

## **PENILAIAN KITAR HAYAT (LCA) DAN ALAT PENGURUSAN ALAM SEKITAR**

AMIR HAMZAH SHARAAI<sup>1,3</sup>, SITTY NUR SYAFA BAKRI<sup>2,3</sup>  
& SAIDAH MD SAID<sup>2,3</sup>

**Abstrak.** Penilaian Kitar Hayat (LCA) merupakan salah satu alat pengurusan alam sekitar. Terdapat beberapa alat pengurusan alam sekitar lain yang mirip dengan LCA yang menimbulkan kekeliruan di kalangan pengamalnya. Bagi merungkaikan permasalahan tersebut, satu analisis terhadap setiap alat diuraikan berdasarkan 3 aspek, iaitu umum, kontekstual dan kaedah. Hasil analisis ini mendapati LCA diguna pakai dalam beberapa alat pengurusan bagi mencapai matlamat pendekatan tersebut. LCA dan alat pengurusan alam sekitar yang lain juga diperlukan bagi mencapai kelestarian alam sekitar. Data yang komprehensif dan mencukupi amat perlu bagi semua alat pengurusan alam sekitar agar objektif setiap alat tercapai.

*Kata kunci:* Pembangunan mapan; penilaian kitar hayat (LCA); pendekatan pengurusan alam sekitar; alat-alat pengurusan alam sekitar

**Abstract.** Life Cycle Assessment (LCA) is part of environmental management tools. Other tools have similarity with the LCA that cause confusion to practitioners. An analysis has been carried out to overcome this matter. The analysis is described based on three aspects: general, contextual and method. The analysis show that LCA is used in several management tools to achieve the goal of the approaches. LCA and other environmental management approaches are also essential for sustainable environment. The comprehensive and sufficient data are necessary to all environment management tools in order to ensure the objective from each tools are achieved.

*Keywords:* Sustainable development; life cycle assessment (LCA); environmental management approaches; environmental management tools

### **1.0 PENGENALAN**

Penilaian Kitar Hayat atau lebih dikenali sebagai *Life Cycle Assessment* (LCA) telah mula digunakan semenjak tahun 1960an lagi (Curran, 2006). Pada tahun 1970an, berlaku krisis minyak dan penggunaan LCA pada ketika itu lebih bertumpu kepada analisis tenaga dalam sektor perindustrian (Seo & Kulay, 2006). Pada akhir tahun 1980an

---

<sup>1</sup> Institut Sains Biologi, Fakulti Sains, Universiti Malaya, 50603 Kuala Lumpur Malaysia

<sup>2</sup> Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Malaysia

<sup>3</sup> Malaysia Life Cycle Assessment (MyLCA) Network

\* Corresponding author: Email: [amirhamzah5@yahoo.com](mailto:amirhamzah5@yahoo.com)

kedaran alam sekitar semakin meningkat dan perhatian lebih tertumpu kepada LCA yang berpotensi sebagai alat pengurusan alam sekitar. Menurut Rebitzer *et al.* (2004), penggunaannya semakin berkembang dan digunakan secara meluas oleh syarikat-syarikat serta kerajaan sebagai alat pengurusan alam sekitar dalam proses penggubalan dasar. LCA dilihat amat berguna dalam penilaian produk dan telah dimasukkan sebagai salah satu Siri ISO 14000 Sistem Pengurusan Alam Sekitar.

Pada masa kini, LCA masih di peringkat awal perkembangannya. Kefahaman dan penggunaannya tidak meluas dan masih berevolusi sejajar dengan penyelidikan dan aplikasinya di seluruh dunia. Justeru analisis ini cuba membincangkan LCA dan alat pengurusan alam sekitar yang lain bagi memastikan kefahaman mengenai LCA dapat digunakan dengan sebaiknya tanpa wujud sebarang salah faham konsep dan mengelakkan pertindihan dari segi fungsi dengan alat pengurusan alam sekitar yang lain. Objektif analisis ini adalah seperti di bawah:

- (1) Mengenal pasti kaedah untuk menyesuaikan pelbagai alat pengurusan alam sekitar antara satu sama lain untuk meningkatkan kemampuan proses membuat keputusan dalam alam sekitar
- (2) Mengenal pasti bahagian dalam alat pengurusan alam sekitar yang mempunyai persamaan bagi mengelakkan pertindihan fungsi

## 2.0 LCA DAN ALAT PENGURUSAN ALAM SEKITAR YANG LAIN

Matlamat pengurusan alam sekitar adalah bagi mencapai pembangunan lestari, iaitu dari aspek alam sekitar, sosial dan ekonomi. Kelestarian sosial dan ekonomi perlu untuk memperbaiki kualiti kehidupan yang berterusan bagi populasi dunia. Manakala kelestarian alam sekitar pula memastikan tidak berlaku kemerosotan alam sekitar pada masa kini mahupun pada generasi akan datang. Justeru, pelbagai pendekatan alam sekitar yang berbeza untuk tujuan yang khusus telah dibangunkan untuk mencapai hala tuju pembangunan lestari ini. Pada masa yang sama banyak pendekatan baru terus dibangunkan. Pendekatan-pendekatan ini akan terus berkembang apabila wujudnya pendekatan baru yang menghuraikan pembangunan lestari dalam skop yang lebih luas.

Terdapat banyak pendekatan pengurusan alam sekitar yang dikenal pasti mempunyai hubung kait dengan LCA. Secara umumnya pendekatan pengurusan alam sekitar dibahagikan kepada dua, iaitu *konsep dan alat* (Jadual 1).

- (1) *Konsep Pengurusan Alam Sekitar (Environmental Management Concept)*

Konsep merupakan idea bagi mencapai matlamat pembangunan lestari

(2) *Alat Pengurusan Alam Sekitar (Environmental Management Tool)*

Alat adalah teknik mengukur atau menilai prestasi alam sekitar (*environmental performance*) secara sistematik. Alat digunakan untuk menyokong konsep dalam pengurusan alam sekitar (selepas ini dipanggil alat).

**Jadual 1** Beberapa pendekatan pengurusan alam sekitar

<b>Konsep Pengurusan Alam Sekitar</b>	<b>Alat Pengurusan Alam Sekitar</b>
1. Minda Kitar Hayat [ <i>Life Cycle Thinking</i> ]	1. Penilaian Kitar Hayat [ <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i> ]
2. Reka Bentuk untuk Sekitaran [ <i>Design For Environment (DFE)</i> ]	2. Penilaian Risiko [ <i>Risk Assessment (RA)</i> ]
3. Teknologi Bersih [ <i>Cleaner Technology</i> ]	3. Penilaian Impak Sekitaran [ <i>Environment Impact Assessment (EIA)</i> ]
4. Ekologi Industri [ <i>Industrial Ecology (IE)</i> ]	4. Audit Alam Sekitar [ <i>Environment Audit (EAu)</i> ]
5. Kualiti Pengurusan Sekitaran Menyeluruh [ <i>Total Quality Environmental Management (TQEM)</i> ]	5. Penilaian Pencapaian Alam Sekitar [ <i>Environment Performance Evaluation (EPE)</i> ]
	6. Analisis Aliran Bahan [ <i>Material Flow Analysis (MFA@ SEA)</i> ]
	7. Analisis Tenaga dan Bahan [ <i>Energy/Material Analysis (EMA)</i> ]
	8. Pengurusan Rantai Bahan Bersepadu [ <i>Integrated Substance Chain Management (ISCM)</i> ]
	9. Analisis Garis Produk [ <i>Product Line Analysis (PLA)</i> ]

Satu kerangka kerja dibina bagi melihat hubungan antara LCA dengan alat pengurusan alam sekitar lain. Alat pengurusan alam sekitar yang terlibat seperti dalam Jadual 1. Hanya alat pengurusan alam sekitar yang ditunjukkan dalam Jadual 1 sahaja dianalisis, kerana alat yang disenaraikan mempunyai hubungannya secara langsung dengan LCA. Kerangka kerja ini menjelaskan kaitannya dengan LCA berdasarkan tiga aspek berikut:

(1) *Aspek Umum*

Elemen yang terlibat adalah objektif, kekuatan dan kelemahan alat. Ia menghuraikan maksud alat berpandukan objektif alat serta mengenal pasti kekuatan dan kelemahan yang terdapat dalam alat tersebut.

### (2) *Aspek Kontekstual*

Elemen yang terlibat adalah pengguna alat, analisis objek, fokus kepada perubahan perspektif masa, dan fokus ruang. Ia menghuraikan pengguna alat (industri, kerajaan/ pihak berkuasa dan NGO) dan menerangkan sebab alat itu digunakan untuk proses membuat keputusan.

Analisis objek merupakan perkara pokok yang dikaji bagi membantu proses membuat keputusan. Sebagai contoh, kajian LCA menjurus kepada barangan atau perkhidmatan. Maklumat berkaitan kesan ke atas alam sekitar sepanjang kitar hayat diperlukan supaya penambahbaikan dapat dibuat.

Fokus kepada perubahan terbahagi kepada teknosfera dan ekosfera. Perubahan dalam teknosfera berkait dengan bahan, produk atau pilihan teknologi atau pencapaian dalam perniagaan. Perubahan ekosfera adalah seperti penyusunan semula landskap, untuk projek pembinaan, dan pengurusan tanah dan alam sekitar semula jadi.

Perspektif masa terbahagi kepada dua, iaitu retrospektif dan prospektif. Retrospektif digunakan dalam konteks perakaunan, penjejakan dan pemantauan progres berterusan (contohnya tahun ke tahun) manakala prospektif digunakan untuk meramalkan situasi masa akan datang.

Fokus ruang pada konteks keputusan pula ialah berhubung dengan tempat yang terlibat dengan perubahan. Fokus ruang dikategorikan kepada spesifik, tidak spesifik dan pelbagai. Sebagai contoh, dalam projek pembinaan, fokus ruangnya adalah spesifik kepada tapak pembinaan (tiada kebarangkalian untuk berubah). Dalam reka bentuk produk, fokus ruangnya tidak spesifik (kebarangkalian untuk berubah sedikit). Banyak tapak pengeluaran mungkin terjejas oleh satu perubahan reka bentuk (fokus ruang pelbagai).

### (3) *Aspek Kaedah*

Aspek kaedah dimasukkan ke dalam kerangka kerja yang bertujuan untuk menerangkan bagaimana satu alat menyokong proses keputusan. Elemen yang terlibat adalah kesan yang terlibat, fokus input/output, interpretasi, prosedur atau algoritma, dan asas perbandingan.

Kesan yang terlibat merangkumi tiga kategori, iaitu alam sekitar, sosial dan ekonomi. Kebanyakan alat hanya khusus kepada pengukuran kesan ke atas alam sekitar. Terdapat juga alat yang mengukur kesan sosial dan ekonomi. Misalnya LCA digunakan untuk menyiasat kesan alam sekitar manakala PLA pula digunakan untuk menyiasat kesan ke atas ketiga-tiga jenis kategori.

Fokus input/output menumpukan secara khusus kesan yang terhasil dari output ke atas alam sekitar atau kesan dari penggunaan input.

Interpretasi merupakan terjemahan keputusan yang diperolehi. Interpretasi mungkin menerangkan impak yang terhasil sama ada impak sebenar atau impak berpotensi. Interpretasi mungkin juga dari segi faedah dan kos alam sekitar (alam sekitar, sosial dan ekonomi). Sebagai contoh, keputusan SFA dan EMA diinterpretasikan kepada impak berpotensi manakala keputusan EIA diinterpretasikan berdasarkan faedah dan kos alam sekitar terhadap projek yang dicadangkan.

Alat biasanya melibatkan model matematik dan prosedur. Sesetengah alat menekankan prosedur/langkah manakala yang lain menumpukan kepada pembinaan algoritma pengiraan. Prosedur bertujuan untuk menerangkan cara terbaik untuk mencapai keputusan, manakala algoritma bertujuan untuk mencari keputusan yang lebih baik. Contohnya, LCA berfokuskan algoritma manakala EIA berfokus kepada prosedur.

Alat boleh dibandingkan dengan pelbagai cara. Asas perbandingan adalah apa yang dikekal/dimalarkan dalam perbandingan dan berbeza antara alat. Contohnya, asas perbandingan LCA, adalah 'unit berfungsi', manakala EIA, adalah tapak pembinaan (*construction site*).

Huraian mengenai tiga aspek di atas diperjelaskan secara ringkas dalam Jadual 2. Huraian dan definisi mengenai alat akan dihuraikan secara ringkas sebelum huraian mengenai aspek-aspek dalam kerangka kerja diperjelaskan.

## 2.1 Penilaian Kitar Hayat (LCA)

LCA adalah satu alat pengurusan alam sekitar yang mengenal pasti sumber-sumber digunakan dan sisa-sisa yang dibebaskan dari semua ruang alam sekitar (udara, air dan tanah) dari seluruh kitar hayat (*buaiian ke kuburan*) dari barangan dan perkhidmatan spesifik. Terdapat dua kekuatan spesifik: pertama, oleh kerana peranan komprehensifnya, ia membantu menghindar pemindahan masalah, di mana satu penyelesaian terhadap masalah alam sekitar tertentu menyebabkan kemerosotan dalam bahagian dalam kitar hayat atau bahagian alam sekitar yang lain. Kedua, ia mengira untuk sumber-sumber yang digunakan dan sisa-sisa yang dijanakan per unit nilai untuk pengguna, dengan itu membenarkan satu nilai; jenis penilaian impak.

Langkah pertama dalam LCA, analisis Inventori Kitar Hayat (LCI), melibatkan pengenalpastian dan pengiraan semua input ke dalam sistem yang dikaji (menyusur dari awal bahan diekstrak dari alam sekitar semulajadi) dan semua output dari sistem

**Jadual 2** Kerangka kerja untuk menerangkan hubungan antara LCA dengan alat pengurusan alam sekitar

<p><b>Aspek Umum</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektif</li> <li>• Kekuatan</li> <li>• Kelemahan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tujuan menggunakan alat pengurusan sekitar</li> <li>• Kekuatan utama yang terdapat dalam alat pengurusan alam sekitar</li> <li>• Kelemahan utama yang terdapat dalam alat pengurusan sekitar</li> </ul>
<p><b>Aspek Kontekstual</b></p> <p>Diguna oleh: Industri Kerajaan Badan Bukan Kerajaan</p> <p>Objek dianalisis</p> <p>Perspektif Masa</p> <p>Fokus ruang</p>	<p><b>Siapa dan bagaimana?</b></p> <p>Tujuan bagaimana kaedah ditujukan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Komuniti perniagaan</li> <li>- Kerajaan sama ada supranasional, nasional atau peringkat tempatan</li> <li>- Badan Bukan Kerajaan (NGO)</li> </ul> <p><b>Apa?</b> Objek spesifik yang dinilai menggunakan pendekatan menumpukan usaha penambahbaikan, berdasarkan kepada keputusan: sama ada 'teknosfera' mahupun 'ekosfera'</p> <p>Perspektif masa digunakan untuk menganalisis data sama ada retrospektif (pemantauan kemajuan secara berterusan) atau prospektif (meramal situasi yang akan berlaku pada masa akan datang)</p> <p>Horizon ruang objek yang dianalisis; mungkin terkandung pada satu ruang lingkup, melibatkan banyak ruang lingkup atau tidak melibatkan ruang lingkup</p>
<p><b>Aspek Kaedah</b></p> <p>Kesan yang terlibat</p> <p>Fokus input/output</p> <p>Interpretasi</p> <p>Prosedur/fokus algoritma</p> <p>Asas banding beza</p>	<p><b>Bagaimana?</b></p> <p>Bagaimana kesan ke atas alam sekitar, dan bagaimana kesan-kesan lain (ekonomi dan sosial) diambil kira.</p> <p>Adakah fokus pendekatan kesan alam sekitar dari output atau input?</p> <p>Di manakah penilaian yang paling diperlukan untuk menginterpretasikan keputusan.</p> <p>Adakah pendekatan berdasarkan prosedur (atau algoritma pengiraan)</p> <p>Apakah yang dimalarkan bagi perbandingan?</p>

(bahan sisa yang dilepaskan kepada alam sekitar semulajadi) (Azapagic & Cliff, 1999). Ia selalu memerlukan data dari banyak negara berbeza, dikumpulkan dari sumber data yang sangat luas (industri, statistik kebangsaan, buku panduan kejuruteraan) kadang-kala mempunyai perbezaan ketepatan. Data-data ini kemudian dikumpulkan dari semua ruang lingkup dalam kitar hayat dan sepanjang masa untuk mendapatkan keputusan LCI yang mutakhir. Pendekatan makro ini menyediakan maklumat yang sangat berguna untuk mengelakkan pemindahan masalah dan juga untuk membantu strategi pembangunan strategik, tetapi ia tidak dapat menyediakan ke semua perincian, terutamanya ke atas ciri-ciri strategi pada kawasan-kawasan dimana bahagian-bahagian spesifik pada lingkungan kitar hayat dikaji, atau pada masa pengedaran pengestrakan dari atau melepaskan kepada persekitaran semulajadi.

Model-model Penilaian Impak Kitar Hayat (LCIA) sedang dibangunkan untuk menterjemah data LCI dalam ertikata kesan terhadap alam sekitar (Reap *et al.* 2008). Disebabkan kekurangan perincian ruang dan tempoh masa dalam data LCI, kesan sebenar tidak dapat dipersembahkan pada masa kini menggunakan LCA, kecuali potensi impak-impak.

<i>Aspek Umum</i>	<i>Huraian</i>
Objektif keseluruhan untuk	Memastikan penambahbaikan kepada kitar hayat Mengenal pasti keutamaan penambahbaikan
Kekuatan	Memahami profil alam sekitar sesuatu sistem Melibatkan impak global dan kewilayahan Membantu pertimbangan impak yang berkaitan dengan masyarakat
Kelemahan	Tidak boleh menyatakan kesan-kesan bergantung masa dan lokasi
 <i>Aspek Kontekstual</i>	
Digunakan oleh:	
Industri	Sebagai alat komunikasi Fokus untuk pelan peningkatan Pelan strategik jangka panjang
Kerajaan	Menyokong penggunaan Minda Kitar Hayat
NGO	Menyokong penggunaan Minda Kitar Hayat
Objek dianalisis	Spesifik kepada barangan atau perkhidmatan
Fokus perubahan/peningkatan	Teknosfera
Fokus ruang	Tidak spesifik
Perspektif masa	Retrospektif dan prospektif

*Aspek Kaedah*

Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Keseluruhan potensi impak alam sekitar dari semua sumber-sumber digunakan dan sisa-sisa yang dihasilkan
Fokus input/output	Input dan output
Interpretasi	Penilaian impak, pemberatan
Prosedur/algoritma	algoritma
Asas perbandingan	Unit berfungsi

**3.2 Penilaian Risiko (*Risk Assessment/RA*)**

Penilaian risiko mencakupi satu julat aplikasi yang luas. Sebagai contoh, ia boleh digunakan sama ada penilaian risiko bagi manusia atau ekologi, bagi satu titik, satu penyebaran sumber pelepasan operasi atau tidak disengajakan. Ini boleh juga dilakukan untuk persekitaran kerja (*working environment*) (penilaian risiko kerja) ada juga sebagai persekitaran luar (Herrchen & Klein, 2000; Bare, 2006).

Perkataan risiko itu sendiri merupakan kebarangkalian satu peristiwa buruk berlaku (Royal Society, 1992). Maka risiko kepada alam sekitar pula adalah kebarangkalian untuk kesan buruk berlaku kepada alam sekitar. Bagi sesuatu risiko, ia mesti terdapat berbahaya yang mana terdapat potensi untuk menyebabkan satu kesan buruk.

*Aspek Umum*

Objektif keseluruhan	<i>Huraian</i> Untuk menilai kemungkinan kesan buruk ke atas kesihatan manusia dan alam sekitar yang berkaitan dengan situasi berbahaya.
Kekuatan	Menilai kesan-kesan kewilayahan dan tempatan ke atas sasaran tertentu
Kelemahan	Menggunakan lebih masa dan sumber Tidak menyatakan kitar hayat secara menyeluruh

*Aspek Kontekstual*

Digunakan oleh:	
Industri	Memeriksa kebolehterimaan sesuatu risiko
Kerajaan	Mendefinisikan kriteria kebolehterimaan Diperuntukkan sebagai sumber perundangan utama
NGO	Mencabar kebolehterimaan situasi berbahaya
Objek dianalisis	Spesifik kepada situasi berbahaya
Fokus perubahan/peningkatan	Teknosfera
Perspektif masa	Prospektif



*Aspek Kaedah*

Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Kesan-kesan ke atas kesihatan manusia dan jangkaan kerosakan alam sekitar
Fokus input/output	Output
Interpretasi	Membanding dengan piawaian kebolehterimaan
Prosedur/algoritma	Algoritma
Asas perbandingan	Situasi yang dinilai contohnya operasi-operasi pada pemasangan tertentu, atau menggunakan bahan kimia tertentu dalam satu produk

### 3.3 Penilaian Impak Alam Sekitar (*Environmental Impact Assessment/EIA*)

EIA digunakan untuk menyiasat perubahan yang berlaku kepada alam sekitar pada ruang yang spesifik contohnya pembinaan loji janakuasa, lebuh raya, dan landasan keretapi (Masera & Colombo, 1992; Wathern, 1988). EIA merupakan alat sesuatu perancangan (prospektif) fizikal yang prihatin terhadap pengurusan tanah. Ia mempertimbangkan kesan-kesan alam sekitar semasa jangka masa pembinaan dan semasa operasi. EIA juga diperlukan untuk mendapatkan lesen bagi membina dan/atau menjalankan loji tertentu.

EIA dibina dalam konteks perundangan (Masera & Colombo, 1992). Huraian mengenai EIA berfokus kepada prosedur, contohnya bagaimana kesan alam sekitar berlaku dalam sesuatu ruang spesifik, dan bagaimana untuk melibatkan orang berkepentingan dalam keputusan itu. Biasanya senarai semak tentang impak alam sekitar sepatutnya disiasat dimasukkan. Sesetengah negara, kesan sosial (misalnya kesan infrastruktur dan alam sekitar) juga disiasat dalam prosedur EIA (Pellizoni, 1992). Asas perbandingan dalam EIA adalah 'sempadanan ruang'- membanding sebelum dan selepas pembinaan/perubahan, atau dalam ruang lingkup pilihan. Meskipun LCA dan EIA kedua-duanya menggunakan data alam sekitar, data alam sekitar EIA biasanya lebih terperinci dengan sempadanan ruang atau projek yang spesifik. Contohnya, EIA selalu melibatkan pengiraan tempoh masa dan kepekatan bahan cemar yang dilepaskan dengan penilaian impak-impak sebenar alam sekitar pada sesuatu projek.

<i>Aspek Umum</i>	<i>Huraian</i>
Objektif keseluruhan	Untuk menilai impak-impak negatif dan positif kepada alam sekitar dari projek yang dirancang.
Kekuatan	Menilai kedua-dua kesan positif dan negatif
Kelemahan	Mempertimbangkan impak-impak tempatan dari projek Tidak boleh dengan mudah menyatakan kesan serantau/global atau kesan-kesan sepanjang kitar hayat
 <i>Aspek Kontekstual</i>	
Digunakan oleh: Industri	Untuk mencapai keperluan perundangan Untuk mengenal pasti keperluan untuk merubah projek bagi meredakan impak
Kerajaan	Sebagai satu input untuk keputusan atas kebolehterimaan projek-projek yang dirancang
NGO	Untuk mencabar kebolehterimaan projek yang dirancang
Objek dianalisis	Spesifik kepada projek yang dirancang (biasanya pembinaan)
Fokus perubahan/peningkatan	Teknosfera dan ekosfera
Perspektif masa	Prospektif
 <i>Aspek Kaedah</i>	
Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Semua kesan dari projek yang dirancang ke atas alam sekitar tempatan (termasuk manusia dan spesies lain)
Fokus input/output	Input dan output
Interpretasi	Kos alam sekitar dan kebaikan-kebaikan
Prosedur/algoritma	Prosedur
Asas perbandingan	Projek atau ruang lingkup yang dianalisis – perbandingan akan jadi, contohnya dari pilihan-pilihan pengurusan impat berbeza

### **3.4 Audit Alam Sekitar (*Environmental Audit/EAu*)**

Terma audit alam sekitar digunakan dalam beberapa konteks yang berbeza dan boleh digunakan bagi maksud perkara yang berbeza. Asalnya dari pemeriksaan fizikal dari ruang lingkup untuk memeriksa pematuhan sahaja dan untuk mengenal pasti risiko-risiko utama dan liabiliti. Walau bagaimanapun, dengan perkembangan piawaian sistem pengurusan alam sekitar (contohnya ISO 14001 (*International Organization for Standardization* (ISO) 1996a) dan Eko-Pengurusan dan Skim Audit EU (*European Economic Community* (EEC) 1993, terma Audit Alam Sekitar juga digunakan untuk menunjukkan satu pemeriksaan keakuratan sistem pengurusan alam sekitar dengan keperluan piawaian. Definisi dalam draf ISO 14010 (*International Organization for Standardization* (ISO) 1995) mengatakan Audit alam sekitar sebagai:

“sistematik, proses pengesahan yang didokumenkan yang secara objektif bagi mendapatkan dan menilai bukti audit untuk menentukan sama ada aktiviti alam sekitar, peristiwa, keadaan, sistem pengurusan, atau pengetahuan, atau maklumat mengenai perkara ini mematuhi dengan kriteria audit, dan membentangkan keputusan proses ini kepada pelanggan.”

Elemen yang biasa juga disentuh dalam EAU adalah kegunaan satu kumpulan bebas untuk menjalankan audit itu, iaitu sama ada dari mana-mana dalam organisasi, atau dari satu organisasi luar (Mattsson & Olsson, 2001). Konsep pemeriksaan pada keperluan yang diberikan, sama ada perundangan, yang terdapat dalam polisi, atau ditetapkan dalam piawaian.

EAU mungkin melibatkan pengumpulan data input dan output dari aktiviti yang sedang diaudit. Contohnya, sekiranya terdapat satu keperluan polisi untuk mengurus dan mengurangkan penggunaan tenaga atau sisa-sisa, maka prosedur audit akan melibatkan koleksi data mengenai penggunaan tenaga atau penghasilan sisa. Walau bagaimanapun, fokus EAU adalah lebih kepada aktiviti yang sedang diaudit dan tidak kepada aktiviti hulu dan hiliran (*up stream and down stream*) (Harrison, 1995). Walau bagaimanapun EAU tidak semestinya memberi fokus kepada potensi atau impak sebenar alam sekitar (Kim, 1997).

<i>Aspek Umum</i>	<i>Huraian</i>
Objektif keseluruhan	Untuk mengesahkan pematuhan dengan keperluan yang diberikan dan piawaian biasa sedang digunakan, dengan kata lain pemeriksaan oleh pihak ketiga
Kekuatan	Menyediakan satu cara untuk pihak ketiga, <i>independent</i> , pemeriksaan
Kelemahan	Fokus pematuhan bermaksud lebih kepada kelemahan bukan kepada peningkatan
 <i>Aspek Kontekstual</i>	
Digunakan oleh:	
Industri	Untuk memeriksa dan menunjukkan kepatuhan kepada perundangan, polisi dan/atau satu piawaian
Kerajaan	Untuk memeriksa dan menunjukkan pematuhan kepada perundangan, polisi dan/atau satu piawaian
NGO	Tidak digunakan
Objek dianalisis	Syarikat atau operasi ruang lingkup ( <i>site</i> )
Fokus perubahan/peningkatan	Teknosfera dan ekosfera
Perspektif masa	Retrospektif

*Aspek Kaedah*

Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Kesan aktiviti yang diaudit untuk yang mana keperluan telahpun ditentukan
Fokus input/output	Output
Interpretasi	Darjah keakuratan dengan keperluan-keperluan
Prosedur/algoritma	Prosedur
Asas perbandingan	Unit operasi atau aktiviti yang sedang diaudit

### 3.5 Penilaian Pencapaian Alam Sekitar (*Environment Performance Evaluation/EPE*)

EPE secara relatifnya adalah alat yang masih baru diperkenalkan dalam konteks sistem pengurusan alam sekitar. Ia adalah alat dalaman yang boleh menyediakan satu tatacara pengurusan dengan boleh dipercayai, objektif, maklumat yang boleh disahkan untuk menentukan di takat manakah organisasi itu mencapai objektif alam sekitarnya. Oleh itu, ia seakan mirip dengan audit alam sekitar. Walau bagaimanapun, ia lebih menekankan kepada pencapaian sistem dalam erikata kesan ke atas alam sekitar ISO 14040: 2000 (2005). Proses EPE yang efektif dapat membantu satu organisasi untuk mengenal pasti peluang-peluang perniagaan yang strategik, untuk mencapai peningkatan prestasi alam sekitarnya dan menyokong laporan satu organisasi yang memerlukan tahap prestasi alam sekitar.

EPE harus dilaksanakan dengan memilih indikator-indikator sesuai untuk mengukur, menilai dan berkomunikasi mengenai prestasi alam sekitar sesuatu organisasi itu dengan kriteria yang telah dipersetujui oleh pihak pengurusan (*International Organization for Standardization (ISO) 1996b*). Kriteria ini perlu relevan bagi sesuatu objektif dan target prestasi alam sekitar organisasi itu. EPE boleh juga digunakan untuk menyatakan aktiviti yang lengkap pada organisasi, misalnya sumber dan proses yang digunakan dan kesan ke atas produk dan perkhidmatan (Tam *et al.* 2000).

EPE ialah satu alat yang berguna dalam konteks Sistem Pengurusan Alam Sekitar (EMS) kerana tujuan prinsip EMS ialah pengurusan dan peningkatan prestasi alam sekitar. Bagaimanapun, ia mungkin diterima oleh satu organisasi yang tidak mempunyai satu EMS formal di tempatnya. Dalam konteks piawaian EMS, indikator prestasi boleh dihubungkan dengan aspek atau kesan alam sekitar organisasi, yang mana menyediakan fokus untuk objektif dan sasaran yang sistem itu sampaikan.

EPE, audit alam sekitar, dan ulasan alam sekitar (*environmental reviews*) menolong pengurusan satu organisasi mengenal pasti bahagian yang boleh ditingkatkan. EPE adalah berasaskan kepada koleksi berterusan dan penilaian data dan maklumat untuk menyediakan status semasa prestasi alam sekitar mengikut trend masa kini

(Charles & Pan, 2002). Kontrasnya, audit alam sekitar dijalankan secara berkala untuk mengesahkan keakuratan untuk keperluan yang telah dinyatakan.

<i>Aspek Umum</i>	<i>Huraian</i>
Objek keseluruhan	Untuk menyediakan maklumat objektif yang boleh dipercayai dan boleh disahkan mengenai pencapaian alam sekitar sesuatu organisasi
Kekuatan	Menyediakan ukuran untuk pencapaian alam sekitar dengan jaringan langsung kepada objektif dan target polisi
Kelemahan	Menyediakan bukan ukuran relatif mutlak dari pencapaian
<i>Aspek Kontekstual</i>	
Digunakan oleh:	
Industri	Untuk mengukur pencapaian alam sekitar dan peningkatannya
Kerajaan	Untuk mengenal pasti peluang perniagaan strategik
NGO	Untuk mengesan kemajuan terhadap polisi objektif
Objek dianalisis	Tidak berkaitan
Fokus perubahan/peningkatan	Aktiviti-aktiviti satu organisasi
Perspektif masa	Teknosfera dan ekosfera
	Retrospektif
<i>Aspek Kaedah</i>	
Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Yang paling relevan kepada aktiviti organisasi
Fokus input/output	Input dan output
Interpretasi	Mengenal pasti ukuran pencapaian relevan
Prosedur/algoritma	Prosedur
Asas perbandingan	Unit operasi

### **3.6 Analisis Aliran Bahan (*Material Flow Analysis/MFA*)**

MFA bertujuan untuk membuat satu imbangan aliran keluar masuk pada satu bahan tertentu melalui ekonomi bahan itu (Huppes, 1993). Oleh itu, ia menggunakan satu pendekatan sistem dalam mengkaji bahan itu sepanjang rantai pengeluaran dan penggunaan, tetapi ia tidak holistik kerana ia memfokuskan kepada satu bahan sahaja. Sesuatu bahan itu mungkin banyak fungsi. Proses analisis perlu mengikuti sepanjang fungsi ini, dengan matlamat mengenal pasti aktiviti tersebut dalam masyarakat di mana tidak boleh diambil. MFA boleh mengutarakan nodus aliran keluar masuk utama dalam sistem (Brunner & Rechberger, 2004). Ini mungkin dapat mengelirukan sekiranya ia menjurus untuk perubahan dalam sistem yang menyebabkan impak alam sekitar berbeza disebabkan oleh peningkatan penggunaan oleh bahan lain (satu masalah boleh dielakkan dengan mengikuti

indikator bahan berbeza secara selari). Dalam LCA masalah ini boleh dihindarkan dengan mengkaji semua aliran bahan relevan yang berkaitan dengan unit berfungsi yang dianalisis dan menterjemahkan aliran ini kepada kesan alam sekitar pada peringkat penilaian impak. Bagaimanapun, kajian MFA dan LCA bertindih dalam kegunaan data dan dalam pendekatan model, dan oleh itu kajian MFA dan LCA amat berguna bagi pengamal kedua-dua alat ini.

<i>Aspek Umum</i>	<i>Huraian</i>
Objektif keseluruhan	Pengiraan aliran keluar dan masuk dalam satu bahan tertentu melalui ekonomi bahan
Kekuatan	Boleh mengira potensi impak alam sekitar sepanjang kitar hayat
Kelemahan	Fokus kepada satu bahan yang boleh cenderung kepada keputusan yang mengelirukan
<i>Aspek Kontekstual</i>	
Digunakan oleh:	
Industri	Untuk mengutarakan peluang untuk peningkatan alam sekitar berkait dengan bahan
Kerajaan	Tidak berkaitan
NGO	Tidak berkaitan
Objek dianalisis	Bahan spesifik
Fokus perubahan/peningkatan	Teknosfera
Perspektif masa	Retrospektif
<i>Aspek Kaedah</i>	
Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Bukan spesifik ruang lingkup
Fokus input/output	Input dan output
Interpretasi	Potensi impak alam sekitar untuk aliran bahan
Prosedur/algoritma	Algoritma
Asas perbandingan	Bahan

### **3.7 Analisis Tenaga dan Bahan (*Energy and Material Analysis/EMA*)**

Analisis tenaga dan bahan pada dasarnya menggunakan algoritma yang sama seperti fasa inventori LCA dalam mengira semua bahan dan tenaga yang masuk atau keluar sistem yang dikaji (Anon, 1998). Hakikatnya, EMA merupakan pelopor bagi LCA. Bagaimanapun, unit berfungsi dalam fasa inventori LCA berhubung dengan perkhidmatan kepada masyarakat manakala EMA, kajian hanya satu fasa spesifik dalam kitar hayat. Mengenai aspek kontekstual, kajian ini juga berubah dari LCA kerana tidak menterjemah penggunaan tenaga secara eksplisit atau input/output bahan kepada potensi kesan alam sekitar. Bagaimanapun, interpretasi data

output EMA dan LCA berasaskan kepada andaian mengenai kesan alam sekitar dari pelepasan berbeza. Oleh itu, terdapat peluang bagi pengamal EMA dan LCA untuk bertukar idea dalam aspek pendekatan dan juga perkongsian data.

<i>Aspek umum</i>	<i>Huraian</i>
Objek keseluruhan	Untuk menilai imbalan tenaga dan bahan berkaitan dengan satu operasi spesifik
Kekuatan	Menyediakan cara berstruktur untuk mengenal pasti dan menilai potensi impak operasi
Kelemahan	Fokus kepada satu fasa dalam kitar hayat
<i>Aspek kontekstual</i>	
Digunakan oleh:	
Industri	Untuk mengenal pasti peluang untuk peningkatan
Kerajaan	Tidak berkaitan
NGO	Tidak berkaitan
Objek dianalisis	Operasi spesifik atau fasa kitar hayat
Fokus perubahan/peningkatan	Teknosfera
Perspektif masa	Retrospektif dan prospektif
<i>Aspek Kaedah</i>	
Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Spesifik untuk operasi atau fasa kitar hayat
Fokus input/output	Input dan output
Interpretasi	Potensi impak alam sekitar untuk aliran bahan dan tenaga
Prosedur/ algoritma	Algoritma
Asas perbandingan	Operasi didefinisi atau fasa kitar hayat

### **3.8 Pengurusan Rantai Bahan Bersepadu (*Integrated Substance Chain Management/ISCM*)**

Dalam ISCM, fokus utama dalam kaedahnya adalah peranan sebagai alat menyokong keputusan (*decision-support tool*), dan keputusan akhir kajian adalah menghasilkan pelan tindakan yang praktikal berbanding dengan analisis sekitaran yang lain. Objektif dihuraikan sebagai analisis untuk menurunkan kesan alam sekitar secara keseluruhan dalam rantai-rantai bahan. Ia boleh juga digunakan dalam produk, syarikat, sektor industri dan sebagainya (VNCI (*Association of the Dutch Chemical Industry*) 1991). Sebagai sebahagian dari alat, kesan alam sekitar dan ekonomi dari pilihan berbeza untuk peningkatan dibandingkan dan satu pelan tindakan diformulasikan. Ia berbeza dan mempunyai kelebihan berbanding LCA kerana menggabungkan dimensi ekonomi ke dalam kaedahnya sebagai tambahan kepada kesan alam sekitar (de Groene & Hermans, 1998).

Kaedah alam sekitar untuk ISCM adalah pada dasarnya sama seperti LCA, walaupun terdapat beberapa cadangan yang mungkin untuk memendekkan satu analisis LCA yang lengkap dengan menggunakan apa yang disebut sebagai peraturan 80/20; contohnya menghadkan kajian untuk 20% elemen yang dikira untuk 80% dari kesan keseluruhan (VNCI (*Association of the Dutch Chemical Industry*) 1991). Hal ini berhubung dengan penyelidikan semasa mengenai kaedah LCA dipermudahkan (*streamlined LCA*) untuk penjelasan mengenai LCA dipermudahkan) dan oleh itu pengamal-pengamal LCA dan ISCM boleh memanfaatkan dari pertukaran idea dari jenis pendekatan ini (Seuring, 2004).

<i>Aspek Umum</i>	<i>Huraian</i>
Objek keseluruhan	Untuk menilai dan mengurangkan impak keseluruhan alam sekitar dari rantai-rantai bahan
Kekuatan	Membolehkan pertimbangan ekonomi dan aspek alam sekitar dalam alat integrasi
Kelemahan	Guna penilaian yang dipermudahkan mungkin memberikan jawapan yang terlalu mudah
 <i>Aspek Kontekstual</i>	
Digunakan oleh:	
Industri	Untuk membangunkan satu tindakan praktikal untuk mengurangkan impak alam sekitar oleh rantai bahan, produk dan/atau syarikat
Kerajaan	Untuk mewujudkan objektif target peningkatan untuk syarikat dan sektor industri
NGO	Tidak berkaitan
Objek dianalisis	Rantai-rantai bahan tetapi juga produk, syarikat, sektor industri
Fokus perubahan/peningkatan	teknosfera
Perspektif masa	Retrospektif dan prospektif
 <i>Aspek Kaedah</i>	
Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Bukan spesifik ruang lingkup
Fokus input/output	Input dan output
Interpretasi	Penilaian impak, kesan ekonomi
Prosedur/algoritma	algoritma
Asas perbandingan	Rantai bahan

### 3.9 Analisis Garis Produk (*Produk Line Analysis/PLA*)

PLA telah dibangunkan di German (Osnowski & Rubik, 1987) dengan nama '*Produktlinienanalyse*'. Alat ini juga paling banyak digunakan. PLA serupa dengan LCA dalam pelbagai perspektif. Seperti LCA, PLA adalah alat merancang prospektif



mengkaji impak alam sekitar pada perkhidmatan tertentu untuk masyarakat (Rubik & Baumgartner, 1992). Kedua-dua menggunakan unit berfungsi sebagai asas perbandingan. Walau bagaimanapun, PLA juga menyiasat kesan ke atas masyarakat dan ekonomi. Ringkasnya, PLA boleh dikatakan sebagai alat yang menggabungkan LCA alam sekitar dengan ekonomi dan sosial.

<i>Aspek Umum</i>	<i>Huraian</i>
Objek keseluruhan	Untuk menilai potensi alam sekitar, impak sosial dan ekonomi dari barangan dan perkhidmatan sepanjang kitar hayat
Kekuatan	Menyepadukan aspek impak alam sekitar, ekonomi dan sosial sesuatu barangan atau perkhidmatan sepanjang kitar hayat
Kelemahan	Tidak boleh menilai spesifik, impak-impak tempatan
<i>Aspek Kontekstual</i>	
Digunakan oleh:	
Industri	Untuk mengenal pasti keutamaan peningkatan untuk produk atau perkhidmatan
Kerajaan	Untuk mendefinisi objektif polisi dan target
NGO	Berusaha untuk menggunakannya
Objek dianalisis	Barangan dan perkhidmatan spesifik
Fokus perubahan/ peningkatan	Teknosfera
Perspektif masa	Retrospektif dan prospektif
<i>Aspek Kaedah</i>	
Yang mana kesan yang dipertimbangkan?	Bukan spesifik ruang lingkup
Fokus input/output	Input dan output
Interpretasi	Kesan ke atas alam sekitar, masyarakat dan ekonomi
Prosedur/algoritma	algoritma
Asas perbandingan	Unit berfungsi dan kos

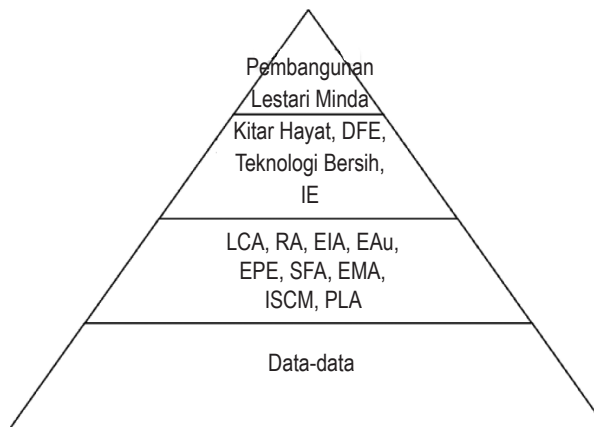
#### 4.0 KESIMPULAN DAN CADANGAN

Kertas kerja ini cuba mengetengahkan LCA dan beberapa pendekatan dalam pengurusan sekitaran. Untuk tujuan tersebut setiap pendekatan dianalisis, dan dibandingkan dengan LCA, menggunakan kerangka kerja yang dibangunkan, ini termasuklah:

- (1) Alat yang dikenalpasti secara amnya dibangunkan untuk menyokong jenis keputusan yang berbeza di antara pengurus alam sekitar. Pertindihan wujud antara pendekatan boleh diperhatikan apabila setiapnya dibangunkan secara berterusan untuk menyatakan aspek yang lebih luas dalam pembangunan lestari. Bagaimanapun, tidak ada satu pendekatanpun yang boleh digunakan sama ada

secara individu mahupun secara gabungan. Pemilihan alat adalah bergantung kepada persoalan spesifik yang diperlukan dalam sesuatu kajian.

- (2) Semua alat pengurusan alam sekitar amat bergantung kepada sumber data umum (Rajah 1). Bergantung pada alat pengurusan yang akan mengekstrakkan data spesifik yang diperlukan. Terdapat peningkatan permintaan kepada aktiviti mendapatkan dan menyediakan data. Kordinasi lebih rapat bagi keperluan data konsep dan alat akan memberi kebaikan yang begitu ketara.
- (3) Hasil penulisan ini mampu untuk mempersembahkan satu gambaran konsep dan alat yang dipertimbangkan dari sudut pandangan pengamal LCA. Perspektif pengamal konsep dan alat diperlukan bagi membangunkan analisis dan mengesahkan kesimpulan yang sedia ada.
- (4) Rajah 1 menunjukkan bahawa data yang komprehensif diperlukan bagi memastikan semua alat pengurusan alam sekitar berfungsi dengan sempurna. Pembangunan lestari alam sekitar pula hanya dapat dicapai sekiranya konsep dan alat dapat digemblengkan secara efektifnya hanya sekiranya data yang mencukupi diperolehi.



**Rajah 1** Hubungan antara keperluan data, alat pengurusan sekitaran, konsep sekitaran dan pembangunan lestari

## PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada ahli MyLCA UM-UKM di atas sokongan dan usaha memperkenalkan dan mempromosikan Penilaian Kitar Hayat (LCA) dalam pelbagai bidang.

**RUJUKAN**

- [1] Anon, 1998. Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programmes Summary. *Report of the SETAC-Europe Working Group*. pp. 1-28. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.32.9140> [20 April 2008].
- [2] Azapagic, A & R. Clift. 1999. Allocation of Environmental Burdens in Multiple-function Systems. *Journal of Cleaner Production*. 7: 101–119.
- [3] Bare, J. C. 2006. Risk Assessment and Life-Cycle Impact Assessment (LCIA) for Human Health Cancerous and Noncancerous Emissions: Integrated and Complementary with Consistency within the USEPA. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 12(3): 493–509.
- [4] Brunner, P. H. & H. Rechberger. 2004. Practical Handbook of Material Flow Analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 9(5): 337–338.
- [5] Charles, J. C. & J. N. Pan. 2002. Evaluation Environmental Performance Using Statistical Process Control Techniques. *European Journal Of Operational Research*. 139: 68–83.
- [6] Chastek, G., P. Donohoe, K. C. Kang, & S. Thiel. 2001. Product Line Analysis: A Practical Introduction, Technical Report CMU/SEI-2001-TR-001. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA.
- [7] Committee on Risk Assessment of Hazardous Air Pollutants, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission on Life Sciences, National Research Council. 1994. *Science and Judgment in Risk Assessment*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- [8] Curran, M. A. 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. <http://www.epa.gov/NRMRL/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf> [6 Februari 2008].
- [9] de Groene, A. & M. Hermans. 1998. Economic and Other Implications of Integrated Chain Management: A Case Study. *Journal of Cleaner Production*. 6(3): 199–211.
- [10] European Economic Community (EEC). 1993. Council regulation (EEC) No. 1836/93 of 29 June 1993 Allowing Voluntary Participant by Companies in the Industrial Sector in a Community Eco-management and Audit Scheme. *Journal of the European Communities*. OJ No L (168), 10.17.93.
- [11] Harrison, L. 1995. *Environmental, Health and Safety Auditing Handbook*. Second Edition. New York: McGraw Hill.
- [12] Herrchen, M. & W. Klein. 2000. Use Of The Life-Cycle Assessment (LCA) Toolbox For An Environmental Evaluation Of Production Processes. *Pure Appl. Chem*. 72(7): 1247–1252.
- [13] Huppes, G. 1993. *Macro-Environmental Policy: Principles and Design*. Netherlands: University of Leiden.
- [14] International Organization for Standardization (ISO) 1995. Guidelines for Environmental Auditing-General Principles: Draft International Standard ISO/DIS 14010.
- [15] International Organization for Standardization (ISO) 1996a. Environmental Management System-Specification with Guidance for Use: ISO 14001.
- [16] International Organization for Standardization (ISO) 1996b. Evaluation of Environmental Performance Working Draft (ISO 14031).
- [17] ISO 14040: 2000. 2005. Environmental management-Life cycle assessment-Principle and framework. In SIRIM Berhad (eds.). *Malaysian Standards Handbook on Environmental Management: MS ISO 14000 Series*. 2nd Ed. SIRIM Berhad.
- [18] Kim, U. 1997. *Environmental & Safety Auditing: Program Strategies for Legal, International, and Financial Issues*. Florida: CRC Press.

- [19] Masera, M. & A. G. Colombo. 1992. Contents and Phases in an EIA Study. In Colombo A.G. (ed.). *Environmental Impact Assessment*. Dordrecht, NL. Kluwer Academic publisher.
- [20] Mattsson, B. & P. Olsson. 2001. Environmental Audits and Life Cycle Assessment. In Griffith, D.M. (eds.). *Auditing in the Food Industry - From Safety and Quality to Environmental and Other Audits*. Woodhead Publishing.
- [21] Osnowski, R. & F. Rubik. 1987. *Produktlinienanalyse. Bedürfnisse, Produkte und ihre folgen*. Koln: Kolner Volksblatt Verlag.
- [22] Park, S., M. Kim, & V. Sugumaran. 2004. A Scenario, Goal And Feature-Oriented Domain Analysis Approach For Developing Software Product Lines. *Industrial Management & Data Systems*. 104(4): 296–308.
- [23] Pellizoni, L. 1992. Sociological Aspects of Environmental Impact Assessment. In Colombo, A.G. (eds.). *Environmental Impact Assessment*. Dordrecht, NL. Kluwer Academic Publisher.
- [24] Reap, J., F. Roman, S. Duncan, & B. Bras. 2008b. A Survey of Unresolved Problems in Life Cycle Assessment: Part 2: Impact Assessment and Interpretation. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 13: 374–388.
- [25] Rebitzer, G., T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. P. Schmidt, S. Suh, B. P. Weidema, & D. W. Pennington. 2004. Life Cycle Assessment Part 1: Framework, Goal and Scope Definition, Inventory Analysis, and Applications. *Environment International*. 30: 701–720.
- [26] Royal Society. 1992. Analysis, Perception, Management. Report of a Royal Society Group. London: Royal Society.
- [27] Rubik, F. & T. Baumgartner. 1992. Evaluation of Ecobalances. EUR-14737-EN. Commission of the European.
- [28] Seo, E. S. M. & L. A. Kulay. 2006. Life Cycle Assessment: Management Tool for Decision-Making. *Journal of Integrated Management of Occupational Health and the Environment*. 1(1): 1–24.
- [29] Seuring, S. 2004. Integrated Chain Management and Supply Chain Management Comparative Analysis and Illustrative Cases. *Journal of Cleaner Production*. 12:1059–1071.
- [30] Tam, C. M., Tamn, V. W. Y. & Zeng, S. X. 2002. Environmental Performance Evaluation (EPE) For Construction. *Building Research & Information*. 30(5): 349–361.
- [31] VNCI (Association of the Dutch Chemical Industry). 1991. Integrated Substance Chain Management. VNCI, Leidschendam.
- [32] Wathern, P. 1988. An Introductory Guide to EIA. In Wathern, P. (eds.). *Environmental Impact Assessment: Theory and Practice*. London: Routledge.