

# PERANCANGAN LINGKUNGAN INDUSTRI DALAM UPAYA MENINGKATKAN EKOEFISIENSI PROSES DAN PRODUK INDUSTRI

Reda Rizal

Dosen Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta  
reda\_rizal59@yahoo.co.id

## Abstract

*Design for environment has defined as systematic consideration of design performance with respect to environmental, health, and safety objectives over the full product and process life cycle in industrial system. Sustainable development is industrial progress that meet the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. DfE lies squarely at the intersection of these two thrusts. It represents a way to achieve sustainability while seeking competitive advantage. The scope of DfE construed broadly, can encompass a variety of overlapping discipline, include; occupational health and safety, consumer health and safety, ecological integrity and resources protection, pollution prevention and toxic use reduction, transportability (safety and energy use), waste reduction or minimization, disassembly and disposability, recyclability and remanufacturability.*

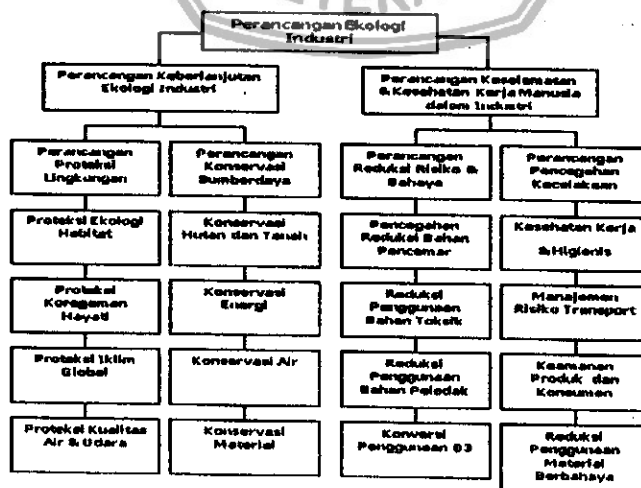
**Keywords:** material, energy input, process, product, entropy.

## PENDAHULUAN

Perancangan lingkungan (*Design for Environment = DfE*) adalah kegiatan perencanaan sistemik atas keseluruhan detail enjinerig desain industry yang apresiatif terhadap lingkungan hidup. Detail enjinerig perancangan industry yang dimaksud meliputi; perancangan keselamatan dan kesehatan lingkungan industry, perancangan keselamatan dan kesehatan konsumen pemakai produk, perancangan perlindungan sumberdaya dan integritas ekologi, pencegahan pencemaran dan reduksi penggunaan bahan toksik, merancang produk yang mudah ditranspotasikan (*transportability*) guna menghemat energi, perancangan meminimumkan 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 industri ke dalam hubungan komponen-komponen lingkungan industri menjadi sangat penting dalam melaksanakan manajemen ekologi industry secara praktis agar dapat dicapai tujuan keberhasilan dalam upaya pengembangan produk-produk yang ekofisien dengan tanpa melakukan pencemaran dan perusakan terhadap lingkungan hidup.



Gambar 1. Hirarkhi Perancangan Lingkungan Industri

Perancangan lingkungan industri harus dapat dianalisis melalui dua aspek rancangan yaitu; perancangan keberlanjutan ekologi industri dan perancangan keselamatan dan kesehatan manusia, lingkungan, dan sumberdaya (keseluruhan daur material kehidupan). Secara

hirarkhis perancangan keberlanjutan ekologi industri 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 sumberdaya alam dan lingkungan hidup meliputi; melakukan konservasi terhadap hutan dan tanah, melakukan konservasi materi dan energy untuk kegiatan operasional industry, melakukan konservasi terhadap sumber air bersih dan penggunaannya dalam kegiatan industry. Selanjutnya secara hirarkhis pula perancangan terhadap keselamatan dan kesehatan manusia, lingkungan, dan sumberdaya dapat dianalisis melalui aspek reduksi resiko, reduksi penggunaan bahan B3, pencegahan kecelakaan kerja dan sebagainya.

### Perancangan Ekologi Industri

Dalam rangka mengintegrasikan perancangan ekologi industri kedalam proses pengembangan produk-produk baru, maka elemen-elemen kunci yang dipersyaratkan dalam perancangan ekologi industry adalah: 1). Ukuran atau nilai keefisiensi yang dikendalikan oleh kebutuhan-kebutuhan dasar konsumen, dan tujuan kegiatan perusahaan industri guna menopang dayaguna serta ketahanan lingkungan, 2). Praktik-praktik perancangan keefisiensi harus dilandasi dengan penggunaan teknologi yang relevan dan ramah lingkungan, serta didukung oleh adanya petunjuk rekayasa enjinerig jelas, 3). Metode analisis keefisiensi digunakan untuk menilai maksud dan tujuan perancangan yang memperhatikan ukuran atau nilai keefisiensi, dan menganalisis biaya-biaya serta kualitas produk yang hendak diproduksi.

Sebagai bahan masukan penting bagi tim (kelompok) perancang ekologi industri hendaknya kelompok ini memiliki informasi lengkap mengenai infrastruktur kawasan industry atau pabrik yang dapat menopang aplikasi tolok ukur perancangan ekologi industri, praktik dan metode analisisnya.

Variabel nilai dan ukuran keefisiensi industri yang digunakan oleh berbagai kegiatan industri, merefleksikan masalah-masalah lingkungan industri secara spesifik, dan pengukuran ini telah banyak diadopsi oleh program *eco-labeling* di Eropa dan Amerika. Contoh pengukuran nilai keefisiensi kegiatan industri yang dilakukan berbeda-beda, perbedaan-perbedaan tipe pengukuran yang dimaksud termasuk satuan ukuran penggunaan zat toksik misalnya; total kilogram pelarut untuk setiap unit produksi; pengukuran utilitas sumberdaya 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 industri 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 industri.

Praktik-praktik perancangan ekologi industri yang lazim digunakan oleh industri 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 industry, 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 industry, 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 memakai 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.

## Ukuran Ekoefisiensi

Variabel nilai dan ukuran ekoefisiensi atau pengukuran performa lingkungan industri yang digunakan oleh berbagai kegiatan industri, merefleksikan masalah-masalah lingkungan industri secara spesifik, dan pengukuran ini telah banyak diadopsi oleh program *eco-labeling* di Eropa dan Amerika. Contoh pengukuran nilai ekoefisiensi kegiatan industri yang dilakukan berbeda-beda, perbedaan-perbedaan tipe pengukuran yang dimaksud termasuk satuan ukuran penggunaan zat toksik misalnya; total kilogram pelarut untuk setiap unit produksi; pengukuran utilitas sumberdaya 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 industri 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 industri.

## Metode Analisis

Metode analisis diperlukan untuk menilai derajat perbaikan yang diharapkan dari parameter-parameter baru untuk mencapai ukuran-ukuran *eco-efficiency*. Metode analisis difokuskan mulai dari estimasi terhadap parameter (seperti; survei pasar yang mengharapakan nilai-nilai daur ulang) dan dampak lingkungan yang akan terjadi pada penilaian daur hidup secara keseluruhan. Parameter-parameter yang diukur tersebut termasuk hubungannya dengan hal yang tercermin pada interaksi antara pengukuran biaya yang ditimbulkan dengan manfaat yang diperoleh (*reliability* dan *durability*). Terdapat 4 (empat) metode analisis yang umum digunakan yaitu : 1). Analisis dengan metode penyaringan (*screening*); yaitu dengan cara mempersempit alternatif pilihan penggunaan desain produk alternatif. Sebagai contoh misalnya memilih zat-zat kimia yang berdaya biodegradasi tinggi sebagai material utama dan atau bahan baku pembantu, serta memilih material produk yang dapat didaur ulang secara keseluruhan, 2). Analisis dengan 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, atau memprediksi konsentrasi emisi yang akan terjadi pada lingkungan. Metode penilaian yang lazim digunakan oleh kegiatan industri 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, 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.

Komponen lingkungan dan parameter yang dapat digunakan untuk mengukur ekoefisiensi dari suatu aktivitas kegiatan industri antara lain adalah; 1). Jumlah pemakaian energy; (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 khususnya pada produk-produk elektronika, 2). Jumlah pemakaian 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 khusus untuk produk elektronika.

3). Jumlah penggunaan bahan berbahaya dan beracun (B3); (a). Kuantitas dan kualitas material toksik atau B3 yang digunakan selama proses produksi., (b). Jumlah total limbah B3 yang dihasilkan selama proses produksi., (c). Kuantitas dan kualitas limbah B3 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 yang digunakan kembali sebagai input proses produksi.

5). Ukuran volume sumberdaya; (a). Berat massa produk yang dihasilkan industry atau pabrik yang dijual ke konsumen. Semakin besar volume produk barang yang dihasilkan oleh suatu pabrik, maka semakin tidak ekoefisien industry tersebut, (b). Daya manfaat material produk bagi perikehidupan manusia dan

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

Pada tingkatan agregat, maka keseluruhan nilai-nilai ataupun ukuran keefisiensi industry tersebut di atas harus digunakan dalam mengukur performa sistem industry. Kondisi ini disebut sebagai ukuran primer tingkat keberhasilan manajemen ekologi industry dalam mengelola industry 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 industry. Hubungan antara tujuan pengelolaan ekologi industry dan ukuran manfaat serta kegunaan produk industry dapat dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 1. Manajemen Ekologi Industri dan Ukuran Ekoefisiensi

Manajemen Ekologi Industri	Ukuran	Tujuan
Reduksi atau eliminasi limbah	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berat atau jumlah emisi yang dihasilkan selama daur hidup</li> <li>Persentase berat produk yang dibuang ke tanah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduksi emisi mencapai 30% per tahun</li> <li>Reduksi limbah padat yang dibuang mencapai 1 pounds per unit produk</li> </ul>
Pengembangan "green" produk yang dapat di recycle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Persentase berat produk yang dipulihkan dan di recycle</li> <li>Emisi limbah padat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recycling mencapai 95%</li> <li>Eliminasi limbah akhir setelah recycling</li> </ul>
Reduksi biaya siklus hidup produk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biaya manufaktur</li> <li>Biaya distribusi dan pendukung</li> <li>Biaya daur hidup produk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduksi total biaya siklus hidup mencapai \$7500 per unit produk</li> <li>Reduksi biaya akhir hidup untuk meningkatkan nilai mencapai 29%</li> </ul>
Reduksi biaya untuk konsumen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biaya operasi dan pembelian bahan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduksi biaya mencapai lebih dari \$500 per tahun</li> </ul>
Konservasi konsumsi energi pada daur hidup produk	<ul style="list-style-type: none"> <li>Total energi (BTUs) untuk memproduksi satu unit produk</li> <li>Rata-rata penggunaan energi listrik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduksi mencapai 1000 BTU</li> <li>Reduksi 10% per tahun</li> <li>Pemakaian listrik kurang dari 30 Watt</li> </ul>
Konservasi sumber daya alam dengan cara meningkatkan bahan yang dapat didaur ulang	<ul style="list-style-type: none"> <li>Persen berat material produk yang dapat didaur ulang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mencapai 20% atau lebih besar dari total bahan yang dapat didaur ulang</li> <li>Mencapai 30% berat bahan plastik yang dapat didaur ulang</li> </ul>

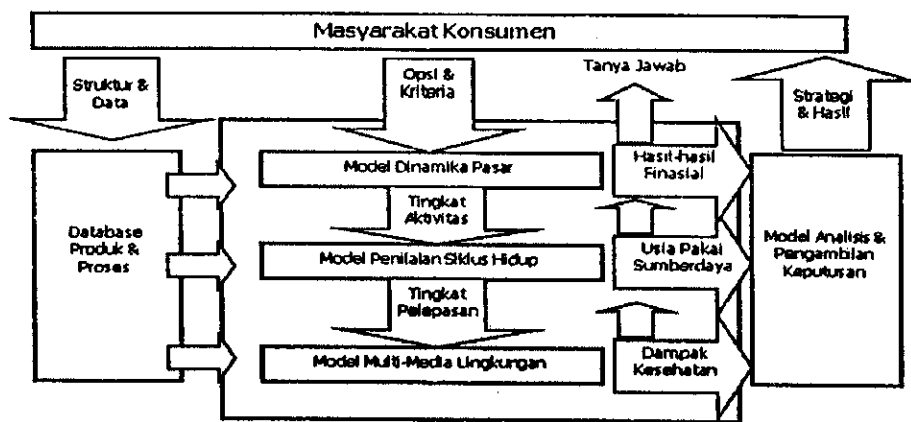
Sumber: Joseph Fiksel, 1996

Untuk menciptakan sistem industri 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 industri yang diperlukan untuk dapat disimpan di dalam suatu *data base* yang dapat diperbarui secara periodik.

Untuk menciptakan system industri yang berwawasan lingkungan maka diharapkan adanya suatu infrastruktur informasi yang dapat menopang system pendekatan DfE yaitu; data dasar tentang produk, proses, data karakteristik industri yang diperlukan untuk disimpan di dalam suatu *data base* yang dapat diperbarui secara periodic.

Infrastruktur informasi dalam perancangan ekologi industri 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 industri 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 industri, 3). Model "multimedia lingkungan" dapat digunakan untuk menilai dampak yang ditimbulkan oleh kegiatan suatu industri, 4). Model yang dapat mendukung kebijakan ekologi industri 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.



Sumber: Fiksel, 1996

Gambar 2. Infrastruktur Informasi Perancangan Ekologi Industri

Berdasarkan gambar 8 tersebut di atas dapat diilustrasikan contoh praktis yang dapat diterapkan pada ekologi industri; 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. Oleh karena banyaknya permintaan konsumen terhadap pakaian Blue Jean's yang "lusuh" dan "luntur" maka konsekuensinya adalah banyaknya pencemaran air yang dilakukan oleh kegiatan industri maupun konsumen ketika mencuci pakaian Blue Jean's. Untuk itu kebijakan manajemen ekologi industri tekstil garmen harus diarahkan pada produksi pakaian Blue Jean's yang memanfaatkan material yang tidak mengandung material pewarna tekstil yang bersifat B3, sehingga disatu sisi dapat menyelamatkan dan melindungi ekologi di sisi lain dapat melayani dan memenuhi kebutuhan konsumen secara berkelanjutan.

Bila menggunakan model "penilaian daur hidup" pada energi, material, dan limbah yang ditimbulkan oleh kegiatan industri, maka dapat kita lihat pada kasus industri tekstil garmen yang mampu memproduksi pakaian yang berkualitas tinggi dengan indikator kualitas pakaian dengan durabilitas tinggi atau tahan lama. Bila 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 bila perusahaan industri garmen mengambil suatu kebijakan yang mampu memproduksi pakaian berkualitas baik, maka paling tidak industri garmen ini telah mampu menahan laju pertambahan sampah pakaian di lingkungan

sebanyak lima potong pakaian per tahun untuk setiap konsumen.

### Pengembangan Produk dan Proses Industri

Dengan semakin meningkatnya tekanan kompetisi dunia usaha industri 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/integrasi dalam memproduksi produk yang diinginkan konsumen, 4). Adanya usaha untuk membangun dukungan dalam perancangan ekologi industri secara berkelanjutan.

Supaya efektifnya proses kerja industri dalam merealisasikan pembuatan produk barang yang diinginkan oleh pasar dan konsumen maka manajemen industri perlu melakukan langkah-langkah strategis sebagai berikut: 1). Mendefinisikan dan merinci kebutuhan konsumen dan semua persyaratan daya guna produk bagi manusia dan makhluk hidup serta lingkungan, 2). Merencanakan suatu evolusi produk yang mengarah pada produk yang apresiatif terhadap keberlanjutan ekologi industry, 3). Melakukan perencanaan secara bersama-sama dalam mendesain proses manufaktur yang tidak merusak lingkungan, 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, 5). Melakukan proses produksi sesuai dengan desain yang telah disepakati dengan baik, melakukan monitoring terhadap keseluruhan proses produksi dan kualitas produk yang dihasilkan.

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 melakukan solusi 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.

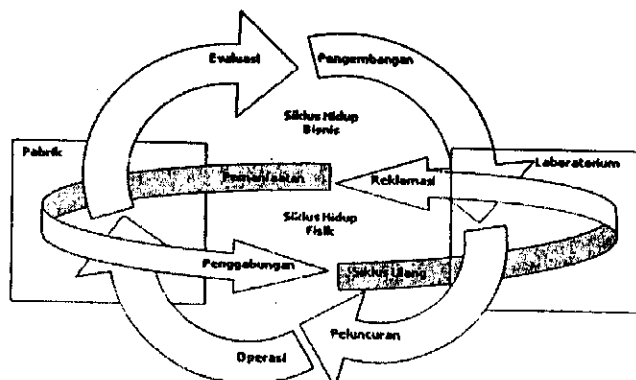
Dalam rangka pengelolaan lingkungan secara berkualitas melalui penyempurnaan proses integrasi perusahaan terhadap masalah lingkungan, maka diperlukan 2 (dua) bentuk perubahan penting: 1). Membangun suatu organisasi formal yang mampu memperbaiki performa lingkungan (ekologi) industri, 2). Melakukan modifikasi 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.

Perusahaan-perusahaan yang 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

industry antara lain adalah: 1). Ketersediaan sumberdaya alam yang terbatas untuk dapat dimulainya kegiatan proyek-proyek baru dalam industry, 2). Masalah cara kerja organisasi dan budaya kerja personil yang sangat lamban, 3). Isu ekologi industri yang tidak dapat dimengerti atau tidak mampu dipahami secara utuh oleh para manajer, karyawan dan operator, 4). Sistem akuntansi yang ada tidak mampu merefleksikan nilai atau harga ekologi yang dimanfaatkan oleh industri, 5). Tim perancang produksi sering mengalami ketakutan dan kekhawatiran dalam mengkompromikan kualitas produk, masalah efisiensi produksi dengan aspek kepentingan ekologi industri.

### Daur Hidup Material dalam Proses Produksi dan Produk Barang

Terminology daur hidup material (*material life cycle*) didefinisikan secara berbeda oleh masyarakat karena adanya anggapan bahwa: 1). Daur hidup usaha (*business life cycle*); daur hidup produk merupakan bagian dari tahapan aktivitas pembuatan produk yang meliputi daya kreasi pengembangan produk, efisiensi produksi, perawatan alat industri, proses finishing produk, proses evaluasi ulang terhadap pembaruan bentuk produk regenerasi berikutnya. Daur hidup proses merupakan bagian dari tahapan aktivitas industry secara menyeluruh, perencanaan pengembangan fasilitas, perancangan proses, arsitektur dan konstruksi yang harus berlangsung secara berkelanjutan dan berkesinambungan, 2). Daur hidup fisik (*physical life cycle*); daur hidup produk merupakan bagian dari proses transformasi materi dan energi, termasuk ekstraksi dan proses penggabungan komponen-komponen produk, proses distribusi produk, penggunaan produk, pemulihan atau daur ulang sisa material produk. Daur hidup proses merupakan bagian dari transformasi penggunaan material dan energi, termasuk ekstraksi dan proses penggunaan material untuk alat-alat proses dan sistem suplai bahan baku, proses pengawasan produksi, pembersihan dan perawatan alat-alat, pembuangan limbah serta pemulihan material limbah yang harus berlangsung secara alamiah, berkelanjutan dan berkesinambungan.



Gambar 3. Dua Siklus Hidup Berasosiasi Dalam Produk



*Horizontal recycling* merupakan sistem *closed-loop recycling* yaitu suatu sistem dimana bahan atau material produk dapat di olah kembali menjadi produk yang sama, contohnya; botol bekas dapat dibuat kembali (remanufacture) menjadi botol yang sama bentuk dan kualitasnya. *Vertical recycling* juga merupakan *closed-loop* sistem kegiatan manajemen perencanaan pengembangan produk yang telah melalui uji coba di laboratorium diluncurkan, kemudian diwujudkan dalam kegiatan produksi masal, kemudian dilakukan evaluasi terhadap produk untuk pengembangan desain produk berikutnya.

Dari gambar 3 di atas terlihat bahwa laboratorium merupakan tempat aktivitas berkreasi untuk membuat konsep-konsep dan percobaan-percobaan untuk membuat desain produk terbaru pada skala kecil, sedangkan pabrik (*factory*) merupakan tempat aktivitas penerapan hasil uji laboratorium dengan kegiatan produksi berskala penuh.

Perbedaan antara daur hidup bisnis dan daur hidup fisik adalah: 1). Pada skala waktu; daur hidup bisnis 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 berkisar waktu harian atau mingguan, sedangkan rentang waktu penggunaan/pemanfaatan produk durasinya dapat berkisar tahunan atau decade, 2). 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 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 memperbarui 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 lebih bermakna pada tindakan kerangka kerja untuk membuat kebijakan biaya dan kebijakan perdagangan yang mengapresiasi produk yang sangat dibutuhkan untuk masa depan. Interpretasi

kedua lebih terfokus kepada upaya-upaya baru 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:

### 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 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 pesat, kondisinya saat ini telah mencapai suatu titik dimana material yang dapat di daur ulang dapat ditemui pada bermacam-macam produk barang industri.

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

Secara umum kemampuan daur ulang suatu material 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 didaur 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 yang masih memiliki nilai secara ekonomi dan ekologi.

Pertimbangan penting dalam menentukan nilai akhir hidup (*end of life value*) dari berbagai komponen produk, maka pengembangan produk dapat ditingkatkan nilainya melalui 4 (empat) cara yaitu; 1). Merancang komponen-komponen yang dapat dipakai ulang untuk tujuan sistem manufaktur lingkaran tertutup (*close loop manufacturing*), 2). Merancang komponen-komponen 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 yang bersifat sulit dihancurkan misalnya; banyaknya chips yang menggunung menjadi sampah yang sulit dipulihkan karena adanya unsure-unsur timah yang sangat halus, 4). Merancang komponen produk barang secara cepat dan dapat segera didiagnosis dampaknya terhadap lingkungan dan segera dapat diperbaharui bila di kemudian hari menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan.

**2). Perancangan Pembongkaran Komponen Produk;** (a). Fasilitas akses terhadap komponen produk, Tujuan perancangan pembongkaran adalah untuk menjamin suatu sistem produk dapat dibongkar dengan biaya dan tenaga yang minimum. Kemudahan pembongkaran ataupun separasi bagian komponen-komponen produk merupakan hal yang sangat penting sebagai prasyarat yang diperlukan untuk pertimbangan "akhir hidup" suatu material produk barang guna memudahkan untuk didaur ulang. Demikian pula halnya bila produk barang tersebut menjadi sampah maka dengan mudah material produk barang dapat didekomposisi oleh mikroorganisme tanah, (b). Penyederhanaan bahan perekat, Pembongkaran bagian komponen produk, komponen zat pelarut, dan teknologi yang digunakan sebagai penghubung secara langsung dapat mempengaruhi kemudahan dalam mengerjakan pembongkaran bagian komponen produk.

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 proses-proses pembongkaran produk mesin tersebut, 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 bila digabung 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). Penggunaan sistem dokumentasi elektronik dan menghindari 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 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 dipisahkan 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 adhesif dan atau las guna dapat menjamin kemudahan untuk dipisahkan secara mudah dan murah. Setelah dilakukan proses pemisahan 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 dipisahkan 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 insinerator menjadi biomassa yang bermanfaat bagi lingkungan, limbah B3 untuk menghasilkan energi listrik, (b). **Perancangan konservasi energi**; Terdapat 3 (tiga) tingkatan langkah dalam mewujudkan perancangan konservasi energi yaitu; mereduksi penggunaan energi dalam proses produksi dan mereduksi penggunaan energi pada proses distribusi produk serta penggunaan energi yang dapat diperbarui (*renewable energy*). 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 CO<sub>2</sub>, 5,8 grams SO<sub>2</sub>, dan 2,5 gram NO<sub>2</sub>. 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 diangkat 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 mendesain 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 bungkusan, 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, (e). Menggunakan energi yang dapat diperbarui (*renewable energy*). Pendekatan menggunakan energi terbarukan merupakan salah satu langkah yang dapat dilakukan dalam pembangunan industri berkelanjutan. Hal yang dapat dilakukan 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 sumberdaya yang dikonsumsi sebagai input material produk barang dalam proses produksi. Penggunaan komponen-komponen yang dapat di remanufaktur akan dapat dilakukan konsevasi 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 keefisiensi 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). **Pancuran sumberdaya (*resource cascading*)**, Salah satu pendekatan yang digunakan dalam mendisain aktivitas lingkungan industry (DfE) adalah memaksimumkan pemanfaatan sumberdaya alam yang didasari atas teori "*resource cascading*". *Resource cascading* adalah suatu sistem dalam pemanfaatan sumberdaya 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 8.3 untuk menemukan susunan bagian penggunaan sumberdaya, mulai dari bentuk kualitas tinggi sampai ke bentuk kualitas terendah. Aplikasinya pada sistem industry misalnya; pelarut murni digunakan untuk melarutkan lemak pada pabrik elektronik, 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 sumberdaya 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.

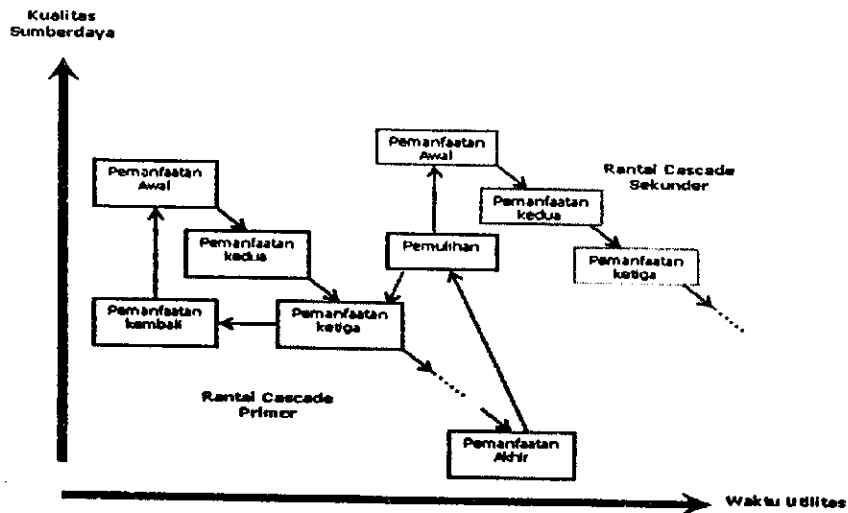
Pada pendekatan "*cascading daur tertutup*" misalnya; pada material plastik pertama kali digunakan untuk bagian peralatan kosmetik,

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* sumberdaya mendorong kita merebut nilai ekonomi sebanyak-banyaknya sebisa mungkin sampai nilainya semakin lama semakin surut.

Terdapat 4 (empat) prinsip dasar yang berasosiasi membentuk prinsip "*cascading*" atau pancuran sumberdaya yaitu; (a). Kepatutan atau kepantasan; prinsip pemanfaatan cadangan sumberdaya yang berkualitas tinggi dapat digunakan pada pemanfaatan produk barang yang paling banyak dibutuhkan konsumen, (b). Peningkatan daya manfaat dan pemanfaatan sumberdaya melalui perpanjangan waktu utilitas dan mencegah penurunan kualitas sumberdaya alam yang dipakai oleh industry sebagai bahan baku produksi. Salah satu contoh peningkatan pemanfaatan material sumberdaya alam melalui proses regenerasi material sumberdaya alam itu sendiri, (c). Menghubungkan kembali (*relinking*); prinsip untuk pemanfaatan hubungan konservasi terhadap *matrantai cascade* dan mengupayakan pengangkatan sumberdaya ke *matrantai cascade* kedua dimana pemanfaatannya dapat lebih besar misalnya; menggunakan kembali limbah produksi menjadi bahan baku pada proses produksi yang berbeda, (d). Keberlanjutan (*sustainability*); prinsip yang dapat menjamin arus konsumsi sumberdaya yang seimbang dengan arus regenerasi sumberdaya.

Keberlanjutan ketersediaan dan penggunaan sumberdaya alam sebagai bahan baku industry harus dapat dijamin oleh manajemen ekologi industry. Misalnya operasional industry hendaknya memperhitungkan dan mempertimbangkan factor kontinuitas atau keberlanjutan ketersediaan bahan baku untuk menopang keberlanjutan aktivitas kegiatan usaha industry. Jadi, dalam prinsip ini kegiatan industry yang keberlanjutan harus dapat memperhatikan ketersediaan bahan baku di lingkungannya meskipun letak lokasi material bahan baku tidak berdekatan langsung dengan lokasi industry. Contoh industry yang tidak berkelanjutan diantaranya adalah industry rayon yang sangat tergantung pada ketersediaan dan regenerasi pohon pinus sebagai bahan baku utama. Jika tidak dijaga dan dirawat proses regenerasi dan pertumbuhan pohon pinus maka kegiatan industry rayon akan terhenti berproduksi atau kegiatan industry rayon tersebut tidak berkelanjutan.

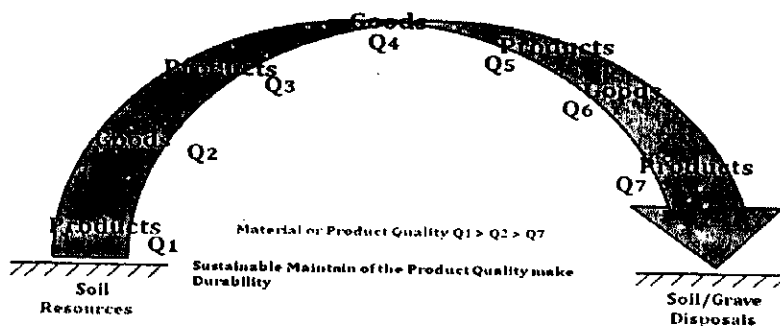


Gambar 4. Cascading Pemanfaatan Sumberdaya material

Contoh yang dapat dilakukan dalam upaya memaksimalkan utilitas sumberdaya atau material bahan baku industry adalah sebagai berikut: 1). Merintang 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.

*Grave theory* adalah suatu konsep untuk menilai siklus material sumberdaya alam (ekologi) yang digunakan oleh sistem industry 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. 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 sumberdaya alam akan bermakna positif bilamana terdapat keadaan (upaya) industry untuk melakukan perawatan (*maintain*) dan memelihara kondisi sistem industry yang mampu menghasilkan produk barang berkualitas (produk barang berkualitas tentunya tahan lama dipakai konsumen).

### 13. Perancangan Produk Menggunakan Teori "From Cradle to Grave", *From Cradle to*



Gambar 5. 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, maka daur ulang material akan dilakukan oleh komponen alam (*decomposer*) secara alamiah di dalam tanah (*soil*) atau masuk kuburan (*grave*) untuk didaur ulang 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.

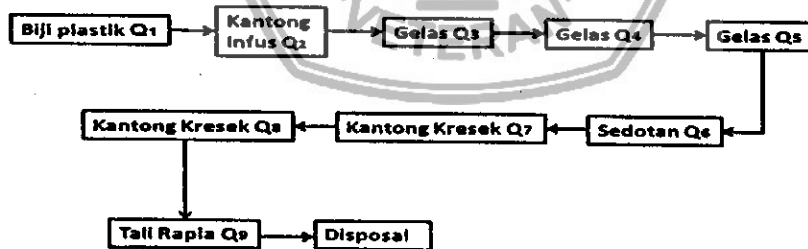
Tanggungjawab implementasi tindakan perawatan dan penanganan ataupun pemanfaatan sumberdaya material atau produk mulai dari produk  $Q_1$  sampai produk  $Q_7$  selama proses pemanfaatan produk (*cradle*) adalah terletak pada produsen dan konsumen.



Gambar 6. Implementasi Teori From Cradle to Grave

Sebagai ilustrasi implementasi teori ini dapat kita analisis melalui perancangan produk industry yang bahan bakunya diambil dari tanah

(*soil*) sebagai tempat dimana ada sumberdaya (*resources*) yaitu biji plastic yang diperoleh dari hasil ekstraksi minyak bumi.



Gambar 7. Alir Material dalam Analisis Cradle to Grave

Bermula dari kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya 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 rafia plastic, bila tali rafia plastic yang telah terpakai tidak mungkin lagi bias didaur ulang

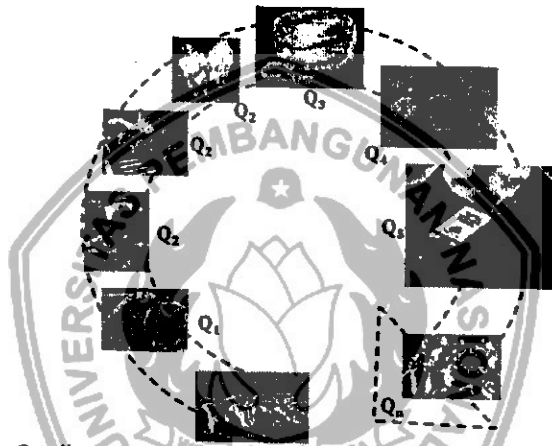
menjadi produk tertentu (menjadi sampah) maka ia akan masuk ke dalam kuburan (*grave*).

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 pengurusan sumberdaya bahan baku untuk industry plastic maupun penumpukan sampah di tanah. Hal penting lainnya adalah terdapat masa atau waktu jeda bagi alam untuk regenerasi material bahan baku bagi industry lainnya (meskipun regenerasi bahan baku plastic atau minyak bumi berlangsung ratusan tahun lamanya).

Ukuran tingkat keberhasilan implementasi teori "*from cradle to grave*" ini pada dunia industry adalah: i) durasi pemanfaatan material sebagai material Q1, Q2, ..Qn, ii) daya manfaat produk di tingkat Q1, Q2,.. Qn, iii) biaya minimum pada proses daur ulang produk Q1 menjadi Q2, Q2 menjadi Q3, dan seterusnya sampai Qn, iv) biaya

perawatan material dan produk mulai dari Q1 sampai Qn, 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*).

Masa "*cradle*" adalah total durasi waktu pemanfaatan material sebagai produk  $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_7$ , sedangkan masa "*grave*" adalah durasi waktu degradasi sampah produk Qn 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 industry tekstil.



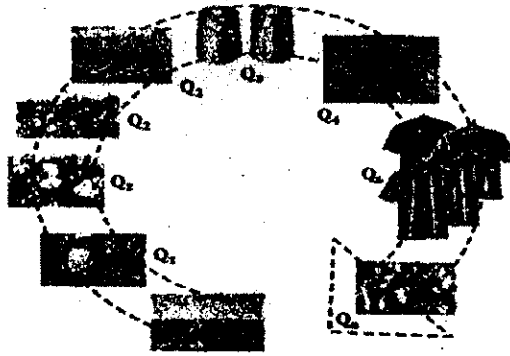
Gambar 8. *From Cradle to Grave* pada Industri Tekstil dan Garment dengan Material Wool

Bahan baku industry kain woll adalah bulu hewan Domba atau Biri-biri. Bulu domba (*sheep*) sebagai sumberdaya material bahan baku untuk kegiatan industry 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 industry industry tekstil-garment dan apparel bermula dari

transformasi energy matahari menjadi material rumput Q1 yang kemudian dimakan oleh Domba untuk perikehidupannya termasuk menghasilkan produk bulu-bulu wool (Q2) di sekujur tubuhnya. Material produk bulu-bulu atau serat (fibers) wool Q2 diolah menjadi material dan produk benang wool (Q3) pada industry pemintalan benang (spinning mills). Kemudian material produk benang wool (Q3) dirajut dan atau ditenun menjadi kain (Q4) dan apparel (Q4), untuk selanjutnya material produk kain Q4 diproduksi menjadi material produk pakaian woll Q5.





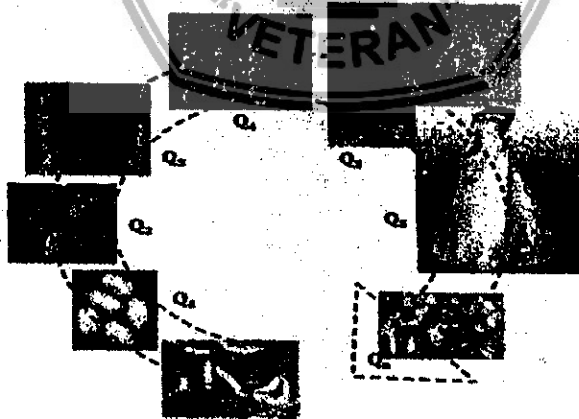
Gambar 9. *From Cradle to Grave* pada Industri Garment dengan Material Cotton

Bila material produk pakaian wool  $Q_5$  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 pengurasan sumberdaya 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  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , ii) daya manfaat produk di tingkat  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , 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  $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_7$ , sedangkan masa "*grave*" adalah durasi waktu degradasi sampah produk  $Q_n$  menjadi nutrient dalam tanah oleh mikro-organisme sebagai pengurai material limbah.



Gambar 10. *From Cradle to Grave* pada Industri Garment dengan Material Sutera

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 sintetis seperti; polyester, nylon dan atau acrylic maka industri ini dapat digolongkan kedalam kelompok industri yang tidak ramah lingkungan (*un-eco-friendly industry*) karena material sintetis tidak dapat didaur ulang secara alamiah dalam tanah.

## KESIMPULAN

DfE merupakan salah satu alat yang digunakan untuk merancang secara sistemik terhadap desain engineering industry yang apresiatif terhadap ekologi, dan secara sukses telah dilakukan dalam bidang manajemen EH&S (*environmental health and safety*). Perancangan lingkungan industry meliputi kegiatan perancangan terhadap keselamatan dan kesehatan lingkungan industry, perancangan keselamatan dan kesehatan konsumen pemakai produk, perancangan perlindungan sumberdaya dan integritas ekologi, pencegahan pencemaran dan reduksi penggunaan bahan toksik, merancang produk yang mudah ditranspotasikan guna menghemat energi, perancangan meminimumkan limbah, merancang produk yang mudah dibongkar dan mudah dibuang (tidak membahayakan lingkungan), merancang produk yang mudah didaur ulang dan dimanufaktur ulang.

Perusahaan besar kelas dunia seperti; Xerox, IBM dan berbagai industry otomotif lainnya telah mempraktekkan DfE secara sukses dalam pengembangan produknya, dan secara signifikan telah memperoleh keuntungan yang sangat kompetitif. Satu faktor kunci keberhasilan pelaksanaan DfE adalah perancangan organisasi yang tepat dan cocok bagi jenis kegiatan industry dan tipologi lingkungannya, mengorganisir DfE sebagai bagian dari pengembangan produk dan melakukan pengelolaan yang ketat terhadap organisasi industri.

## DAFTAR PUSTAKA

BASF. 2008. *The BASF Ecoefficiency Analysis: In Dialog*. BASF Aktiengesellschaft, 67056 Ludwigshafen Germany, November 2000.

DeSimone and Popoff. 2000. *Eco-Efficiency; The Business Link to Sustainable Development*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts Institute of Technology.

Djajadiningrat, Surna T. 2001. *Pemikiran, Tantangan dan Permasalahan Lingkungan*. Studio Tekno Ekono ITB-Bandung.

Djajadiningrat, Aziz. 2000. *Ekologi Industri sebagai Konsep Teknologi Pengelolaan Lingkungan*. Jurnal Ekologi & Pembangunan UNPAD.

EPA, US. 2003. *RCRA inFocus Textile Manufacturing*. U.S. Environmental Protection Agency.

----- 2001. *Guide to Industrial Assessments for Pollution Prevention and Energy Efficiency*. U.S. Environmental Protection Agency.

Fiksel, J. 1996. *Design for Environment, Creating Eco-Efficient Products and Processes*. McGraw-Hill, New York.

Graedel & Allenby. 1995. *Industrial Ecology*. AT&T Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Grieg-Gran, Maryanne. 1997. *Towards a Sustainable Paper Cycle*. Journal of Industrial Ecology. Volume I, Number 3. School of Forestry and Environmental Studies, Published by MIT Press

Lowe, Ernest. 1996. *Industrial Ecology : A Context for Design and Decision*.

Marina Fischer-Kowalski. 2003. *On the History of Industrial Metabolism in Perspectives on Industrial Ecology*.

Reda. 2008. *Ekoefisiensi Pemanfaatan Materi dan Energi Pada Industri*

Steven W. Peck., *Industrial Ecology: From Theory To Practice*, Economic Developers Council of Ontario and the Ontario Ministry of Environment and Energy-a National Conference on Eco-Industrial Park Development. March 1998

Weisz, Helga. 2007. *Material and Energy Flow Studies: The Industrial Metabolism*. <http://www.mitpressjournals.org/jie>