

Pendekatan Pelbagai Kriteria untuk Pemilihan Teknologi Pengurusan Sisa Pepejal Terbaik (Multi-criteria Approach for Selecting the Best Solid Waste Management Technologies)

A.M. LATIFAH*, HASSAN BASRI & NOOR EZLIN AHMAD BASRI

ABSTRAK

Peningkatan aktiviti perbandaran dan perindustrian telah mencetuskan masalah pengurusan sisa pepejal. Sebagai usaha penyelesaian, pendekatan bersepadu telah dipilih bagi menguruskan sisa pepejal. Membangunkan dan melaksanakan rancangan pengurusan sisa pepejal bersepadu perlu melibatkan gabungan teknologi dan pilihan yang sesuai dengan keadaan dan undang-undang tempatan. Kajian ini menunjukkan Proses Analisis Hierarki (PAH) berpotensi sebagai kaedah membuat keputusan yang boleh digunakan dalam proses pemilihan teknologi pengurusan sisa pepejal. Tiga aras hierarki dibangunkan dengan matlamat di aras tertinggi, diikuti oleh kriteria dan alternatif. Dengan menggunakan teknik ini, penentuan keutamaan untuk semua teknologi pengurusan sisa pepejal yang dipertimbangkan akan ditentukan dan teknologi dengan nilai keutamaan tertinggi lebih sesuai untuk dibangunkan. Analisis sensitiviti dilakukan bagi menguji sensitiviti keputusan akhir terhadap perubahan kecil penilaian. Aplikasi PAH dalam menentukan keutamaan proses pemilihan teknologi pengurusan sisa pepejal diperjelaskan dalam kajian ini berdasarkan kepada kajian kes di Majlis Perbandaran Port Dickson. Hasil analisis menunjukkan kombinasi teknologi kitar semula dan pengkomposan sesuai diaplikasikan di daerah Port Dickson.

Kata kunci: Proses analisis hierarki; pengurusan sisa pepejal

ABSTRACT

The growth in urbanization and industrial activities has caused solid waste management problems. As a solution the integrated approach has been chosen to manage the solid waste. Developing and implementing integrated solid waste management involve combined technologies and alternatives which are suitable with local laws condition. This research showed that Analytical Hierarchy Process (AHP) has the potential as a decision making tool that can be used in selecting process of solid waste management technology. Three levels hierarchy was developed with the goal at the top level, followed by criteria and alternatives. By using this technique, the priority of each considered technology will be determined where technology with the highest priority is more suitable to be developed. Sensitivity analysis was carried out to test the sensitivity of final decision towards inconsistency of judgement. Application of AHP to determine priority in selecting solid waste management technology was explained in this research based on a case study in the Port Dickson Municipal Council. Analysis of result showed that the combination of recycling technology and composting are suitable to be applied in the Port Dickson district.

Keywords: Analytical hierarchy process; solid waste management

PENDAHULUAN

Proses Analisis Hierarki (PAH) merupakan teknik membuat keputusan pelbagai kriteria yang dibangunkan oleh Saaty (1980, 1985, 1990, 1991). Nigim et al. (2003) mendefinisikan PAH sebagai teknik menetapkan keutamaan untuk situasi masalah pelbagai kriteria yang kompleks dan tidak dijangkakan. Ini kerana PAH bersifat teguh, kuantitatif, mudah difahami dan berupaya menstrukturkan keputusan agar boleh dijejaki, jelas dan dapat dipertahankan (Saaty 1985).

PAH digunakan secara meluas dalam proses membuat keputusan dan dianggap sebagai teknik Membuat Keputusan Pelbagai Kriteria (MKPK) yang boleh dipercayai (Cho & Kwon 2004; Triantaphylou & Mann 1995). Teknik

PAH terkenal dalam pelbagai bidang penyelidikan kerana kebolehannya mengimbangi kecenderungan penilaian individu berbanding kaedah lain (Eddi & Hang 2001).

Membuat keputusan melibatkan proses penetapan prioriti dan PAH merupakan teknik yang mengaplikasikan prinsip tersebut. Lazimnya prioriti individu memberikan kesan besar dalam penghasilan keputusan. Teknik PAH telah diterima oleh komuniti saintifik antarabangsa sebagai alat membuat keputusan pelbagai kriteria yang teguh dan fleksibel bagi menyelesaikan masalah kompleks (Elkarni & Mustafa 1993). Dengan mengurangkan kekompleksan masalah kepada siri perbandingan berpasangan ringkas, menetapkan kedudukan dan seterusnya mensintesis hasil, PAH bukan sahaja membantu dalam mendapatkan

keputusan terbaik tetapi turut menyediakan alasan rasional untuk keputusan yang dipilih (Bevilacqua et al. 2004).

PAH telahpun digunakan secara meluas bagi membantu proses membuat keputusan. Dua kegunaan utama PAH adalah mendapatkan keutamaan matlamat tertentu terhadap yang lainnya dan memberikan keputusan terbaik daripada julat keputusan berpotensi. PAH telah digunakan dalam pelbagai bidang seperti perkhidmatan maklumat perpustakaan (Gleason 1999), kejuruteraan perisian (Barker et al. 2001), pemuliharaan tenaga (Kablan 2004), pengurusan tanah lembap (Farber 2000) dan pengurusan sumber semulajadi dan sekitaran (Zhu & Dale 2001). Dalam bidang pengurusan sisa pepejal pula, PAH telah diaplikasikan oleh Banai (1993) dan Siddiqui et al. (1996) bagi menentukan lokasi tapak kambusan manakala Chung dan Poon (1996) menggunakannya untuk menilai sistem pengurusan sisa pepejal di Hong Kong.

BAHAN DAN KAEDAH

Majlis Perbandaran Port Dickson (dulunya dikenali sebagai Majlis Daerah Port Dickson) terletak di Negeri Sembilan yang dinaik taraf kepada perbandaran pada 2 Februari 2002 telah dipilih sebagai kawasan kajian. Ia meliputi kawasan seluas 40 km persegi dengan jumlah penduduk sebanyak 106,000 orang. Sisa pepejal yang terjana adalah bercampur pada kadar 70 tan setiap hari dengan aktiviti pelancongan khususnya industri perhotelan merupakan sumber penjana utama.

Pada masa ini, sistem pengumpulan sisa pepejal dilakukan oleh pihak majlis perbandaran (terutamanya di kawasan pantai dan jalan utama) dan pihak swasta yang dilantik. Sisa terkumpul ini seterusnya di hantar ke Bukit Palong (64.7 ekar), Sua Betong (6 ekar) atau Pengkalan Kempas (3 ekar) untuk dilupuskan. Ketiga-tiga tapak pelupusan ini bukan hak milik Majlis Perbandaran Port Dickson tetapi merupakan tanah kerajaan dan rezab tentera. Walau bagaimanapun, ketiga-tiga tapak pelupusan ini sudah hampir penuh dan tapak baru perlu diwujudkan. Untuk memanjangkan jangka hayat tapak kambusan baru, pilihan teknologi pengurusan sedia ada perlu diaplikasikan. Ini kerana pada masa ini tiada sebarang proses rawatan atau perolehan semula dilakukan ke atas sisa pepejal sebelum dihantar untuk dilupuskan.

Pengurusan sisa pepejal merupakan tanggungjawab utama kerajaan tempatan di negara membangun kerana untuk tujuan ini ia membelanjakan hampir daripada 20-50% daripada peruntukan perbandaran (Schubeler et al. 1996). Selain daripada penjana tidak terkawal, faktor kepelbagaian sisa, pembangunan bandar yang berselerak, perubahan teknologi serta sekatan guna tenaga dan bahan mentah turut menambahkan kekompleksan masalah. Oleh itu pendekatan pelbagai kriteria dengan menggunakan teknik PAH telah dipilih untuk membantu proses pemilihan teknologi pengurusan sisa pepejal di daerah Port Dickson. Secara asasnya, PAH terdiri daripada tiga prinsip utama: penghuraian, penilaian berbanding dan sintesis prioriti (Kim 1998; Saaty 1980; Tiwari & Banerjee 2001; Zhu & Dale 2001).

Prinsip penghuraian diaplikasikan apabila matlamat, kriteria, alternatif dan lain-lain elemen permasalahan dikenali pasti dan disusun dalam bentuk hierarki dengan matlamat di aras tertinggi diikuti kriteria, sub-kriteria dan alternatif di aras terendah. Penstrukturan hierarki merupakan aktiviti subjektif yang relatif kerana ia dilakukan berdasarkan kepada pengalaman dan pengetahuan pembuat keputusan terhadap bidang permasalahan. Pembinaan struktur hierarki harus difokuskan kepada kriteria penting bagi pembuat keputusan yang dapat membantunya dalam proses pemilihan (Zhu & Dale 2001). Walaupun kapasiti otak manusia terhad untuk perbandingan serentak, tetapi PAH mampu mengendalikan 5-9 cabang nod hierarki bagi menghasilkan penilaian yang berkesan dan konsisten (Saaty 1980).

Berdasarkan kepada hierarki, prinsip penilaian berbanding akan diaplikasikan bagi menentukan kepentingan relatif semua kriteria (sub kriteria) pada setiap aras hierarki, dan menentukan kecenderungan relatif antara alternatif terhadap setiap sub kriteria (kriteria). Setiap elemen pada satu aras hierarki dibandingkan secara berpasangan terhadap elemen lain di aras atasnya. PAH menggunakan skala lisan bagi menggabungkan subjektiviti, pengalaman dan gerak hati pakar secara semulajadi (Nigim et al. 2003). Pendekatan ini penting bagi menangani faktor ketara dan tidak ketara secara sistematik serta menyediakan struktur penyelesaian yang ringkas terhadap masalah membuat keputusan. Seterusnya penilaian lisan ini ditukarkan kepada nilai berangka dengan menggunakan skala perbandingan berpasangan (Saaty 1980) seperti dalam Jadual 1.

JADUAL 1. Skala perbandingan berpasangan

Nilai berangka	Kecenderungan perbandingan lisan
1	Sama penting
3	Penting sedikit
5	Sangat penting
7	Jelas lebih penting
9	Mutlak lebih penting
2,4,6,8	Nilai perantara

Prinsip sintesis prioriti diaplikasikan setelah kesemua penilaian dan matriks perbandingan berpasangan dilakukan. Hasil sintesis akhir memberikan nilai spesifik untuk prioriti keseluruhan di mana secara tidak langsung menetapkan kedudukan alternatif terhadap matlamat.

Oleh sebab perbandingan berpasangan hanya melibatkan dua unsur tanpa mengambil kira unsur lain dalam aras hierarki yang sama, kemungkinan berlakunya ketidaksejajaran penilaian adalah besar. Ketidaksejajaran yang kecil akan wujud dalam proses penilaian, tetapi peratus yang besar boleh mencacatkan keputusan. Oleh itu, proses perbandingan berpasangan harus dipastikan berada pada julat yang boleh digunakan.

Kesejajaran penilaian ditentukan oleh faktor nilai eigen, λ_{maks} , dan cara pengiraan Indeks Kesejajaran (IK) adalah seperti berikut:

$$IK = (\lambda_{maks} - n) / (n - 1)$$

dengan n adalah saiz matriks. Seterusnya Nisbah Kesejajaran (NK) dikira dengan membandingkan IK terhadap nilai Indeks Rawak (Saaty 1980) seperti dalam Jadual 2. Nilai perbandingan diterima jika NK tidak melebihi 0.10. Jika tidak, proses perbandingan perlu diulangi atau diperbaiki kerana matriks perbandingan tidak sejajar.

JADUAL 2. Purata indeks Rawak (IR)

Saiz matriks (n)	Indeks Rawak (IR)
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

HASIL DAN PERBINCANGAN

Dalam kajian ini, masalah pengurusan sisa pepejal di daerah Port Dickson telah dipecahkan kepada tiga aras hierarki yang terdiri daripada matlamat di aras tertinggi, diikuti dengan kriteria dan alternatif di aras terendah. Pemilihan matlamat, kriteria dan alternatif adalah berdasarkan kepada kajian literatur (buku teks, manual dan penerbitan penyelidikan) serta interaksi bersama pakar. Rajah 1 menunjukkan struktur hierarki untuk permasalahan yang dikaji.

Kepentingan dan prioriti teknologi pengurusan sisa pepejal bergantung kepada pelbagai faktor. Dalam kajian ini, fokus kajian lebih tertumpu kepada pemilihan teknologi pengurusan sisa pepejal (PSP) terbaik bagi memastikan pelaburan yang dilakukan memberikan pulangan optimum.

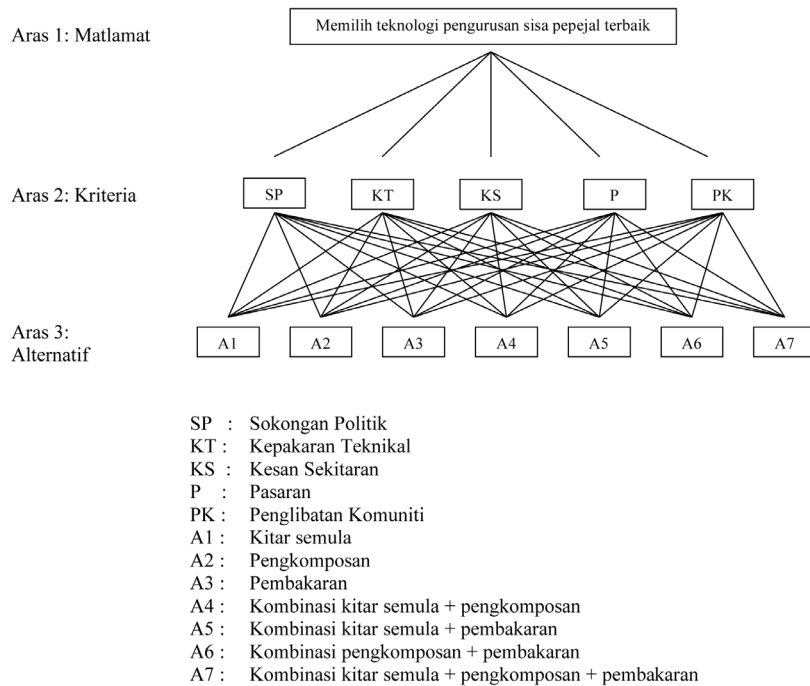
Di antara faktor yang mempengaruhi pemilihan teknologi PSP dan dipilih sebagai kriteria kepada struktur hierarki ialah:

1. Sokongan Politik (SP): teknologi PSP manakah yang kurang memerlukan sokongan politik? Sokongan politik yang kuat penting bagi memastikan teknologi PSP dapat beroperasi untuk tempoh yang lama.
2. Kepakaran Teknikal (KT): teknologi PSP manakah yang kurang memerlukan tenaga kerja mahir? Teknologi pembakaran memerlukan kepakaran teknikal yang lebih tinggi berbanding teknologi kitar semula dan pengkomposan.
3. Kesan Sekitaran (KS): teknologi PSP manakah yang kurang mencemarkan alam sekitar? Teknologi PSP dengan kesan minima terhadap alam sekitar penting agar perlaksanaannya tidak dihentikan.
4. Pasaran (P): teknologi PSP manakah mempunyai pasaran produk akhir yang luas? Pasaran untuk bahan kitar adalah meluas berbanding produk akhir pengkomposan dan pembakaran.
5. Penglibatan Komuniti (PK): teknologi PSP manakah yang kurang memerlukan penglibatan komuniti? Teknologi kitar semula dan pengkomposan memerlukan kerjasama erat komuniti bagi mengasingkan sisa di sumber berbanding pembakaran.

Kitar semula, pengkomposan, pembakaran dan kambusan sanitari merupakan empat pilihan teknologi PSP yang sering digunakan. Walau bagaimanapun, kambusan sanitari tidak dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif kerana ia harus dibangunkan untuk menangani baki sisa yang tidak boleh dirawat yang merangkumi baki sisa tidak boleh dikitar, dikompos atau dibakar. Daripada tiga teknologi PSP tersebut, tujuh pilihan teknologi telah dijadikan sebagai alternatif.

1. Kitar semula (A1)
2. Pengkomposan (A2)
3. Pembakaran (A3)
4. Kitar semula dan pengkomposan (A4)
5. Kitar semula dan pembakaran (A5)
6. Pengkomposan dan pembakaran (A6)
7. Kitar semula, pengkomposan dan pembakaran (A7)

Penilaian matriks perbandingan berpasangan untuk setiap aras hierarki dalam Rajah 1, diperolehi daripada sesi perundingan bersama pakar daripada Majlis Perbandaran Port Dickson. Oleh sebab analisis PAH bukan berasaskan statistik, maka pendapat tunggal sudah mencukupi. Jadual 3 menunjukkan matriks perbandingan berpasangan di antara kriteria berbeza bagi aras 2 hierarki dalam Rajah 1 terhadap matlamat kajian. Apabila satu kriteria dibandingkan terhadap dirinya, ia memberikan pemberat yang sama. Ini menyebabkan unsur diagonal matriks sentiasa bersamaan 1. Sebagai contoh, jika kriteria 1 (Sokongan Politik) dipertimbangkan sangat penting daripada kriteria 2 (Kepakaran Teknikal), maka nilai kemasukan matriksnya adalah 5. Nilai kemasukan di atas



RAJAH 1. Struktur hierarki untuk pemilihan teknologi pengurusan sisa pepejal

diagonal adalah terbalikan kepada nilai kemasukan di bawah diagonal. Oleh itu nilai perbandingan di bahagian bawah diagonal yang penting dan perlu diisi.

Vektor prioriti tempatan dikira untuk matriks penilaian dalam Jadual 3 dengan menormalkan vektor setiap kolom (membahagikan vektor setiap kolom terhadap total kolom) dan mendapatkan purata setiap baris seperti dalam Jadual 4 (Saaty 1980). Hasil analisis memberikan vektor prioriti tempatan seperti berikut: 0.315, 0.420, 0.127, 0.100, 0.038.

JADUAL 3. Perbandingan berpasangan kriteria terhadap matlamat

	SP	KT	KS	P	PK
SP	1	1/1	3	3	7
KT	1	1	7	5	7
KS	1/3	1/7	1	1/1	7
P	1/3	1/5	1	1	3
PK	1/7	1/7	1/7	1/3	1

JADUAL 4. Vektor prioriti penilaians

	SP	KT	KS	P	PK	Vektor prioriti
SP	0.414	0.590	0.361	0.353	0.188	0.315
KT	0.138	0.197	0.361	0.265	0.250	0.420
KS	0.207	0.098	0.181	0.265	0.312	0.127
P	0.103	0.066	0.060	0.088	0.188	0.100
PK	0.138	0.049	0.036	0.029	0.062	0.038

Nisbah kesejajaran untuk semua nilai perbandingan berpasangan diuji dan dipastikannilai adalah kurang daripada 0.1. Proses ini amat penting untuk memastikan nilai perbandingan yang diberikan oleh pakar tidak condong kepada mana-mana teknologi pengurusan sisa pepejal yang dijadikan sebagai pilihan dalam struktur hierarki.

Matriks perbandingan berpasangan alternatif di aras 3 hierarki terhadap kriteria di aras atasnya ditunjukkan dalam Jadual 5-9. Vektor prioriti tempatan dan nisbah kesejajaran setiap matriks dikira dan ditunjukkan dalam setiap jadual.

Sintesis penilaian perlu dilakukan setelah perbandingan berpasangan selesai. Prioriti alternatif ditentukan dengan mengagregasikan pemberatnya ke dalam struktur hierarki. Prioriti alternatif pada aras terendah hierarki dikira dengan mendarabkan prioriti tempatan alternatif terhadap prioriti tempatan kriteria. Hasil analisis keutamaan menyenaraikan A4 (16.5%) sebagai pilihan teknologi pengurusan sisa pepejal terbaik diikuti dengan A7 (15.9%), A6 (15.3%), A5 (14.4%), A1 (12.9%), A2 (12.8%), dan A3 (12.2%). Teknologi pengurusan sisa pepejal A4 (kombinasi teknologi kitar semula dan pengkomposan) mendapat prioriti tertinggi (16.5%) kerana ia memberikan banyak kelebihan terhadap kriteria yang dipertimbangkan.

KESIMPULAN

Proses menentukan keutamaan pelbagai teknologi pengurusan sisa pepejal adalah masalah membuat keputusan pelbagai kriteria yang melibatkan penilaian subjektif. PAH boleh digunakan untuk menyokong

JADUAL 5. Perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria sokongan politik

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Vektor prioriti
A1	1							0.040
A2	2	1						0.069
A3	3	2	1					0.140
A4	3	2	1/2	1				0.094
A5	5	3	1	2	1			0.178
A6	5	3	2	3	1	1		0.228
A7	5	3	2	3	2	1	1	0.252

$$\lambda_{\text{maks}} = 7.12 \text{ CI} = 0.06 \text{ RI} = 1.32 \text{ CR} = 0.05$$

JADUAL 6. Perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria kepakaran teknikal

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Vektor prioriti
A1	1							0.160
A2	1	1						0.142
A3	1/2	1	1					0.131
A4	1	1	1	1				0.142
A5	1	1	1	1	1			0.142
A6	1	1	1	1	1	1		0.142
A7	1	1	1	1	1	1	1	0.142

$$\lambda_{\text{maks}} = 7.05 \text{ CI} = 0.03 \text{ RI} = 1.32 \text{ CR} = 0.02$$

JADUAL 7. Perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria kesan sekitaran

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Vektor prioriti
A1	1							0.192
A2	1	1						0.166
A3	1/5	1/3	1					0.039
A4	3	2	9	1				0.359
A5	1/3	1/2	3	1/3	1			0.115
A6	1/3	1/2	2	1/5	1/3	1		0.066
A7	1/3	1/3	2	1/5	1/2	1	1	0.064

$$\lambda_{\text{maks}} = 7.19 \text{ CI} = 0.09 \text{ RI} = 1.32 \text{ CR} = 0.07$$

JADUAL 8. Perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria pasaran

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Vektor prioriti
A1	1							0.212
A2	1	1						0.208
A3	1/3	1/3	1					0.077
A4	2	1	3	1				0.257
A5	1/3	1/3	1	1/3	1			0.088
A6	1/3	1/2	1	1/3	1	1		0.082
A7	1/3	1/2	1	1/3	1/2	1	1	0.076

$$\lambda_{\text{maks}} = 7.14 \text{ CI} = 0.07 \text{ RI} = 1.32 \text{ CR} = 0.05$$

JADUAL 9. Perbandingan berpasangan alternatif terhadap kriteria penglibatan komuniti

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Vektor prioriti
A1	1							0.107
A2	1	1						0.139
A3	3	1	1					0.268
A4	1	1	1/3	1				0.115
A5	1	1	1/2	1	1			0.121
A6	2	1	1/3	1	1	1		0.129
A7	1	1	1/2	1	1	1	1	0.121

$$\lambda_{\text{maks}} = 7.17 \text{ CI} = 0.08 \text{ RI} = 1.32 \text{ CR} = 0.06$$

keputusan dengan masalah kompleks disusun kepada struktur hierarki yang terdiri daripada matlamat, kriteria dan alternatif.

Aplikasi PAH dalam menentukan keutamaan proses pemilihan teknologi pengurusan sisa pepejal diperjelaskan dalam kajian ini berdasarkan kepada kajian kes di Majlis Perbandaran Port Dickson. Hasil analisis menunjukkan kombinasi teknologi kitar semula dan pengkomposan sesuai diaplikasikan di daerah Port Dickson.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan ditujukan kepada National Science Fellowship (NSF) kerana membiaya pengajian, dan Majlis Perbandaran Port Dickson di atas kerjasama yang diberikan.

RUJUKAN

- Banai, R. 1993. Fuzziness in geographical information systems: contributions from the analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information System* 7(4): 315-329.
- Barker, S., Shepperd, M. & Aylett, M. 2001. The analytic hierarchy process and data-less prediction. 1 - 9. (atas talian) <http://citiseer.nj.nec.com/60714.html> (14 Mac 2003).
- Bevilacqua, M., D'Amore, A. & Polonara, F. 2004. A multi-criteria decision approach to choosing the optimal blanching-freezing system. *Journal of Food Engineering* 63: 253-263.
- Cho, K.T. & Kwon, C.S. 2004. Hierarchies with dependence of technological alternatives: A cross-impact hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 156: 420-432.
- Chung, S.S. & Poon, C.S. 1996. Evaluating waste management alternatives by the multiple criteria approach. *Resources, Conversation and Recycling* 17: 189-210.
- Eddi, W.L. & Hang, L. 2001. Analytic hierarchy process, an approach to determine measures for business performance. *Measuring Business Performance* 5(3): 30-36.
- Elkarni, F. & Mustafa, I. 1993. Increasing the utilization of solar energy technologies (SET) in Jordan. *Energy Policy* 21: 978-984.
- Farber, S. 2000. Welfare-based ecosystem management: An investigation of trade-offs. *Environmental Science and Policy* 3: 491-498.
- Gleason, J.M. 1999. An analytic hierarchy process framework for technology acquisition decisions related to library information services. *Proceedings of the 4th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*. San Antonio, Texas.
- Kablan, M.M. 2004. Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach. *Energy Policy* 32: 1151-1158.
- Kim, J. 1998. Hierarchical structure of intranet functions and their relative importance: using the analytic hierarchy process for virtual organization. *Decision Support Systems* 23: 59-74.
- Nigim, K.A., Suryanarayanan, S., Gorur, R. & Farmer, R.G. 2003. The application of analytical hierarchy process to analyze the impact of hidden failures in special protection schemes. *Electric Power Systems Research* 67: 191-196.
- Saaty, T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill Inc.
- Saaty, T.L. 1985. *Decision Making for Leaders*. Belmont, California: Life Time Learning Publication.
- Saaty, T.L. 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 48: 9-26.
- Saaty, T.L. 1991. *Analytical Planning: The Organization of Systems*. Pittsburg, USA: RWS Publication.
- Saaty, T.L. 1995. *Decision Making for Leaders – The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. Pittsburgh, USA: RWS Publications.
- Schubeler, P., Wehrle, K. & Christen, J. 1996. *Conceptual Framework for Municipal Solid Waste Management in Low-income Countries*. Working Paper Number 9. Nairobi, Kenya: UNDP/UNCHS/WORLD BANK-UMP.
- Siddiqui, M.Z., Everett, J.W. & Vieux, B.E. 1996. Landfill siting using geographic information system: A demonstration. *Journal of Environmental Engineering* 122(6): 515 – 523.
- Tiwari, M.K. & Banerjee, R. 2001. A decision support system for the selection of a casting process using analytic hierarchy process. *Production Planning and Control* 12(7): 689-694.
- Triantaphylou, E. & Mann, S.H. 1995. Using analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges. *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practices* 2(1): 35-44.
- Zhu, X. & Dale, A.P. 2001. JavaPAH: a web-based decision analysis tool for natural resource and environmental management. *Environmental Modelling and Software* 16: 251-262.

A.M. Latifah
Jabatan Sains Alam Sekitar
Fakulti Pengajian Alam Sekitar
Universiti Putra Malaysia
43400 UPM Serdang, Selangor D. E.
Malaysia

Hassan Basri & Noor Ezlin Ahmad Basri
Jabatan Kejuruteraan Awam dan Struktur
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor D. E.
Malaysia

*Pengarang untuk surat menyurat; email: latifah@env.upm.edu.my

Diserahkan: 8 Mei 2009
Diterima : 9 November 2009