

PERANCANGAN PRODUK BERBASIS LINGKUNGAN

Saifuddin MN

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email ; saifmn 1176 @ yahoo.com

Abstrak

Perancangan produk berbasis lingkungan (*Design for the Environment DFE*) merupakan suatu konsep perancangan produk yang mempertimbangkan aspek lingkungan pada semua langkah pengembangan produk yaitu langkah produksi, proses manufaktur, proses perakitan, dan setelah produk habis masa pakainya (*production rump-up*). Tahapan dan proses pengembangan produk, dengan kelestarian lingkungan merupakan aspek penting yang dipertimbangkan pada tiap tahapannya. DFE dapat mengurangi potensi efek negatif terhadap lingkungan dengan memperhatikan, mengevaluasi serta menentukan siklus hidup produk (*life cycle product*) secara sistematis pada semua tahap perancangan dan pengembangan produk. Siklus hidup produk merupakan bagian penting dalam perancangan produk terutama dengan menghubungkan antara keuntungan secara ekonomi dan kelestarian alam. Siklus hidup produk didasarkan pada prinsip untuk mencegah polusi oleh aktifitas proses produksi yang dapat mengganggu kelestarian alam, menggunakan sumber daya alam seminimal mungkin serta memperbaiki kualitas produk. Efek negatif terhadap lingkungan dapat disebabkan oleh eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan serta penggunaan material berbahaya dan material yang mengandung racun dalam pembuatan produk. Efek negatif terhadap lingkungan (udara, air dan tanah) diantaranya adalah: penipisan ozon, efek hujan asam dan emisi gas buangan pabrik, penipisan oksigen diudara, pencemaran oleh substansi beracun, pencemaran oleh material padat.

Kata Kunci *Design for the Environment, Life Cycle Product, Pengembangan Berkelanjutan, End of Live, Recycling*

PENDAHULUAN

Kesadaran terhadap kelestarian lingkungan hidup merupakan hal penting untuk dipertimbangkan dalam perencanaan produk pada berbagai industri dewasa ini. Idealnya, sebuah industri harus mengembangkan usaha pengembangan berkelanjutan yang meliputi pengembangan sistem daur ulang sumber daya alam, pengurangan emisi selama proses produksi, menghemat pemakaian energi dengan mengurangi pemakaian sumber daya alam baru serta mengurangi pemakaian material berbahaya dan material beracun. Ketersediaan sumber daya alam bukanlah sesuatu yang berlimpah ruah dan tidak terbatas, tetapi terbatas dan sangat berarti buat kelangsungan hidup.

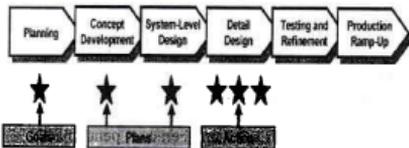
Untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup, sangat penting untuk merencanakan metoda penanganan dan penggunaan yang tepat terhadap substansi berbahaya dan substansi beracun. Pemakaian material berbahaya dan material yang mengandung racun pada pembuatan produk merupakan hal yang telah lama didiskusikan,

karena mempengaruhi kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan hidup. Penggunaan material berbahaya dan material yang mengandung racun telah diatur dan dikurangi dan jika mungkin pemakaiannya diganti dengan material lain yang tidak berbahaya dan tidak beracun.

Perancangan produk berbasis lingkungan (*Design for the Environment DFE*) merupakan suatu konsep perancangan produk yang mempertimbangkan aspek lingkungan pada semua langkah pengembangan produk yaitu langkah produksi, proses manufaktur, proses perakitan, dan setelah produk habis masa pakainya (*production rump-up*). Tahapan dan proses pengembangan produk, dengan kelestarian lingkungan merupakan aspek penting yang dipertimbangkan pada tiap tahapannya. DFE dapat mengurangi potensi efek negatif terhadap lingkungan dengan memperhatikan, mengevaluasi serta menentukan siklus hidup produk (*life cycle product*) secara sistematis pada semua tahap perancangan dan pengembangan produk.

TEORI DASAR

Perancangan produk berbasis lingkungan (*Design for the Environment _DFE*) merupakan suatu konsep perancangan produk yang mempertimbangkan aspek lingkungan pada semua langkah yaitu langkah produksi, proses manufaktur, proses perakitan, dan setelah produk habis masa pakainya (*production rump-up*). Gambar (2.1) menunjukkan tahapan dan proses pengembangan produk, dengan kelestarian lingkungan merupakan aspek penting yang dipertimbangkan pada tiap tahapannya. Pertimbangan terhadap aspek kelestarian lingkungan ditegaskan oleh gambar bintang, dimana jumlah bintang menyatakan tingkat perhatian yang diperlukan.



Gambar 2.1 Proses pengembangan produk

DFE dapat mengurangi potensi efek negatif terhadap lingkungan dengan memperhatikan, mengevaluasi serta menentukan siklus hidup produk secara sistematis pada semua tahap perancangan dan pengembangan produk. Efek negatif terhadap lingkungan dapat disebabkan oleh eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan serta penggunaan material berbahaya dan material yang mengandung racun dalam pembuatan produk. Efek negatif terhadap lingkungan (udara, air dan tanah) diantaranya adalah:

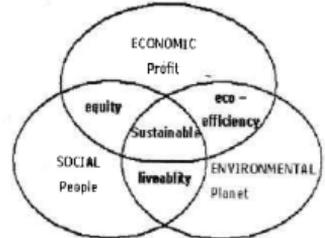
- Penipisan ozon.
- Efek hujan asam dan emisi gas buangan pabrik.
- Penipisan oksigen diudara.
- Pencemaran oleh substansi beracun.
- Pencemaran oleh material padat.

2.1 Pengembangan Berkelanjutan

Pengembangan berkelanjutan dapat didefinisikan sebagai suatu upaya untuk mencapai kualitas dan kuantitas produk yang maksimal dengan mempertimbangkan aspek kelestarian lingkungan untuk kelanjutan generasi yang akan datang. Pengembangan berkelanjutan ditujukan untuk memperbaiki kualitas hidup tiap individu, tanpa

mengeksploitasi sumber daya alam secara berlebihan.

Untuk mewujudkan pengembangan berkelanjutan, perlu diperhatikan proses sebagai berikut, yaitu: aksi dan kesadaran tiap individu dan pelaku bisnis, perilaku konsumtif dan produktif, kebijakan, menciptakan inovasi dengan melestarikan lingkungan serta memperbaiki kualitas hidup. Faktor-faktor tersebut diatas meliputi tiga aspek penting yaitu: ekonomi, sosial dan lingkungan. Dalam dunia bisnis, ini dikenal dengan "*the triple bottom line*". Hubungan tersebut ditunjukkan pada gambar (2.2).



Gambar 2.2 Pengembangan yang berkelanjutan

Dalam kaitannya dengan industri, perlu dikembangkan aspek bisnis yang tidak hanya berorientasi ekonomi tetapi juga memperhatikan aspek sosial dan lingkungan. Pada tahun 1992 setelah KTT di Rio, *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* memperkenalkan konsep "*eco-efficiency*" yang menghubungkan antara kelestarian lingkungan dengan keuntungan ekonomi, atau "menciptakan nilai tambah produk (kualitas & kuantitas) tanpa merusak lingkungan".

Beberapa kondisi yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan berkelanjutan, yaitu:

- Menganggap bumi sebagai suatu sistem tertutup, dengan *input* energi matahari dan kemampuan alam untuk melakukan proses daur ulang terbatas.
- Energi matahari dan sumber daya alam merupakan sumber energi yang harus tetap berkelanjutan.
- Penggunaan sumber daya alam dan ketersediaannya harus seimbang.
- Pemakaian substansi yang berbahaya dan substansi yang mengandung racun harus dikurangi dan dihindari.

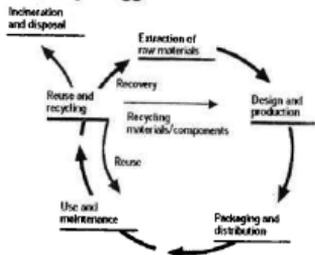
2.2 Siklus Hidup Produk

Siklus hidup produk merupakan bagian penting untuk pengembangan berkelanjutan, dengan menghubungkan antara keuntungan secara ekonomi dan kelestarian alam. Siklus hidup produk didasarkan pada prinsip untuk mencegah polusi oleh aktifitas proses produksi yang dapat mengganggu kelestarian alam, menggunakan sumber daya alam seminimal mungkin serta memperbaiki kualitas produk.

Konsep siklus hidup produk dapat dinyatakan dengan "6 RE philosophy" berikut yaitu:

- **Re-think**, memperhatikan kembali produk dan fungsinya. Produk harus direncanakan dengan lebih efisien dengan demikian dapat menghemat pemakaian energi dan sumber daya alam.
- **Re-duce**, menghemat energi dan konsumsi material pada semua siklus hidup produk.
- **Re-place**, mengganti penggunaan substansi yang berbahaya dengan substansi yang ramah lingkungan.
- **Re-cycle**, memilih material yang dapat dan mudah di daur ulang.
- **Re-use**, merencanakan produk yang setiap bagiannya dapat digunakan kembali.
- **Re-pair**, merencanakan produk agar mudah untuk diperbaiki sehingga tidak harus diganti.

Dunia bisnis sekarang dituntut untuk mengembangkan produk dengan konsep siklus hidup produk. Dalam konsep siklus hidup produk, proses pengembangan produk tidak hanya memperhatikan proses manufaktur saja tetapi juga mempertimbangkan efek produk terhadap lingkungan setelah produk habis masa pakainya dan proses distribusi (seperti ditunjukkan pada gambar 2.3). Melalui perbaikan siklus hidup produk, diharapkan proses produksi menjadi maksimum, harga produksi menjadi minimum dan dapat memuaskan pelanggan.



Gambar 2.3 Siklus hidup produk [1]

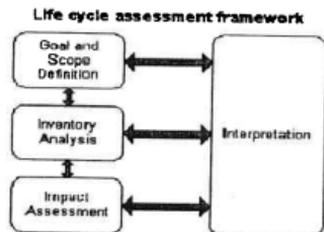
PERANCANGAN PRODUK BERBASIS LINGKUNGAN

3.1 Penilaian Siklus Hidup Produk

Penilaian siklus hidup produk adalah suatu pendekatan menyeluruh untuk menganalisis dampak negatif terhadap lingkungan yang disebabkan oleh produk dan proses atau aktivitas produksi. Pendekatan konvensional penilaian siklus hidup produk, hanya terpaku pada pendekatan secara teknis dan bersifat status, padahal potensi yang menyebabkan kerusakan lingkungan dipengaruhi oleh beragam aspek. Aspek tersebut antara lain; kebijakan dan arah pembangunan ekonomi, regulasi pemerintah, pendidikan, inisiatif dan kesadaran para pelaku ekonomi serta dukungan dan kerjasama masyarakat.

Banyak riset yang dilakukan untuk mendefinisikan penilaian siklus hidup produk, diantaranya adalah; Grup di *University of California Berkeley*, mendefinisikan penilaian siklus hidup produk sebagai jumlah sumber daya alam yang dikonsumsi dalam bentuk pemakaian energi terhadap kelestarian lingkungan. Grup dari *Princeton*, memfokuskan pada siklus hidup material, ditinjau dari aliran material yang telah habis masa pakainya terhadap lingkungan. Grup di *Carnegie Mellon University (CMU)* mendefinisikan penilaian siklus hidup produk berdasarkan *input* (sumber daya alam) dan *output* (pengaruh terhadap lingkungan) secara ekonomis[4].

Gambar (2.4) menunjukkan suatu proses penilaian siklus hidup produk, yang merupakan suatu analisis terhadap *input* dan *output* untuk semua tahapan siklus hidup produk, diantaranya adalah; tahap permulaan (*goal and scope definition*), analisis inventaris (*inventory analysis*), penilaian efek terhadap lingkungan (*impact assessment*) dan interpretasi.



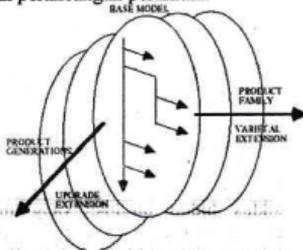
Gambar 2.4 Penilaian siklus hidup produk [10]

3.2 Perencanaan Keterdaurulangan Produk

Pada perencanaan keterdaurulangan produk, rencana penanganan produk setelah habis masa pakainya telah direncanakan pada tahap awal perancangan produk, yaitu perencanaan pasca masa pakai produk (*design for product retirement*). Konsep perencanaan keterdaurulangan produk adalah:

- Menyatakan spesifikasi masa pakai produk untuk kelompok produk sejenis dan generasinya.
- Mengevaluasi proses daur ulang dan komponen pakai kembali.
- Merancang alat untuk menaikkan efisiensi proses daur ulang dan komponen pakai kembali.

Gambar (2.5) menunjukkan diagram untuk masing-masing kelompok produk dan generasinya terhadap pengembangan produk. Diagram ini dapat digunakan untuk merencanakan simulasi secara kualitatif terhadap proses pemisahan tiap-tiap komponen produk. Diagram ini juga dapat membantu untuk melakukan proses daur ulang dengan lebih efektif dalam hal pemisahan komponen produk dengan jenis material yang berbeda dan perancangan perakit.



Gambar 2.5 Pasca masa pakai kelompok produk sejenis [2]

Pemilihan material dari perspektif siklus hidup produk merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam merencanakan keterdaurulangan produk. Harus dipilih beragam jenis material untuk mempertinggi kualitas keterdaurulangan produk. Disamping itu, perlu dipertimbangkan kemudahan untuk memisahkan komponen produk dengan jenis material yang berbeda. Lebih lanjut, harus diperhatikan bahwa prinsip ini dapat diterapkan pada semua produk sejenis, sehingga sebuah perencanaan proses daur ulang bisa efektif untuk produk dengan model dan generasi berbeda.

Untuk meningkatkan kualitas komponen pakai kembali dan kualitas material daur ulang, perancang harus mengupayakan perencanaan secara strategis terhadap produk untuk mengurangi biaya proses daur ulang. Upaya ini dapat menciptakan industri berbasis lingkungan melalui pengurangan pemakaian bahan mentah, pengurangan pemakaian energi pada seluruh siklus hidup produk, dan pengurangan pembuangan limbah padat ke lingkungan.

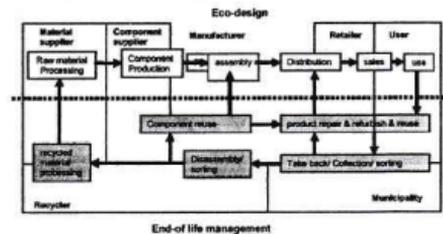
3.3 End-Of-Life (EOL)

End-of-Life (EOL) didefinisikan sebagai proses yang dilakukan terhadap produk setelah produk habis masa pakainya. Proses ini meliputi; mengumpulkan produk, menggunakan kembali, melakukan proses daur ulang, membakar atau membuang produk, memperkirakan dampak terhadap lingkungan serta menentukan siklus hidup produk. Tiap produk manufaktur memiliki karakteristik yang unik ditinjau dari fungsi, material, komponen-komponen, teknologi dan konsumen. Oleh sebab itu, penting untuk menentukan karakteristik produk melalui sistem EOL.

Dalam merencanakan EOL hal-hal yang harus dipertimbangkan adalah:

- Meninggalkan konsep "tradisional" pengembangan produk (produksi, distribusi dan pemakaian). Memperkenalkan konsep pengembangan produk berbasis lingkungan.
- Mengembangkan konsep "End-of-Life management".

Gambar 2.6 menunjukkan konsep *EOL management*, dimana suatu produk dikelola dan direncanakan dalam suatu siklus hidup produk. Kelestarian lingkungan merupakan aspek penting yang dipertimbangkan pada semua tahapan perencanaan produk.



Gambar 2.6 End-of life management [8]

3.4 End-of-Life Design Advisor (ELDA)

End-of-Life Design Advisor (ELDA) merupakan perangkat yang direncanakan untuk memprediksi EOL. Berdasarkan ELDA, EOL ditentukan dari karakteristik produk (tabel 2.1). ELDA dapat digunakan untuk merancang produk yang ramah lingkungan, mengembangkan teknologi proses daur ulang produk dan untuk pembuatan kebijakan produk. ELDA lebih fokus pada karakteristik teknis produk yang dapat dikontrol oleh industri.

Sasaran ELDA adalah :

1. Untuk meningkatkan kesadaran terhadap perancangan produk berbasis lingkungan. Faktor-faktor yang dapat meningkatkan kesadaran ini yaitu:
 - Pemakaian dan penerapan teknologi.
 - Alasan penciptaan EOL.
 - Material yang digunakan.
2. Untuk memperkirakan EOL produk. ELDA menggunakan karakteristik produk untuk memperkirakan EOL. Karakteristik produk yang dimaksud meliputi; bagian produk yang dapat digunakan kembali, bagian produk yang harus diproses kembali, bagian produk yang harus di daur ulang dan bagian produk yang tidak dapat dipakai lagi (*disposal*).
3. Untuk membantu dalam pengambilan keputusan perencanaan produk. Pengambilan keputusan berkenaan dengan masalah lingkungan, dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah :
 - Menentukan sasaran EOL produk.
 - Mengembangkan konsep *eco-efficiency*.
 - Faktor eksternal seperti infrastruktur, perilaku konsumen dan kebijakan.
 - Karakteristik produk.
 - Area pembuangan akhir.
 - Proses daur ulang.
 - Pengontrolan substansi berbahaya.
 - Pengontrolan substansi beracun.

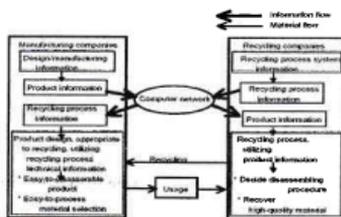
Tabel 2.1 Karakteristik produk [5]

| Karakteristik Produk | Penjelasan |
|-------------------------|--|
| Kompleksitas fungsional | Menyatakan hubungan antara bagian produk dan fungsionalitasnya. Kompleksitas fungsional produk sangat ditentukan pada bagian-bagian fungsionalnya. |
| Jumlah material | Jumlah material yang |

| | |
|---------------------------------------|---|
| Jumlah modul | Jumlah komponen produk (<i>subassemblies</i>) yang dapat dipisahkan dan yang masih dapat dipakai. |
| Jumlah bagian produk | Jumlah perkiraan bagian produk. |
| Kebersihan produk | Langkah yang dilakukan untuk mempersiapkan produk untuk digunakan kembali atau diproses kembali (<i>remanufacture</i>). |
| Bahaya | Material atau substansi berbahaya yang terdapat pada produk, sehingga material atau substansi berbahaya dipisahkan lebih dahulu sebelum produk di daur ulang, karena berbahaya bagi manusia, lingkungan atau merusak komponen lain. |
| Ukuran | Perkiraan dimensi produk |
| Perencanaan siklus | Jarak waktu antara produk dengan generasi produk berikutnya atau waktu untuk merencanakan jenis produk berikutnya. Produk awal dinyatakan sudah tertinggal atau kuno. |
| Siklus teknologi | Jarak waktu yang menyatakan bahwa produk direncanakan dengan teknologi mutakhir sebelum teknologi baru menggantikan teknologi yang sudah ada, dan teknologi awal dinyatakan sudah tertinggal atau kuno. |
| Penggantian umur produk | Jarak waktu yang menyatakan sebuah produk harus ditingkatkan (<i>upgrade</i>) untuk menambah daya guna dan performanya. |
| Alasan untuk ketertinggalan atau kuno | Alasan yang menyatakan bahwa produk tidak mampu lagi menjalankan fungsinya; produk sudah habis masa pakainya dan modelnya ketinggalan zaman. |
| Masa pakai | Jarak waktu yang menyatakan saat produk dibeli sampai produk tidak dapat digunakan lagi. |

3.5 Inverse Manufacturing

Konsep *inverse manufacturing* telah dikembangkan untuk mendukung upaya proses daur ulang produk dengan menyediakan sistem informasi antara industri manufaktur dan industri yang bergerak dibidang proses daur ulang produk. Hal-hal yang penting dalam *inverse manufacturing* antara lain; informasi tentang siklus hidup produk, material produk, proses manufaktur, fungsi dan penggunaan produk, serta informasi proses daur ulang. Gambar 2.7 menunjukkan sistem informasi yang dikembangkan dalam konsep *inverse manufacturing*, dimana industri manufaktur menyediakan dan memberikan informasi mengenai segala hal yang dapat membantu proses daur ulang produk. Sementara itu, industri proses daur ulang menggunakan informasi tentang proses daur ulang produk dan informasi lain yang mendukung, untuk proses daur ulang yang lebih baik dan efisien.



Gambar 2.7 Sistem informasi *inverse manufacturing* [7]

Konsep *inverse manufacturing* terdiri dari empat elemen utama yaitu :

- Perencanaan siklus hidup produk.
- Perencanaan proses daur ulang produk.
- Analisa dampak lingkungan.
- Sistem daur ulang siklus tertutup.

PENERAPAN TEKNOLOGI PROSES DAUR ULANG

Perencanaan dan penerapan teknologi proses daur ulang yang sesuai, dapat meningkatkan efektifitas usaha perbaikan & penanganan produk yang telah habis masa pakainya. Usaha ini dilakukan dengan mengurangi volume substansi berbahaya atau beracun dan substansi yang menyebabkan polusi dan pencemaran pada produk. Dalam penggunaan beragam teknologi proses daur ulang, pada dasarnya diberikan beberapa perlakuan terhadap material daur ulang, yang ditujukan untuk

mengembalikan kondisi material menjadi produk yang terpakai kembali.

Perencanaan dan penerapan teknologi proses daur ulang pada produk diharapkan memberi beberapa keuntungan yaitu:

1. Menghemat sumber daya alam (*natural resources*).
 Dengan membuat produk dari material hasil proses daur ulang dapat meminimalkan pemakaian material mentah, melestarikan lingkungan serta mengurangi kegiatan penambangan untuk mendapatkan mineral baru.
2. Menghemat energi.
 Dibutuhkan energi relatif lebih sedikit untuk memproduksi produk melalui material proses daur ulang (*secondary material*), dibanding dengan material mentah (*primary material*).
3. Memelihara kebersihan udara dan air.
 Membuat produk dari material proses daur ulang menghasilkan polusi udara dan air relatif lebih kecil dibandingkan dengan membuat produk dari material mentah.
4. Memelihara kelestarian tanah dan lingkungan.
 Ketika membuat produk dari material proses daur ulang, berarti telah memelihara kelestarian tanah dan lingkungan karena mengurangi pembuangan atau pembakaran limbah.

KESIMPULAN

1. DFE dapat mengurangi potensi efek negatif terhadap lingkungan dengan memperhatikan, mengevaluasi serta menentukan siklus hidup produk secara sistematis pada semua tahap perancangan dan pengembangan produk.
2. Konsep pengembangan berkelanjutan (*sustainable development*) harus dikembangkan sebagai suatu upaya untuk mencapai kualitas dan kuantitas produk yang maksimal dengan mempertimbangkan aspek kelestarian lingkungan untuk kelanjutan generasi yang akan datang. Pengembangan berkelanjutan ditujukan untuk memperbaiki kualitas hidup tiap individu, tanpa mengeksploitasi sumber daya alam secara berlebihan.

Disarankan sebaiknya dikembangkan prosedur evaluasi terhadap pengaruh peningkatan kualitas komponen pakai kembali dan kualitas material daur ulang. Perancang harus mengupayakan perencanaan secara strategis terhadap produk untuk mengurangi biaya proses daur ulang. Upaya ini dapat menciptakan industri berbasis

lingkungan melalui pengurangan pemakaian bahan mentah, pengurangan pemakaian energi pada seluruh siklus hidup produk, dan pengurangan pembuangan limbah padat ke lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sonnemann, G W, Solgaard A, Saur K, Udo de Haes H A, Christiansen K, Jensen A A. *Life Cycle Management A Bridge to Sustainable Products: UNEP-Workshop*, Final Draft December 30, 2004. Tour Mirabeau, 39-43 quai Andre Citroen, 75739 Paris, France. <http://www.uneptie.org/sustain/icinitiative>
2. K. Ishii, B. Lee. *Reverse FishBone Diagram: A Tool In Aid of Design For Product Retirement*. Submitted to ASME Design for Manufacturability Committee, December 1995. Department of Mechanical Engineering Stanford university, Stanford CA 94305-4021. <http://www.mml.stanford.edu/publications/1996/1996.ASME.DFM.Ishii.pdf>
3. K.N. Otto, K.L. Wood. *Product Design Techniques in Reverse Engineering and New Product Development: 2001* Prentice Hall, Prentice Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458.
4. K. Ishii. Design for Environment and Recycling. Overview of Research in the United State: Invited Paper CIRP 5th International Seminar on Life Cycle Engineering, September 16-18, 1998. Design Division, Stanford university, Stanford CA 94305-4021. <http://www.mml.stanford.edu/publications/1998/1998.cirp.LCES.Ishii-ohp.pdf>
5. K. Masui and K. Mizuhara, K. Ishii and CM. Rose. Development of Products Embedded Disassembly Process Based on End-of-Life Strategies: Mechanical Engineering Laboratory/MITI 1-2, Namiki, Tsukuba, Ibaraki, 305-8564 Japan, Manufacturing Modelling Laboratory, Stanford University, Stanford CA 94305-4021 USA.
6. Steven D. Eppinger. Design for Environmental: MIT Sloan School of Management: <http://www.mit/people/eppinger/abstracts.html>
7. K.T. Ulrich, S.D. Eppinger. *Product Design and Development 2nd Edition*: McGraw Hill Companies, Copyright 2000.
8. M.C. Roco, W.S Bainbridge. Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology: NSET Workshop Report. National Science Foundation, March, 2001. Arlington, Virginia. <http://www.wtec.org/loyola/nano/societalimpact/nanosipdf>
9. Schneider Electric. 12 Chapter_Eco Design: http://www.automation.schneider-electric.com/as-guide/EN/pdf_files/asn-12-eco-design.pdf
10. L.G. Debo, L.B. Toktay, L.N. Van Wassenhove. Joint Life-Cycle Dynamics of New and Remanufactured Products: February, 2006. Tapper School of Business, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA; College of Management, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30308, USA; Technology and Operations Management, INSEAD 77305 Fontainebleau, France. http://eclips.gatech.edu/files/articles/eclips_joint_life_cycle.pdf