

PEMILIHAN ALTERNATIF PERBAIKAN KINERJA LINGKUNGAN PRODUK LAMPU BERBASIS SIMAPRO-5 DENGAN METODA *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) DAN *ANALYTICAL HIERARCHY PROCES* (AHP)

SELECTION OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE IMPROVEMENT ALTERNATIVES OF LAMP PRODUCTS BASED ON SIMAPRO-5 USING *LIFE CYCLE ASSESSMENT* (LCA) AND *ANALYTICAL HIERARCHY PROCES* (AHP) METHODS

Udisubakti Ciptomulyono^{1,2)} dan Dewi Hajar¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Industri, FTI ²⁾Laboratorium Sustainable Manufacturing ITS, Surabaya
email: udisubakti@ie.its.ac.id; dewi_hajar@yahoo.com

Abstrak

Life Cycle Management (LCM) merupakan konsep, teknik atau prosedur berkaitan dengan pengelolaan dan perbaikan aspek lingkungan secara terintegrasi, menyeluruh dan berkelanjutan sepanjang daur hidupnya. Untuk mengukur dampak lingkungan akibat aktifitas sepanjang daur hidup produk sejak eksploitasi bahan baku, proses produksi dan penggunaan produk sampai pada tahap pengelolaan sampah atau limbahnya (*from cradle to grave*) diperlukan pendekatan Life Cycle Analysis (LCA) yang merupakan salah satu instrumen dalam LCM. Penelitian ini mencoba membuat analisis LCA untuk memunculkan alternatif strategi perbaikan proses dan perancangan teknis yang dari sisi lingkungan memberikan kinerja terbaiknya. Kriteria lingkungan saja tidak cukup sebagai dasar pengambilan keputusan sehingga perlu kriteria tambahan seperti biaya investasi, biaya operasional, kemudahan pelaksanaan dan citra perusahaan. Untuk itu pendekatan multikriteria-Analytical Hierarchy Process (AHP) diusulkan digunakan dalam pemilihan alternatif strategi yang meningkatkan kinerja lingkungan. Kasus yang diteliti adalah produk Fluorescent Lamp 20 Watt yang dibuat dan dipasarkan di Indonesia. Untuk pembuatan inventory analysis (LCI) serta mengetahui dampak lingkungan di setiap tahapan proses sepanjang daur hidup, diacu database inventory pada Software SimaPro 5.0. Hasil penelitian menunjukkan *product take back* memberikan alternatif strategi terbaik untuk kinerja lingkungan yang optimal.

Kata Kunci: *Fluorescent Lamp, Life Cycle Assessment (LCA), Analytical Hierarchy Process, SimaPro 5.0,*

Abstract

Life Cycle Management (LCM) is a framework of concepts, techniques and procedures concerned to an environmental management of products and organizations in achieving continuous environmental improvement viewed from life cycle perspective. One tool in LCM approach is Life Cycle Assessment (LCA) which consists of a method to quantify environmental impacts associated to products or activities throughout their life cycle, begins with extraction of raw materials, proceeds through production and use, ends to waste treatment (*from cradle to grave*). This research deals with analysis of LCA for products of Fluorescent Lamp of 20 Watt. The research question exposed is how to evaluate the best alternative to improve environmental performance among many strategies designed on LCA results. Due to in the real system, environmental consideration is not the only one criteria used for decision making, this research proposes to takes into account for multi criteria evaluation in selection of the best strategy such as criteria of investment cost, corporate image etc, to do so the method of AHP (Analytical Hierarchy Process) is proposed to apply. In order to evaluate the environmental impact associated the process throughout the life cycle the product, existing database built in SimaPro-5 software. This research concludes that the strategy of "product take back" principle is the best solution in order to achieve the optimal environmental performance.

Key words: Fluorescent Lamp, Life Cycle Assessment(LCA), Analytical Hierarchy Process (AHP), SimaPro 5.0

1. PENDAHULUAN

Tekanan masyarakat, regulasi, tumbuhnya pasar *green consumerism*, mendorong dunia bisnis dan industri mulai memperhatikan aspek lingkungan

dalam manajemennya. Perhatian ini tidak hanya ditujukan pada proses di pabrik, tetapi juga pada tahap produk menjadi limbah. Sehingga dalam konsep *green engineering* perlu dimasukkan aspek lingkungan dalam tahapan disain dan

proses. Dengan demikian aspek lingkungan bisa dipandang sebagai peluang dibandingkan sebagai kendala/ancaman (Brissaud et al. 2006). Permasalahannya adalah bagaimana memenuhi target perbaikan lingkungan secara simultan sekaligus mencapai perbaikan kualitas dan mendatangkan efisiensi finansial. *Life Cycle Management (LCM)* adalah sebagian instrumen yang tumbuh dengan konsep “*green engineering*”. LCM mengacu pada konsep yang fleksibel dan berkaitan dengan aspek lingkungan, sosial dan ekonomi dari produk dan organisasi dalam mencapai perbaikan lingkungan. Konsep LCM terdiri atas *Life Cycle Design (LCD)*, *Life Cycle Assessment (LCA)*, *Life Cycle Costing (LCC)*, *Technical Support*, *Product Data Management*. Pada penelitian ini, instrumen LCM yang digunakan adalah LCA.

Definisi LCA secara umum adalah metoda untuk mengukur dampak lingkungan produk atau aktifitas sepanjang daur hidup, mulai dari pengadaan bahan baku, proses produksi, penggunaan, dan pengelolaan limbahnya (Graedel, 1998). LCA memungkinkan estimasi dampak lingkungan secara kumulatif dari seluruh tahapan siklus hidup produk (Pesonen, 2001).

Dalam penelitian ini akan dievaluasi LCA untuk produk lampu. Dampak yang ditimbulkan oleh lampu tidak hanya terjadi saat pemakaian, tetapi produsen ikut menyumbang polusi, baik dari pabrik maupun akumulasi buangan limbahnya.

2. METODOLOGI

Obyek lampu dalam penelitian ini diproduksi oleh PT Matsushita Lighting Indonesia merk National/Panasonic, yang berlokasi di Jawa Timur, dengan jenis *Fluorescent Lamp* 20 Watt. Meskipun belum ada standar baku, dilakukan analisis LCA dengan tahapan seperti dipaparkan oleh Curran (1996).

Penetapan Objektif dan Scoping

Penetapan objektif dan scoping ditujukan untuk memperoleh alternatif perbaikan operasional teknis pemabrikaan *Fluorescent Lamp* berbentuk tabung dan berlapis putih, daya 20 watt dengan *lumen efficacy* 65 lm/w.

Life Cycle Inventory (LCI)

Pada tahap ini dimodelkan *boundary* sistem objek produk lampu dari produksi, transportasi,

penggunaan dan pembuangan produk. Tahapan ini menghasilkan *flow sheet* atau *process tree* dengan semua proses yang relevan. Pada setiap proses, semua *inflow* dan *outflow* yang relevan dikumpulkan. Tahap ini memakai data industri dan mengacu database Eco-Inventory Software Sima Pro-5.

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Dalam LCIA dilakukan penilaian dampak dari aktivitas material input, proses yang diidentifikasi di tahapan sebelumnya (Laine et al., 2001). Kemudian dilakukan klasifikasi kategori dampak yang penting dan relevan. Tipe masalah lingkungan disusun berdasarkan skala geografisnya, dari tingkat global sampai lokal. Berdasarkan data base Sima Pro-5, kategori dampak berhubungan dengan level regional dan global. Setelah itu dilakukan normalisasi nilai dengan membagi kategori dampak pada nilai *reference* sehingga semua hasil kategori dampak memakai unit sama dan bisa dibandingkan. Tahap berikutnya adalah melakukan penilaian total dengan memper-timbangankan bobot yang dipilih, mengalikan nilai kategori dampak dengan faktor pembobotan, sehingga diperoleh *Single Score* untuk mengklasifikasikan nilai *kategori dampak* berdasar proses/*sub assembly* pembentuk produknya.

Interpretasi

Tahap terakhir ini dikaitkan dengan objektif dan *scoping* yang didefinisikan pada tahap awal. LCA digunakan untuk membantu pengambil keputusan dalam memilih produk atau proses yang menghasilkan dampak lingkungan terkecil sepanjang daur hidup. Sehingga diperlukan pembentukan alternatif strategi perbaikan yang bisa meningkatkan kinerja lingkungannya. Karena kriteria lingkungan tidak mencukupi, sebagai satu-satunya pertimbangan, digunakan pendekatan multi kriteria-AHP (Analytical Hierarchy Process) untuk membantu proses pengambilan keputusan pemilihan strategi yang paling “optimal”

Pendekatan Analytical Hierarchy Process (AHP)

Pendekatan AHP dikembangkan dari teori pengukuran kriteria keputusan yang kuantitatif/non kuantitatif dalam model keputusan yang mengandung solusi yang saling konfliktual. Prinsip pendekatan ini mengakomodasi aspek-aspek kognitif, pengalamanan dan pengetahuan subjektif pengambil keputusan sebagai data dasar

yang menentukan proses pengambilan keputusan. (Ciptomulyono, 1998).

Penggunaan AHP dimulai dengan dekomposisi problem keputusan kompleks menjadi elemen-elemen dalam hierarki tertentu. Pada hirarkhi yang sama, elemen-elemen matriks yang berpasangan dibandingkan dengan memasukkan pertimbangan faktor kualitatif dan kuantitatif (Saaty, 1993). Proses evaluasi perbandingan antar elemen dan kriteria didasarkan pada pertimbangan subjektif.

Tabel 1. Skala Pembobotan Numerik Metoda AHP dari Judgement Keputusan

Skala Numerik	Skala kualitatif dan definisi
1	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai sama penting dibandingkan elemen matriks yang lain
3	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai sedikit lebih penting dibandingkan elemen matriks yang lain
5	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai cukup penting dibandingkan elemen matriks yang lain
7	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai sangat penting dibanding elemen matriks yang lain.
9	Bobot kepentingan elemen matriks yang satu dinilai mutlak (sangat penting sekali) dibanding elemen matriks yang lain.

Tabel.1 menunjukkan skala numerik yang digunakan untuk mempresentasikan pembobotan numerik "judgment" dari pengambil keputusan

Ambil nilai $a_{ij} = w_i/w_j$ sebagai perbandingan faktor elemen baris matriks i terhadap faktor elemen kolom j , untuk $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$. Misal kedua elemen matriks berpasangan yang dibandingkan memiliki bobot yang sama $a_{ij} = 1$, untuk matriks resiprok akan terdapat $n(n-1)/2$ elemen matriks perbandingan A berpasangan yang berukuran $n \times n$. Hubungan di atas memungkinkan untuk mendapat nilai pembobotan W dari matriks A , dengan penyelesaian persamaan $(A - nI)W = 0; \sum W_j = 1$. Dimana nilai I dan 0 masing-masing unit matriks identitas dan matriks nol dan W adalah vektor normal dari pembobotan w_1, w_2, \dots, w_n . Solusi bukan nol jika dan hanya jika $n =$ nilai eigen matriks A .

$$A = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

Bila λ sebagai nilai eigen vector dari matriks A , persamaan $A W = \lambda W$ memiliki sifat yang unik, setiap kolom matriks adalah perkalian konstanta dari kolom pertama. Sehingga terdapat n eigen vektor bernilai nol kecuali satu. Satu eigen value tidak nol disebut λ_{mak} , maka $A W = \lambda_{\text{mak}} W$.

Elemen matriks a_{ij} merupakan nilai evaluasi bersifat subjektif yang tidak pernah memiliki sifat konsisten sempurna, sebagai sifat dan situasi keputusan yang manusiawi. Sifat resiprokalitas matriks perbandingan berpasangan mempersyaratkan hubungan $a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk}$, tidak terpenuhi. (Saaty, 1993). Untuk jawaban yang makin konsisten, nilai λ_{mak} makin mendekati n . Saaty mengembangkan indeks konsistensi untuk mengukur konsistensi *judgment* saat melakukan perbandingan dengan merumuskan indeks konsistensi (CI) sebagai:

$$CI = \frac{\lambda_{\text{mak}} - n}{(n - 1)}$$

Indeks $CI = 0$ menunjukkan perbandingan berpasangan proses pembobotan yang konsisten sempurna. Dengan simulasi bilangan random, Saaty (1993) menghasilkan indeks CI untuk respons yang acak CR (Consistency Ratio Indeks), perbandingan antara CI untuk suatu matriks evaluasi berpasangan dengan CI dari respons yang acak, untuk menguji konsistensi jawab perbandingan berpasangan tersebut. Saaty (1980) merekomendasikan CR dibawah 10 % (0,1), menunjukkan bahwa *value judgement* dapat diterima konsistensinya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pengamatan dimulai dari *supplier* pemasok bahan baku, transportasi *supplier* ke pabrik, proses produksi di pabrik, distribusi ke konsumen, penggunaan produk dan pembuangan limbah.

Produk yang distudi berupa *Fluorescent Lamp* berbentuk tabung dan berwarna (*coating*) putih, dengan daya 20 watt dan *lumen efficacy* 65 lm/w. Usia rata-rata lampu 8000 jam. Komponen utama produk ini adalah *glass tube*, *mount*, dan *base*. *Glass tube* berbahan dasar pasir silika, dolomit dan lain-lain, yang berlapis fosfor dan ada elektroda di kedua sisinya. *Glass tube* mengandung Hg. Bila dialiri listrik, elektroda mengaktifkan gas Hg dan memancarkan energi UV. Lapisan fosfor menyerap energi tersebut, dan memancarkan cahaya.

Hajar (2005) mendeskripsi dan mengelompokkan jenis data untuk LCI produk lampu (Tabel 2). Mayoritas data penunjang berasal dari LCI-database software Sima Pro-5.0. Hasil *impact assessment* tercantum pada Gambar 1 dan Tabel 3. Pemaparan daur hidup produk mulai dari *supplier* menentukan alat transport yang dipakai. Dampak pemilihan alat transport memberi *single score* lebih rendah dari dampak saat lampu dikonsumsi. Konsumsi lampu menyebabkan konsumsi energi berdampak cukup nyata dengan *single score* sebesar 9,71 mPt dibandingkan tahap *assembly* dengan *single score* total 2,38 mPt.

Single score total menunjukkan klasifikasi semua nilai *impact category* berdasarkan proses pembentukannya. Dari *single score* ini dapat dilihat material atau proses yang memberi kontribusi pada setiap kategori terhadap lingkungan. Tabel 3 menunjukkan kategori dampak lingkungan yang signifikan, dampak *global warming* dan *human toxicity water*.

Analisis Alternatif Usulan Perbaikan

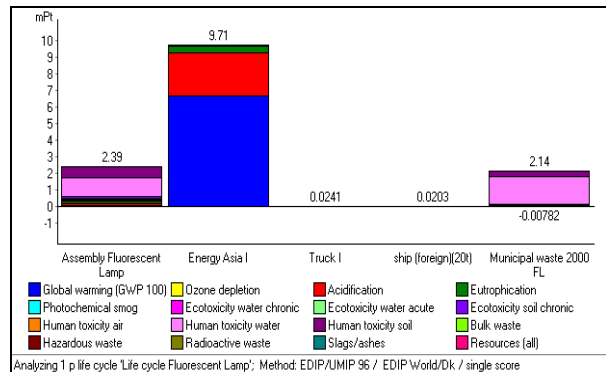
Dengan mempertimbangkan peningkatan kinerja lingkungan, diusulkan beberapa proses pemabrikaan dan strategi produksi di seluruh daur hidup.

Manufacturing (Alternatif A)

Proses produksi lampu ini menurut perusahaan sudah dengan the *Best Available Technology*. Kemungkinan yang bisa dilakukan adalah mengurangi limbah di sepanjang proses. Di setiap tahapan, *produk cacat* sebelum mengalami proses. *wash and coating* masih bisa didaur-ulang. Sedangkan produk yang telah melewati proses *wash and coating*, limbahnya harus diolah terlebih dahulu.

Solusi permasalahan ini adalah dengan *waste separation* dan *waste selection*. Limbah dari tiap proses dibuang di tempat yang berbeda untuk memudahkan pengolahan. Dengan pemilahan, limbah non B3 bisa diolah untuk dipakai kembali, dan dapat mencegah cara pembuangan yang salah, seperti insinerasi *glass tube* yang mengandung B3. memilih strategi ini sebagai yang terbaik. Maka digunakan metoda AHP dengan kriteria yang disepakati bersama Manajer Departemen EHS. Tabel 4 memaparkan hasil pengukuran preferensi kriteria serta bobot penilaiannya dengan AHP. Pembobotan dibantu software *Expert Choice* Batas kelayakan *inconsistency* yang digunakan adalah 0,1.

Dari perhitungan AHP diperoleh nilai bobot preferensi strategi D, strategi B dan strategi A masing-masing sebesar 0,389, 0,336 dan 0,275, dengan inkonsistensi rasio 0,03. Artinya yang terbaik menurut kriteria dan preferensi subjektivitas manajemen adalah strategi *take back (D)*

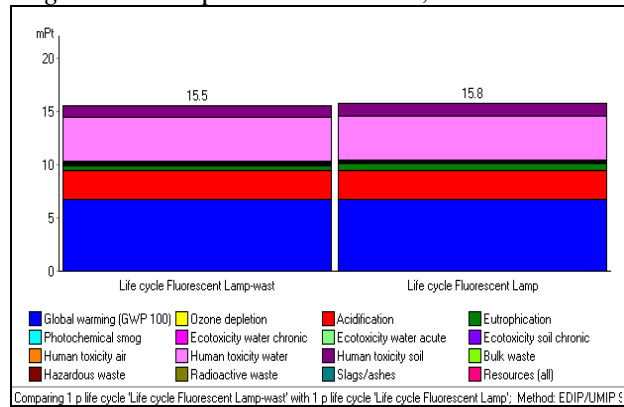


Gambar 1. Penilaian Total *Single Score* Dampak Lingkungan Berdasarkan Tahapan Daur Hidup

Pilihan strategi ini, bisa mengurangi dampak total terhadap lingkungan selama daur hidupnya seperti pada Gambar 2. Nilai total *single score* menjadi 15.5 mPt dari 15.8 mPt.

Substitusi Material (Alternatif B)

Pada sisi *supplier* bisa ditawarkan penerapan prinsip-prinsip *green procurement*. Prinsip ini adalah proses seleksi *supplier* bahan baku dan substitusi material. *Supplier* yang dipilih adalah yang menerapkan manajemen lingkungan. Pihak industri memberikan insentif kepada *supplier* untuk memperbaiki proses produksi atau materialnya. Selain itu bisa juga dengan pengurangan *packaging*. Tetapi substitusi ini tidak mengubah nilai dampak (Gambar 3) Nilai total *single score* tetap tidak berubah 15,8 mPt



Gambar 2. Perbandingan Dampak Alternatif Perbaikan Tahapan *Manufacturing* (Alternatif A)

Transportasi (Alternatif C)

Level operasional pada perbaikan *supply-chain system* di tahapan transportasi bisa dilakukan dengan memperhatikan alternatif lokasi *supplier*. Semakin jauh lokasi *supplier*, semakin banyak polusi yang ditimbulkan. *Supplier* yang lebih dekat akan menurunkan biaya.

Menurunkan frekuensi pengiriman juga akan mengurangi dampak lingkungan. Tetapi hal ini harus diperhitungkan dengan biaya *inventory*. Sehingga dalam penelitian ini, strategi alternatif penggantian transportasi tidak diusulkan.

Tabel 2. Tahapan Daur Hidup Produk dan Data Input LCA

Tahapan Daur Hidup Produk	Deskripsi	Jenis Data
Supplier	Seluruh suplier baik dari dalam negeri dan luar negeri	Lokasi dan jarak suplier, alat transportasi yang digunakan, jumlah pengiriman
Manufaktur	Proses pembuatan lampu	Proses produksi, bahan baku produksi, kebutuhan energi,
Distributor	Proses distribusi produk ke konsumen	Jarak <i>main dealer</i> , jumlah pengiriman, alat transportasi yang digunakan
Usage	Penggunaan lampu oleh konsumen	Lama penggunaan, konsumsi energi
Disposal	Pembuangan prodok lampu yang telah digunakan	Jenis dan jumlah yang dibuang

Tabel 3. Nilai Kontribusi Total *Single Score* Berdasar Kategori Dampak Lingkungan

Impact category	Unit	Total	Assembly Fluc	Energy Asia I	Truck I	ship (foreign)	Municipal was
Total	Pt	0.0143	0.00239	0.00971	2.41E-5	2.03E-5	0.00213
Global warming (GWP 100)	Pt	0.00675	8.66E-5	0.00665	1.23E-5	2.02E-6	-3.58E-6
Ozone depletion	Pt	2.44E-5	1.09E-5	x	x	7.39E-7	1.28E-5
Acidification	Pt	0.00273	0.000135	0.00259	6.53E-6	2.12E-6	-4.24E-6
Eutrophication	Pt	0.000564	8.4E-5	0.000455	4.55E-6	1.88E-7	2.03E-5
Photochemical smog	Pt	4.89E-5	3.39E-5	1.29E-5	2.19E-7	2.03E-8	1.95E-6
Ecotoxicity water chronic	Pt	9.82E-5	5.98E-5	x	2.82E-8	1.51E-6	3.69E-5
Ecotoxicity water acute	Pt	6.67E-5	4.03E-5	x	2.2E-8	7.04E-7	2.57E-5
Ecotoxicity soil chronic	Pt	0.000134	0.000118	x	3.09E-10	2.22E-8	1.55E-5
Human toxicity air	Pt	3.68E-5	2.98E-5	1.81E-6	5.45E-8	7.73E-7	4.38E-6
Human toxicity water	Pt	0.00282	0.00113	0	1.74E-7	4.71E-6	0.00169
Human toxicity soil	Pt	0.000985	0.000644	0	9.53E-8	7.45E-6	0.000333
Bulk waste	Pt	2.05E-5	1.96E-5	x	4E-8	x	8.86E-7
Hazardous waste	Pt	4.5E-7	4.5E-7	x	x	x	x
Radioactive waste	Pt	x	x	x	x	x	x
Slags/ashes	Pt	6.96E-7	5.21E-7	x	1.76E-7	x	x
Resources (all)	Pt	0	0	0	0	0	0

Sumber: Hasil Pengolahan Data dengan SimaPro-5 (SimaPro-5, 2005)



Gambar 3. Perbandingan Dampak Substitusi Komponen *Stem* dan *Exhaust Tube* Pada Daur Hidup Produk (Solusi Alternatif B)

Perbaikan Sistem Disposal (Alternatif D)

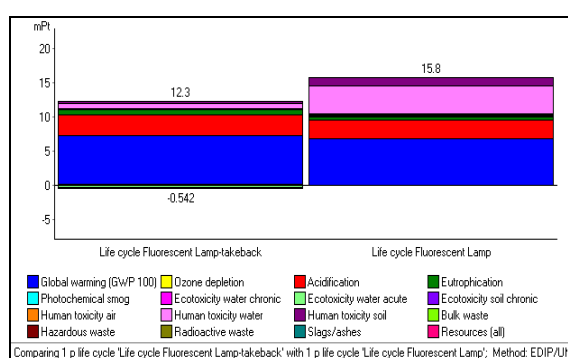
Nilai *disposal* menjadi besar karena 100% produk lampu FL dibuang di TPS. Perilaku konsumen yang mendaur-ulang di Indonesia hanya 14.29 %. Sisanya dibuang ke TPA dan diinsinerasi. Produk

lampu yang retak dan emisi gas Hg dari insinerator akan berdampak pada lingkungan. Strategi untuk mengatasi masalah ini termasuk memberikan label peringatan pada kemasan lampu. Strategi lanjutan yang disarankan adalah dengan program *take back*, yaitu lampu bekas ditarik dari konsumen ke *manufacturer*. Penarikan bisa memakai jalur distribusi. Bila sudah sampai ke *manufacturer*, lampu *di-recycle*. Strategi tersebut dapat memperbaiki total dampak (Gambar 4), dimana nilai *single score* dampak turun menjadi 12,3 mPt dari 15,8mPt.

Solusi software-SimaPro-5 memperlihatkan capaian nilai dampak sebelum dan sesudah perubahan strategi tidak terlalu signifikan pada alternatif A dan B. Hanya strategi “take-back” (alternatif D) memberi pengurangan total *single score* lebih baik. Permasalahannya apakah kriteria non lingkungan cukup konsisten Versi-9.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pembobotan Kriteria Pemilihan Strategi

No	Kriteria Strategi Perbaikan dan Bobot	Alternatif Strategi	Bobot Strategi Pada Setiap Kriteria
1	Efektivitas perbaikan lingkungan (0.373)	Strategi A: Waste selection dan separation	0.528
		Strategi B: Material substitution	0.333
		Strategi D: Product take back	0.140
		Strategi A: Waste selection dan separation	0.157
2	Beaya Investasi (0.88)	Strategi B: Material substitution	0.249
		Strategi D: Product take back	0.594
		Strategi A: Waste selection dan separation	0.122
3	Beaya Operasional (0.114)	Strategi B: Material substitution	0.320
		Strategi D: Product take back	0.558
		Strategi A: Waste selection dan separation	0.163
4	Kemudahan Implementasi Strategi (0.173)	Strategi B: Material substitution	0.297
		Strategi D: Product take back	0.540
		Strategi A: Waste selection dan separation	0.540
5	Dampak Citra Perusahaan Akibat Implementasi Strategi (0.253)	Strategi B: Material substitution	0.163
		Strategi D: Product take back	0.297

**Gambar 4.** Perbandingan Dampak Pada Strategi Product Takeback (Alternatif D)

4. KESIMPULAN

Dampak lingkungan produk *Fluorescent Lamp* 20 Watt sepanjang daur hidupnya dapat dihitung dengan pendekatan LCA. Berdasar kategori dampak lingkungan, produk lampu ini akan menimbulkan dampak pada *global warming*, *human toxicity water*, *acidification*, *human toxicity soil*, dan *eutrophication*. Kontribusi dampak lingkungan terbesar terjadi pada penggunaan produk lampu, berupa dampak konsumsi energi, kemudian tahapan *assembly* produk serta yang terakhir tahap *disposal* dan sisanya oleh proses distribusi. Dengan pendekatan multikriteria AHP, terpilih alternatif strategi *product take back* sebagai strategi terbaik. Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang lebih rinci, akurat dengan normalisasi, standarisasi pembobotan yang relevan dengan kondisi lingkungan di Indonesia. Artinya perlu dikembangkan "Data Base Inventory" yang khas dengan permasalahan lingkungan Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

Astuti, S.P.(2004). **Evaluasi Konsep Produk Lampu Dalam Proses Desain Dan**

Pengembangan Produk Dengan Pendekatan Green Quality Function Deployment (GQFD) II. Thesis, Jurusan Teknik Industri. ITS, Surabaya.

Brissaud, D., Tichkiewitch, S., dan Zwolinski., P.(2006). *Innovation in Life Cycle Engineering and Sustainable Development*. Springer , The Netherlands.

Ciptomulyono, U. (2000). **Fuzzy Goal Programming Model For Determining Weights in The Analytic Hierarchy Process -AHP**. *Majalah IPTEK*, 11:1.

Curran, M.A.(1996). **Environmental Life Cycle Assessment**. McGraw-Hill, New York.

Graedel, T.E. (1998). *Streamlined Life Cycle Assessment*. Prentice Hall, New Jersey.

Hajar, D.(2005). **Analisis LCS Untuk Perbaikan Kinerja Lingkungan di PT. Matsushita Lighting Indonesia**. Tugas Akhir.-Jurusan Teknik Industri ITS.

Laine, T., Reinikainen, E., Liljeström, K., and Karola, A (2001). **Integrated LCA Tool For Ecologi-cal Design**. *Seventh International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro, Brazil.

Pesonen, H.L.(2001). **Environmental Management of Value Chains Promoting Life-cycle Thinking In Industrial Networks**. Greenleaf Publishing, Finland.

Saaty, T. (1993) **Decision Making for Leaders, The Analytical Hierarchic Process**. RWS Publications, Pittsburgh.

Sima Pro-5. (2002). **LCA Software** produced by Pre Consultants. B.V. The Netherlands.