*, 9) Buku Monitoring, Pengendalian Mutu dan Penjaminan Mutu Produk Industri Garment, 10) Buku Analisis Kualitas Lingkungan, 11) Buku Studi Kelayakan Lingkungan, 12) Buku Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Industri, dan 13) Buku *Sustainable Manufacturing*, 14) Buku Rancang Bangun Model Teknologi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Saat ini penulis telah memperoleh 5 (lima) Hak Kekayaan Intelektual (HAKI) dibidang penulisan 5 (lima) buku teks pelajaran untuk pendidikan tinggi. Sejak tahun 1990 hingga sekarang Penulis aktif menulis di berbagai Jurnal Ilmiah diantaranya Jurnal Bina Widya, Jurnal Bina Teknika, Jurnal Matematika, Sains dan Teknologi (JMST) Universitas Terbuka, dan Jurnal Pusat Studi Lingkungan Perguruan Tinggi Seluruh Indonesia, Lingkungan & Pembangunan Universitas Indonesia, dan telah menghasilkan tulisan ilmiah lebih dari 50 topik yang telah diterbitkan di berbagai jurnal lembaga perguruan tinggi.

Sampai saat ini Penulis bekerja sebagai tenaga pengajar pada Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Indonesia (Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia = SIL-UI), pengajar tetap pada Fakultas Teknik dan Fakultas Ilmu Kesehatan UPN "Veteran" Jakarta, tenaga pengajar senior pada *International Garment Training Center*, dan sebagai tenaga ahli peneliti bidang Ekologi Industri pada Pusat Penelitian Sumberdaya Manusia dan Lingkungan Hidup Program Pascasarjana Universitas Indonesia (PPSML PPs-UI). Profesi peneliti bidang lingkungan hidup telah dilakukan pada berbagai proyek kajian bidang lingkungan hidup pada berbagai kegiatan pembangunan daerah di seluruh Indonesia, termasuk penelitian bekerjasama dengan lembaga internasional seperti *GTZ, GLZ, Swisscontact* dan Konsorsium *Mott MacDonald Limited* yang dilakukan dalam rangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup serta ekologi industri di Indonesia



Penerbit Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta

Jl. R.S. Fatmawati, Pondok Labu, Jakarta Selatan 12450

Telp./Fax. 021-7656971 Ext. 234

e-mail: lppm@upnvj.ac.id