

PENILAIAN KITAR HAYAT SUATU PENGENALAN

SAIDAH MD SAID^{1,3*}, AMIR HAMZAH SHARAAI^{2,3}
& SITTY NUR SYAFA BAKRI^{1,3}

Abstrak. Penilaian Kitar Hayat (LCA) merupakan alat untuk menilai dan membanding impak alam sekitar oleh aktiviti manusia terhadap proses atau produk daripada awal hingga akhir hayatnya. Penggunaan sumber dan pembebasannya kepada alam sekitar berlaku pada pelbagai peringkat kitar hayat sesebuah produk daripada pengekstrakan bahan mentah, pemerolehan tenaga, penghasilan dan pembuatan, penggunaan, kitar semula dan pelupusan. Kesemuanya berpotensi menyumbang kepada perubahan iklim, penipisan lapisan ozon, pengasidan, eutrofikasi, bebanan ketoksikan terhadap kesihatan manusia dan ekosistem, pengurangan sumber, guna tanah dan sebagainya. Kertas kerja ini bertujuan memperkenalkan kerangka dan prosedur dalam melakukan kajian LCA, aplikasi, kelebihan dan pembatasan LCA untuk diaplikasikan ke dalam pengurusan alam sekitar dan pencegahan pencemaran.

Kata kunci: Penilaian Kitar Hayat (LCA); pengurusan alam sekitar; pencegahan pencemaran

Abstract. Life Cycle Assessment (LCA) is a tool to measure and compare the environmental impacts by human activities of a process or product from cradle to grave. Resources consumption and emission to environment occur at many stages in a product's life cycle from raw material extraction, energy acquisition, production and manufacturing, use, recycling until the disposal. These potentially contribute to climate change, ozone depletion, acidification, eutrophication, toxicological stress on human health and ecosystems, the depletion of resources, land use, and others. This paper introduces the LCA framework and procedure, applications, advantage and limitation of LCA as well as its application in environmental management and pollution prevention scenarios.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA); environmental management; pollution prevention

1.0 PENGENALAN

Konsep reka bentuk alam sekitar bukanlah sesuatu yang baru. Menurut Lamprecht (1997), Victor Papanek telah menyedarinya semenjak awal tahun 1971 apabila terjadinya pelbagai pencemaran. Elemen penting yang terkandung dalam siri ISO 14000 ialah garis panduan ISO 14040 dan ISO 14044 (iaitu kaedah Penilaian Kitar

¹ Pusat Pengajian Sains Sekitaran dan Sumber Alam, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Malaysia

² Institut Sains Biologi, Fakulti Sains, Universiti Malaya, 50603 Kuala Lumpur Malaysia

³ Malaysia Life Cycle Assessment (MyLCA) Network

* Corresponding author: Email: ida_mysarah@yahoo.com

Hayat (LCA) (Finkbeiner *et al.* 2006). Menurut Rebitzer *et al.* (2004), setiap produk mempunyai jangka hayat tertentu, bermula daripada merekabentuk produk tersebut, diikuti oleh pengekstrakan sumber, pembuatan, penggunaan dan pada peringkat akhir melibatkan aktiviti seperti pengumpulan, penggunaan semula, kitar semula dan pelupusan. Kesemua aktiviti atau proses yang terlibat akan menyumbang kepada impak alam sekitar berdasarkan penggunaan sumber, pelepasan bahan kimia atau gas-gas pencemar ke udara, air dan tanah.

LCA mula diperkenalkan pada tahun 1960an di Amerika Syarikat (Talve, 2001) oleh Harold Smith yang membentangkan kajiannya tentang pengiraan tenaga kumulatif yang diperlukan bagi penghasilan produk kimia dalam ‘*World Energy Conference*’ pada tahun 1963 (Curran, 2006). Beberapa tahun kemudian, hasil kajian oleh pemodelan global telah menjangkakan terdapat kesan yang berlaku akibat perubahan terhadap permintaan bekalan bahan mentah dan sumber tenaga yang terhad (Svoboda, 1995). Jangkaan terhadap penyusutan bahan api fosil dan perubahan meteorologi telah mencetuskan perlaksanaan lebih lanjut terhadap pengiraan tenaga dan pemprosesan industri. Pada tahun 1969, Institut Penyelidikan Midwest dan kemudiannya Franklin Associates, telah memulakan kajian terhadap syarikat Coca-Cola untuk menentukan jenis bekas minuman yang mampu memberi kesan kepada alam sekitar di samping mengurangkan permintaan terhadap sumber bahan mentah dan penggunaan tenaga (Svoboda, 1995). Kejayaan kajian ini telah menggalakkan pelbagai sektor industri dalam mengembangkan konsep LCIA yang diumpamakan seperti buaian ke kuburan (*cradle to grave*) atau dari awal hingga ke akhir hayat produk (Lamprecht, 1997).

Menurut Seo dan Kulay (2006), sebanyak 15 kajian analisis profil sumber dan alam sekitar (REPA) telah dibuat di antara tahun 1970 sehingga 1975 terutamanya semasa berlakunya krisis minyak pada tahun 1973. Pada akhir tahun 1970an dan awal tahun 1980an, kebimbangan terhadap alam sekitar lebih tertumpu kepada isu pengurusan sisa berbahaya dan kajian REPA dilakukan untuk menganalisis masalah tersebut. Kebanyakan negara Eropah pada awal tahun 1980an telah melakukan pelbagai penilaian terhadap produk mereka yang berpotensi mencemarkan persekitaran melalui pembuatan bekas minuman seperti botol susu dan botol bir (Kulkarni & Ramachandra, 2006). Menjelang tahun 1990an, LCA semakin mendapat tempat di kalangan kumpulan kerajaan, industri dan akademik. LCA kini lebih memberi tumpuan kepada kesan alam sekitar dan kesan kesihatan daripada keseluruhan kitar hayat sesebuah produk daripada proses pengekstrakan, pemprosesan, penggunaan dan pelupusan (Chowdhury & Apul, 2007).

2.0 LCA SEBAGAI ALAT PENGURUSAN ALAM SEKITAR

LCA adalah sebuah analisis sistematik dalam mengenal pasti dan menilai impak alam sekitar daripada keseluruhan kitar hayat dari segi penggunaan, pemprosesan dan pelupusan produk tersebut yang mampu menyumbang kepada perubahan iklim, penipisan lapisan ozon, pembentukan asbut, eutrofikasi, asidifikasi, bebanan toksikologi terhadap kesihatan manusia dan ekosistem, pengurangan sumber semulajadi, penggunaan air dan tanah serta kesan hingar dan lain-lain (Rebitzer *et al.* 2004; Chowdhury & Apul, 2007). Menurut Azapagic (1999), Persatuan Toksikologi dan Kimia Sekitaran (SETAC) mendefinisikan LCA sebagai:

‘proses untuk menilai kerosakan alam sekitar akibat gabungan produk, proses atau aktiviti dengan mengenal pasti dan menjumlahkan sumber tenaga dan penggunaan bahan dan pembebasan sisa ke persekitaran, untuk menilai kesan kesemua yang diakibatkan oleh tenaga, penggunaan bahan, pembebasan sisa, dan untuk mengenal pasti dan menilai peluang untuk meningkatkan kesan alam sekitar. Penilaian melibatkan keseluruhan kitar hayat sesebuah produk, proses, merangkumi cari gali bahan, pemerolehan bahan mentah, pembuatan, pengangkutan, pengagihan, penggunaan, penggunaan semula, kitar semula, penyelenggaraan, pelupusan.’

2.1 Tujuan LCA

Fokus utama LCA ialah menentukan kesan alam sekitar daripada pelbagai peringkat dalam sebuah kitar penghasilan produk. Menurut Sumiani (2006), fungsi LCA adalah membekalkan pengukuran kuantitatif impak alam sekitar daripada pelbagai peringkat dan proses dalam kitar hayat sesebuah produk. Menurut Awang *et al.* (1999), LCA membekalkan beberapa perkara seperti berikut:

- Membekalkan maklumat yang komprehensif pada keseluruhan sistem seperti bahan mentah, penggunaan tenaga dan beban pelepasan untuk analisis selanjutnya
- Memberi gambaran sebenar tentang keseluruhan proses di mana pengurangan keperluan sumber dan pelepasan boleh diselesaikan
- Merupakan sebuah perbandingan sistem kemasukan dan pengeluaran dengan menggabungkan produk, pemprosesan dan aktiviti
- Sebagai panduan dalam pembangunan produk baru, pemprosesan dan aktiviti ke arah pengurangan penggunaan bahan mentah dan pelepasan
- Membantu dalam mengenal pasti keperluan di dalam LCIA

2.2 Kepentingan LCA

LCA cuba untuk menonjolkan isu alam sekitar pada skala yang besar kerana bersifat menyeluruh (Ortiz, 2006). Penekanan terhadap sistem pengurusan alam sekitar telah meningkatkan pengeluaran produk mengikut piawaian alam sekitar. Kesannya, banyak syarikat mengamalkan sistem pengurusan alam sekitar untuk mencapai pembangunan lestari. Menurut Awang *et al.* (1999), LCA mempunyai beberapa kepentingan iaitu:

- LCA adalah kaedah yang sistematik dalam mengenal pasti aspek sekitaran sistem produk untuk menentukan kawasan yang memerlukan penambahbaikan dan menonjolkan potensi kebolehgantian.
- LCA berperanan sebagai modul perakaunan yang terbaik. Dalam keadaan ekonomi yang kurang baik, syarikat-syarikat melihat faktor kejayaan sesebuah produk bukan sahaja dari segi perkhidmatan, kualiti dan kos tetapi turut menitikberatkan elemen mesra alam.
- LCA diperlukan di dalam penggabungan beberapa kos seperti kos bahan mentah untuk menghasilkan produk, kos penambahbaikan dan kos timbal balik (pelepasan ke udara, air dan tanah serta pelupusan produk) di antara impak alam sekitar
- LCA dapat mengawal pencemaran alam sekitar dengan menggunakan pendekatan mencegah lebih baik daripada mengubati dalam usaha meningkatkan ekonomi negara dan kualiti alam sekitar.

2.3 Keterbatasan LCA

LCA menawarkan pendekatan yang rasional dan komprehensif untuk menilai alam sekitar daripada sistem produk. Walau bagaimanapun, setiap fasa di dalam LCA mengalami masalah yang dapat mengurangkan ketepatan dan ketidakpastian keputusan yang dinilai (Jadual 1).

Dalam fasa definisi tujuan dan skop kajian, masalah yang timbul adalah memutuskan sama ada perlu memasukkan (*inclusion*) atau menyingkirkan (*exclusion*) input-output, proses dan fasa kitar hayat dalam sempadan sistem. Dalam mendefinisikan unit berfungsi, fungsi yang diambil kira dan pengiraan fungsi secara kuantitatif perlu ditetapkan. Pemilihan sempadan sistem memerlukan proses pemasukan dan penyingiran. Manakala penyingiran impak sosial dan ekonomi pula membuatkan LCA menjadi alat yang tidak komprehensif (Reap *et al.* 2008a).

Dalam fasa LCI masalah adalah melibatkan aliran dan transformasi bahan. Masalah peruntukan (*allocation*) terhasil daripada keperluan untuk menghubungkan secara tepat proses pelbagai fungsi atau masalah. Bagi kriteria pengabaian penyumbang (*cut-*

Jadual 1 Masalah LCA mengikut fasa

Fasa	Masalah
Definisi tujuan dan skop	<ul style="list-style-type: none"> • Mendefinisikan unit berfungsi • Pemilihan sempadan • Impak sosial dan ekonomi
Analisis inventori kitar hayat (LCI)	<ul style="list-style-type: none"> • Peruntukan (<i>allocation</i>) • Kriteria pengabaian penyumbang (<i>cut-off</i>) • Keunikan teknikal tempatan
Penilaian impak kitar hayat (LCIA)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan impak kategori dan metodologi • Perubahan ruang (<i>spatial variation</i>) • Keunikan teknologi tempatan • Sekitaran yang dinamik • Masa horizon
Intepretasi kitar hayat	<ul style="list-style-type: none"> • Pemberatan dan penilaian • Ketidakpastian
Semua	<ul style="list-style-type: none"> • Ketersediaan dan kualiti data

Sumber: Reap *et al.* 2008a

off), masalah timbul semasa mengenal pasti dan mengabaikan sumber dan sisa yang tidak signifikan. Keunikan teknikal tempatan menjadi masalah apabila data purata atau data generik atau model yang digunakan untuk mewakili proses-proses yang signifikan adalah berbeza daripada kebiasaannya (Reap *et al.* 2008a).

Pembatasan LCA turut berlaku terhadap data sedia ada (Awang *et al.* 1999). Ini adalah kerana pangkalan data yang dibangunkan di pelbagai negara mempunyai data-data sedia ada yang lama, tidak boleh dibanding dan tidak pasti tahap kualitinya. Maka, LCA terpaksa bergantung kepada data sekunder yang diperolehi daripada kajian terdahulu. Perbandingan di antara kajian terkini dan terdahulu mempunyai kecenderungan untuk mengurangkan kredibiliti datanya (Kulkarni & Ramachandra, 2006).

Dalam fasa LCIA, masalah wujud semasa proses hubungkait di antara beban yang sebenar dengan impak sebenar pada masa dan tempat yang betul. Masalah ini melibatkan pemilihan kategori impak, perubahan ruang (*spatial variation*), keunikan teknologi tempatan, sekitar yang dinamik dan masa horizon (Reap *et al.* 2008b). Tambahan pula, LCA tidak membekalkan kerangka yang lengkap dalam penilaian risiko tanpa menjangkakan impak sebenar berdasarkan operasi yang dijalankan di kawasan spesifik (Ortiz, 2006).

Masalah dalam fasa interpretasi merujuk kepada objektif, definisi, matlamat penambahbaikan, cadangan tindakan (seperti strategi, usaha utama atau pilihan pelan) atau menentukan objektif kajian LCA sama ada secara penuh atau tidak. Fasa interpretasi lebih membincangkan perspektif membuat keputusan berbanding analisis kuantitatif (Reap *et al.* 2008b).

2.4 Aplikasi LCA

LCA digunakan secara meluas oleh sektor kerajaan, swasta dan NGO untuk menyokong keputusan yang dibuat dalam pembentukan produk dan reka bentuk, pengurusan alam sekitar, ekopelabelan, pengauditan dan penyediaan laporan, pengurusan sumber, perancangan industri dan pembangunan polisi alam sekitar (Krozer & Vis, 1998). Beberapa organisasi alam sekitar di seluruh dunia turut mengamalkan LCA untuk aktiviti pelabelan dan penilaian produk seperti *Blue Angel* (Jerman), *Eco Mark* (Jepun), *Environmental Choice Program* (Canada), *The Thai Green Label Scheme*, *European Flower* dan *Nordic Swan* (SIRIM, 2007). Jadual 2 menunjukkan aplikasi LCA berdasarkan pelbagai penggunaannya seperti yang dicadangkan oleh Wenzel *et al.* (1997).

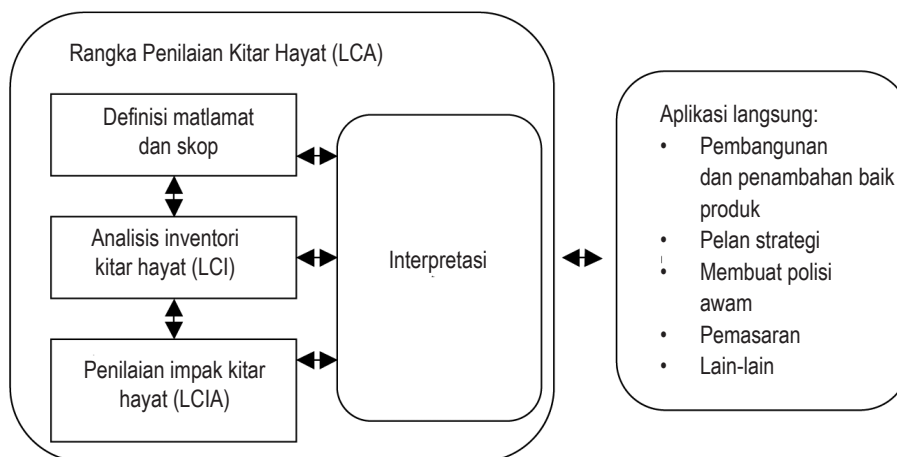
Jadual 2 Aplikasi LCA mengikut jenis-jenis pengguna

Pengguna LCA	Aplikasi	Contoh
Kerajaan	Pelan tindakan komuniti	<ul style="list-style-type: none"> • Insinerator <i>vs</i> kitar semula • Sistem pengangkutan awam
	Kesedaran alam sekitar di kalangan orang awam	<ul style="list-style-type: none"> • Kereta • Kelengkapan pejabat
	Maklumat pengguna	<ul style="list-style-type: none"> • Ekopelabelan dan piawaian
Syarikat	Fokus kepada pembangunan alam sekitar	<ul style="list-style-type: none"> • Pengenalpastian kawasan untuk dimajukan • Polisi alam sekitar berorientasikan produk • Pengurusan alam sekitar
	Pilihan reka bentuk	<ul style="list-style-type: none"> • Pemilihan konsep • Pemilihan komponen • Pemilihan proses
	Dokumentasi alam sekitar	<ul style="list-style-type: none"> • Pensijilan ISO 14000 • Ekopelabelan

Sumber: Wenzel *et al.* 1997

3.0 METODOLOGI LCA

Menurut Tan *et al.* (2004), LCA berkembang secara perlahan-lahan menjadi sebuah kerangka yang sangat teguh dengan mengandungi beberapa fasa, iaitu definisi matlamat dan skop, analisis inventori kitar hayat (LCI), penilaian impak kitar hayat (LCIA) dan interpretasi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.

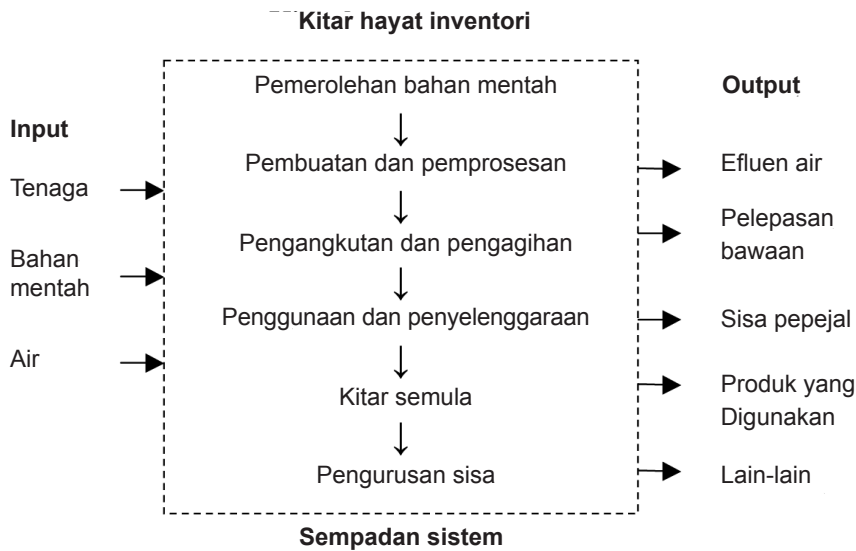


Rajah 1 Kerangka Penilaian Kitar Hayat (LCA)

Sumber: ISO 14040:2000 (2005)

3.1 Definisi Matlamat dan Skop (*Goal and Scope Definition*)

Dalam mendefinisikan skop, beberapa elemen perlu dijelaskan seperti sistem berfungsi, unit berfungsi, sempadan sistem, prosedur peruntukan (*allocation*), jenis impak, kaedah penilaian impak dan interpretasi yang digunakan, data, jangkaan, batasan, jenis tinjauan kritikal dan format laporan (Kulkarni & Ramachandra, 2006). Unit berfungsi berperanan sebagai unit rujukan kajian LCA. Ia turut berperanan sebagai titik rujukan apabila melibatkan perbandingan antara dua atau lebih produk termasuklah penambahbaikan sesebuah produk. Kesemua data yang dikumpulkan di dalam fasa LCI adalah berkaitan dengan unit berfungsi. Tiga perkara yang perlu diambil kira dalam mendefinisikan unit berfungsi adalah kecekapan, ketahanan dan piawaian prestasi bahan (Kulkarni & Ramachandra, 2006). Sempadan sistem didefinisikan sebagai penetapan had proses-proses (pembuatan, pengangkutan dan pengurusan sisa) dan input serta output yang terlibat dan perlu diambil kira di dalam LCA (Rajah 2). Menurut Azapagic dan Clift (1999), sempadan sistem dibuat bagi memastikan tiada bahagian sistem yang tertinggal.



Rajah 2 Definisi sempadan sistem untuk kitar hayat inventori
Sumber: Awang et al. 1999

3.2 Inventori Kitar Hayat (*Life Cycle Inventory*)

Analisis inventori melibatkan pengumpulan data dan prosedur pengiraan untuk menyatakan kuantiti kemasukan dan pengeluaran dalam sesebuah sistem produk (Azapagic dan Clift, 1999). Ini termasuklah penggunaan tenaga dan bahan mentah, pembebasan ke udara, air dan tanah pada keseluruhan kitar hayat sesuatu produk atau proses. Data-data ini merupakan input yang digunakan dalam penilaian impak alam sekitar (LCIA).

3.3 Penilaian Impak Kitar Hayat (*Life Cycle Impact Assessment*)

Penilaian impak digunakan untuk mengenal pasti potensi kesan alam sekitar yang signifikan dengan menggunakan keputusan yang diperolehi daripada analisis inventori kitar hayat (LCI) (Jadual 3). LCIA sangat berbeza dengan teknik-teknik yang lain seperti penilaian impak alam sekitar (EIA) dan penilaian risiko kerana pendekatannya menggunakan unit berfungsi. LCIA terdiri daripada empat elemen, iaitu pencirian (*characterization*), pengkelasan (*classification*), pernormalan (*normalization*) dan pemberatan (*weighting*) tetapi pernormalan dan pemberatan adalah elemen pilihan (*optional*) (Koroneos et al. 2005).

Jadual 3 Contoh-contoh pengkelasan dan pencirian dalam elemen inventori

Inventori	Pengkelasan	Pencirian Kg-eq/kg
Karbon dioksida (CO ₂), Metana (CH ₄), Klorofluorokarbon -11 (CFC-11), Nitrogen dioksida (NO ₂)	Pemanasan global	CO ₂
Nitrus oksida (N ₂ O), Asid nitrik (NH ₃), Sulfur dioksida (SO ₂), Asid hidroklorik (HCl)	Asidifikasi	SO ₂
COD, Sebatian nitrogen, Ammonium (NH ₄ ⁺), Nitrat (NO ₃ ⁻)	Eutrofikasi	PO ₄
Karbon monoksida (CO), Metana (CH ₄), Sulfur dioksida (SO ₂), Asetaldehid	Pengoksidaan fotokimia atau asbut	C ₂ H ₄
Klorin (Cl ₂), Halon, CFC-114, CFC-11	Penipisan ozon	CFC-11
Arang batu, Minyak mentah, Bauksit (Al ₂ O ₃), Sulfur (S)	Kemerosotan sumber biotik dan abiotik	1/tahun

Sumber: Lee 2005

3.4 Interpretasi LCA

Interpretasi kitar hayat merupakan fasa terakhir dalam prosedur LCA. Ia merupakan prosedur sistematik dalam mengenal pasti, menyemak dan menilai jangkaan dan kualiti data yang diperolehi daripada LCI ataupun LCIA terhadap sesebuah sistem produk (Ortiz, 2006). Keputusan yang diperolehi digunakan untuk mengurangkan impak alam sekitar daripada produk dan pemrosesan (Azapagic & Clift, 1999).

4.0 KESIMPULAN

LCA menjadi bahagian terpenting dalam sesebuah organisasi sebagai pemacu kepada objektif pembangunan lestari. LCA adalah alat untuk menilai, membanding dan menambahbaik produk dan perkhidmatan terhadap potensi impak alam sekitar. Kertas kerja ini membekalkan tinjauan menyeluruh tentang Penilaian Kitar Hayat (LCA), aplikasi, kelebihan dan keterbatasan LCA. Meskipun begitu, LCA mampu membekalkan maklumat yang relatif dan tepat untuk diaplikasikan ke dalam pengurusan alam sekitar.

PENGHARGAAN

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

RUJUKAN

- [1] Azapagic, A. 1999. Life Cycle Assessment and Its Application to Process Selection, Design and Optimization. *Chemical Engineering Journal*. 73: 1–21.
- [2] Azapagic, A. & R. Clift. 1999. Allocation of Environmental Burdens in Multiple-function Systems. *Journal of Cleaner Production*. 7: 101–119.
- [3] Awang, M., M. N. Hassan, and Z. Zakaria. 1999. Life-cycle Assessment. In: *Environmental Management Standards: ISO 14000 – Towards a Sustainable Future*. Eds. Awang, M., Hassan, M. N, Zakaria, Z., Badri, K., Chong, T.L.L, Sulaiman, N., Yusoff, K. Universiti Putra Press, Serdang. 157–186.
- [4] Curran, M. A. 2006. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. <http://www.epa.gov/NRMRL/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf> [6 Febuari 2008].
- [5] Chowdhury, R. & D. Apul. 2007. A Comparative Environmental Analysis of Embankments Constructed from Conventional Materials and Industrial Byproducts. CTC & Associates LLC Wisconsin, Department of transportation (penyunting). Di dalam Transportation and Global Warming: Defining the Connection and the Solution. Transport Synthesis Report. United state of America.
- [6] Finkbeiner, M., A. Inaba, R. B. H. Tan, K. Christiansen, & H. J. Klüppel. 2006. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11(2): 80–85.
- [7] ISO 14040: 2000. 2005. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principle and Framework. Dlm. SIRIM Berhad (pnyt). *Malaysian Standards Handbook on Environmental Management: MS ISO 14000 Series*. 2nd Ed. Shah Alam: SIRIM Berhad.
- [8] Lamprecht, J. L. 1997. ISO 14000: Issues and Implementation Guidelines for Responsible Environmental Management. United State of America: American Management Association.
- [9] Koroneos, C., A. Dompros, G. Roubas, & N. Moussiopoulos. 2005. Advantages of the Use of Hydrogen Fuel as Compared to Kerosene. *Resources, Conservation and Recycling* 44: 99–113.
- [10] Krozer, J. & J. C. Vis. 1998. How to Get LCA in the Right Direction? *Journal of Cleaner Production*. 6: 53–61.
- [11] Kuhre, W. L. 1998. *ISO 14031 Environmental Performance Evaluation*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- [12] Kulkarni, V. & T. V. Ramachandra. 2006. *Environmental Management*. New Delhi: Capital publishing Company.
- [13] Lee, K. M. 2005. Life Cycle Assessment Eco- learning Module 3 Learning lecture 3.4 Life Cycle Impact Assessment. <http://www.ecolearning.net/moodle/mod/lesson/view.php/12/19/2005>.
- [14] Ortíz, I. M. 2006. Life Cycle Assessment as a Tool for Green Chemistry: Application to Different Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment. Tesis Ph.D. Universitat Autònoma de Barcelona.
- [15] Reap, J., F. Roman, S. Duncan, & B. Bras. 2008a. A Survey of Unresolved Problems in Life Cycle Assessment: Part 1 Goal and Scope and Inventory Analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 13: 290–300.

- [16] 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*.
- [17] 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.
- [18] Rebitzer, G. 2005. Enhancing the Application Efficiency of Life Cycle Assessment for Industrial Uses. Tesis Ph.D. Technische Universitat Berlin.
- [19] 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.
- [20] SIRIM, and UNCTAD/WTO. 2007. *Green Manual Joining The Global League of Green Suppliers*. Kuala Lumpur: SIRIM Berhad and International Trade Centre UNCTAD/WTO.
- [21] Sumiani Yusuff, B. H. Sune, & Nik Ibtishamiah Ibrahim. 2005. The Life Cycle Approach for Strategic Transportation Planning. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Anjuran CAI-Asia Center Queen Sirikit Convention Center, Bangkok, Thailand, 21–24 September.
- [22] Sumiani, Y. 2006. Feasibility of Life Cycle Management for Imported Environmental Management: Case Study on Malaysian Palm Oil industry. Tesis Ph.D. Universiti Malaya.
- [23] Svoboda, S. 1995. Note on Life Cycle Analysis. University of Michigan Corporate Environmental management program (CEMP). National Pollution Prevention Center for Higher Education. University of Michigan.
- [24] Talve, S. 2001. The Life Cycle Assessment Management Tool for Technologies in Eastern Europe: Why and How. *International Journal of Life Cycle Assessment*. 6(3): 181–18.
- [25] Tan, R. R, A. B. Culaba, & M. I. R. Purvis. 2004. POLCAGE 1.0—a Possibilistic Life-cycle Assessment Model for Evaluating Alternative Transportation Fuels. *Environmental Modelling & Software*. 19: 907–918.
- [26] Wenzel, H., M. Hauschild, & L. Alting. 1998. *Environmental Assessment of Products. Volume 1: Methodology, Tools and Case Studies in Product Development*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.