

PERLUASAN PROSES HIERARKI ANALISIS KABUR UNTUK KEPUTUSAN MULTI-KRITERIUM

(Fuzzy Analytic Hierarchy Process-Extension for Multi-Criteria Decision)

ZAMALI TARMUDI¹ & ABU OSMAN MD TAP²

ABSTRAK

Dalam makalah ini dibincangkan kaedah perluasan proses hierarki analisis yang diterapkan dalam teori set kabur bagi tujuan menyelesaikan masalah pembuat keputusan multi-kriterium. Kaedah ini digunakan untuk mengatasi masalah kekaburan data masukan awal menggunakan pendekatan darjah keahlian. Kelebihan ini digunakan melalui penggunaan contoh andaian dalam pemilihan sistem pelupusan sisa perbandaran. Hasil pengiraan menunjukkan penggunaannya mudah dan mampu meminimumkan data masukan yang bersifat kualitatif, sekali gus dapat menangani masalah pembuat keputusan multi-kriterium dengan lebih berkesan. Di samping itu, pendekatan ini juga dilihat dapat memberi kaedah alternatif untuk menyelesaikan masalah pembuat keputusan multi-kriterium.

Kata kunci: Pembuat keputusan multi-kriterium; perluasan proses hierarki analisis (PHA); set kabur

ABSTRACT

This paper discusses an extension of analytic hierarchy process which is adopted in fuzzy set theory for multi-criteria decision-making purposes. This method is utilised to overcome the fuzziness problem of the initial input data-sets using the concept of membership degree. The advantage of the proposed approach is applied in the hypothetical example of municipal solid waste decision-making problems. Based on the result, it shows that the approach is user friendly, able to minimise the initial input data-sets and very efficient in terms of problem solving approach. Besides that, it is beneficial as an alternative approach for solving multi-criteria decision-making problem.

Keywords: Multi-criteria decision-making; analytic hierarchy process-extension; fuzzy sets

1. Pendahuluan

Dalam proses untuk mendapat keputusan yang tepat, kebanyakan masalah melibatkan pertimbangan multi-faktor yang bersifat kualitatif. Realitinya dalam proses penilaian, banyak faktor kualitatif tidak dapat diformulasi secara berkesan yang mengakibatkan keputusan menjadi kurang tepat malah tidak selari dengan kehendak organisasi. Berdasarkan kajian lepas, masalah berkaitan pembuat keputusan multi-kriterium (PKMK) telah banyak dibincangkan secara meluas (lihat dalam Kuo dan Liang 2012; Tseng 2011; William *et al.* 2010). Masalah utamanya adalah berkisar kepada dua perkara iaitu,

- i. bagaimana untuk meminimumkan faktor kualitatif dalam proses penilaian bagi tujuan mendapat keputusan yang lebih tepat, dan
- ii. bagaimana untuk mendapat penyelesaian yang optimum sedangkan faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam sesuatu masa lebih daripada satu (i.i., multi-kriterium).

Berdasarkan dua masalah di atas, ramai penyelidik telah memperkenalkan pelbagai kaedah, umpamanya TOPSIS (Hwang & Yoon 1981) dan kaedah analisis hubungan samar

(*gray related analysis*) oleh Zhang *et al.* (2005). Namun PHA tajaan Saaty (1980) dilihat sebagai kaedah yang paling mendapat tempat dalam kalangan penyelidik sejak diperkenalkan. Seterusnya proses hierarki analisis (PHA) kabur diperkenalkan oleh Van Laarhoven dan Pedrycz (1983) hasil penerapan teori set kabur yang menggunakan nombor kabur segi tiga. Buckley (1985) juga memperkenalkan PHA kabur tetapi memanfaatkan nombor kabur trapezium selain kaedah proses analisis rangkaian (ANP) tajaan Saaty (1996). Sementara dalam tahun yang sama juga diperkenalkan perluasan analisis menggunakan nilai perluasan sintetik tajaan Chang (1996). Kajian diteruskan dengan cadangan kaedah VAHP dan gabungan susunan Noguchi *et al.* (2002), selain kaedah reka bentuk aksiomatik (Suh, 1990) dan diperbaiki dengan memasukan unsur kabur seperti dicadangkan oleh Kulak *et al.* 2005; Kulak dan Kahraman (2005). Banyak kaedah lain seperti pengaturcaraan linear gol, teori multi-atribut utiliti, sistem markah merit juga ada dicadangkan. Meskipun setiap kaedah yang diperkenal mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing, namun yang lebih penting ialah kesemua kaedah mempunyai matlamat yang sama. Umpamanya, kaedah perluasan PHA kabur menggunakan nilai perluasan sintetik (Chang 1996) dilihat amat sesuai untuk menangani kekaburan dalam proses membuat keputusan. Di samping itu, ia boleh mengurangkan kerumitan dan ketidakbolehppercayaan proses perbandingan utiliti kabur agar penyelesaian dapat dibuat dengan lebih berkesan (Chang & Kumar 2007).

Tujuan makalah ini ialah untuk membincangkan pendekatan serta penggunaan perluasan PHA kabur sebagai satu kaedah alternatif yang berkesan untuk menyelesaikan masalah PKMK. Pendekatan gabungan darjah kemungkinan dan nombor kabur segi tiga yang digunakan memberi lebih ruang 'kebebasan' dalam membuat keputusan tanpa menjejaskan ketepatan keputusan akhir. Kelebihan ini dapat ditunjukkan dalam contoh pengiraan berangka berkaitan masalah pemilihan sistem pelupusan sisa pepejal perbandaran. Makalah ini membincangkan mengikut urutan berikut: Dimulai dengan pendahuluan di bahagian pertama, diikuti bahagian ke-dua menumpukan perbincangan kaedah penilaian yang digunakan. Sementara bahagian ke-tiga, merupakan kaedah kajian yang menjelaskan teori di sebaliknya serta langkah kaedah perluasan PHA yang digunakan. Bahagian ke-empat pula memberi gambaran lebih jelas melalui contoh penggunaan. Makalah ini diakhiri dengan perbincangan dan rumusan di bahagian ke-lima.

2. Set Kabur

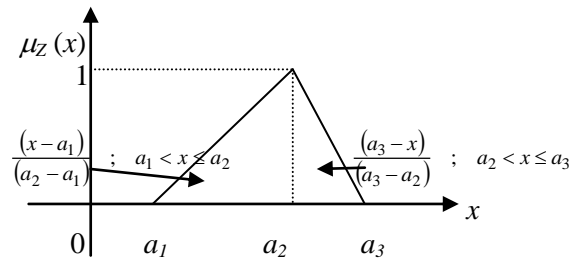
2.1. Pendahuluan

Sejak diperkenalkan oleh Zadeh (1965), teori ini terus berkembang dan mendapat tempat sebagai kaedah yang berkesan untuk mengatasi maklumat yang kurang pasti dan tak lengkap. Realitinya banyak masalah semasa melibatkan pertimbangan faktor yang kurang pasti, kualitatif serta melibatkan penilaian manusia yang kurang sempurna. Justeru itu, untuk menangani masalah tersebut, teori set kabur ialah jawapannya yang memberi 'kelonggaran nilai' daripada bentuk nombor kepada bentuk yang boleh dilenturkan seperti nombor kabur. Penerapan teori set kabur dalam sesuatu kaedah dilihat suatu keperluan yang amat signifikan dalam proses membuat keputusan. Justeru, dalam makalah ini kami memanfaatkan nombor kabur segi tiga (NKS) dan operasi aritmetik berkaitan untuk memformulasikan kekaburan sumber maklumat awal dalam proses penilaian.

2.2. Nombor kabur

Nombor kabur merupakan asas aritmetik kabur yang banyak digunakan dalam pelbagai bidang penyelidikan terutamanya bidang sains keputusan. Sumber berkenaan nombor kabur

ini boleh dilihat seperti dalam Zimmermann (1991), Kaufmann dan Gupta (1991) yang banyak membincangkan aritmetik kabur juga merangkumi teori serta penggunaannya. Sementara operasi aritmetik pelbagai nombor kabur boleh diperoleh secara terperinci dalam Zimmermann (1994). Dalam makalah ini, kami memanfaatkan nombor kabur segi tiga (NKS) dan operasi aritmetik berkaitan untuk memformulasikan kekaburan sumber maklumat awal dalam proses penilaian. Secara umumnya jika suatu NKS diwakili oleh $M_1 = (a_1, b_1, c_1)$, maka bentuk dan fungsi keahliannya dapat ditunjukkan seperti Rajah 1 di bawah.



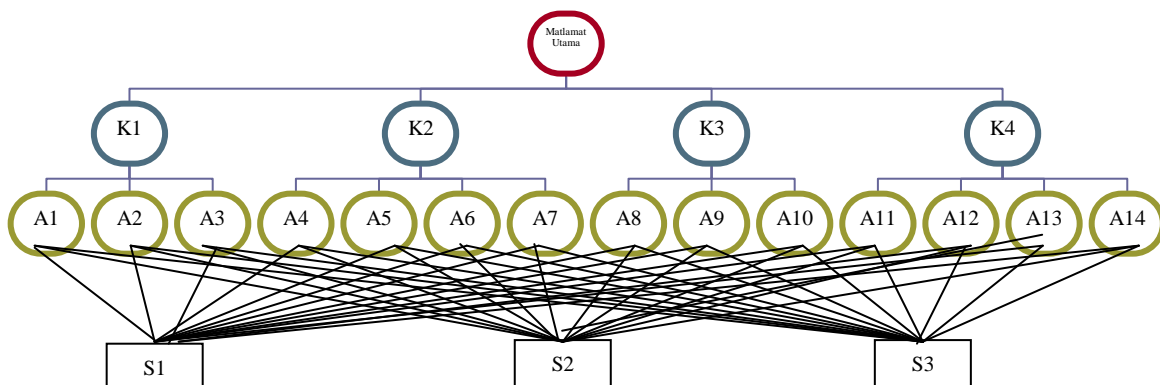
Rajah 1: Nombor kabur segi tiga

2.3. Pendekatan penilaian

Perbandingan berpasangan antara kriterium, sub-kriterium dan alternatif menggunakan skala 1 – 9, dengan menerapkan unsur nombor kabur segi tiga. Kaedah ini dapat menjanjikan keputusan yang lebih diyakini berbanding skala ordinal 1 – 9 cadangan Saaty (1980). Contoh maksud perbandingan berpasangan dengan penerapan teori set kabur yang digunakan boleh diperoleh daripada Buckley (1985). Berikut diberi butiran mengenai kaedah berpasangan yang dinyatakan seperti Jadual 1 di bawah:

Jadual 1: Takrifan nilai kemasukan dalam matriks perbandingan berpasangan

Nilai a_{ij}	Takrifan
1	Objektif i adalah 'sama penting' dengan objektif j
3	Objektif i adalah 'kurang penting' daripada objektif j
5	Objektif i adalah 'penting' daripada objektif j
7	Objektif i adalah 'amat penting' daripada objektif j
9	Objektif i adalah 'teramat penting' daripada objektif j
2, 4, 6, 8	Nilai-nilai kepentingan objektif di antara dua takrifan nombor-nombor di atas



Rajah 2: Struktur hierarki masalah pemilihan multi-kriterium dalam contoh pengiraan

3. Metodologi

3.1. Struktur berhierarki

Seperti dalam kaedah PHA biasa, kita struktur masalah kajian kepada empat tahap berbeza. Ini dapat dilakukan melalui proses perbincangan dengan pelbagai pihak seperti organisasi terbabit, golongan pembuat keputusan (pakar) serta berdasarkan kajian literatur untuk menentukan matlamat utama pada tahap pertama. Pada tahap kedua pula, kriterium-kriterium yang diperlukan untuk mencapai matlamat utama dikenal pasti dan seterusnya diputuskan. Sementara tahap ketiga ialah sub-kriterium/atribut yang berkaitan dengan setiap kriterium dan akhir sekali di tahap ke-empat ialah alternatif yang ada (i.i., jenis sistem pelupusan sisa pepejal pambandaran dalam konteks makalah ini). Gambaran model empat tahap struktur berhierarki diberi seperti Rajah 2.

3.2. Perluasan PHA kabur

Kaedah PHA Saaty (1981) merupakan kaedah yang popular dan meluas penggunaannya dalam menyelesaikan masalah PKMK (Chang & Kumar 2007; Deng 1999). Namun ramai penyelidik semasa lain berusaha untuk memperbaiki kelemahan PHA terutamanya aspek perbandingan berpasangan (lihat Zahir 1991; Paulson & Zahir 1995). Bermula dengan PHA klasik Saaty dan ditambah baik dengan memasukkan unsur teori set kabur (Van Laarhoven & Pedrycz 1983; Buckley, 1985) dan kemudiannya diperkenalkan dengan perluasan PHA tajaan Chang (1996). Kaedah perluasan PHA dilihat semakin banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah seperti mengukur penunjuk aras modal insan (Bozbura *et al.* 2007), pemilihan pembekal global (Chan & Kumar 2007), penilaian pembangunan portal pengetahuan (Kreng & Wu 2007), analisis multi-kriterium (Deng 1999) dan banyak lagi. Memandangkan kaedah ini mampu menghilangkan kerumitan dan ketidakbolehppercayaan perbandingan utiliti kabur dalam proses penilaian, maka kami memanfaatkan melalui contoh umum berkaitan pemilihan multi-kriterium. Berikut diberi secara umum analisis perluasan- m untuk setiap objek diwakili dengan simbol berikut:

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

yang M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) ialah nombor kabur segi tiga (NKS). Langkah-langkah analisis perluasan PHA kabur dapat diringkaskan seperti berikut:

- i. Takrif nilai perluasan sintetik kabur terhadap ke- i objek sebagai

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

- ii. Dapatkan darjah kemungkinan untuk $M_1 = (a_1, b_1, c_1) \geq M_2 = (a_2, b_2, c_2)$ yang ditakrifkan sebagai

$$V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x \geq y} [\min m(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (3)$$

Disebabkan M_1 dan M_2 adalah nombor kabur cembung, jadi

$$V(M_1 \geq M_2) = 1 \quad \text{j.h.j} \quad b_1 \geq b_2 \quad (4)$$

dan jika sebaliknya berlaku, maka kita guna konsep ordinat titik persilangan antara dua nombor kabur

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(O)$$

yang O ialah ordinat tertinggi titik persilangan D antara μ_{M_1} dan μ_{M_2} . Oleh itu ordinat D boleh dikira menggunakan

$$V(M_2 \geq M_1) = (a_1 - c_2) \otimes [(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)]^{-1} \quad (5)$$

dan untuk bezakan M_1 dan M_2 , kita perlu kedua-dua nilai $V(M_1 \geq M_2)$ dan $V(M_2 \geq M_1)$. Sekiranya $(a_1 - c_2) > 0$, maka setiap unsur dalam matriks terbabit perlu dinormalisasi terlebih dahulu sebelum proses selanjutnya dapat dibuat.

- iii. Darjah kemungkinan untuk nombor kabur cembung adalah lebih besar daripada k nombor kabur cembung M_i ($i=1, 2, \dots, k$) dan ditakrifkan sebagai

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ dan } (M \geq M_2) \text{ dan } \dots \text{ dan } (M \geq M_k)], \\ i &= 1, 2, \dots, k. \\ &= \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, \dots, k. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{Andaikan } m(C_i) = \min V(F_i \geq F_k), \quad (7)$$

untuk $k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$, maka vektor pemberat diberi oleh

$$W_C = (m(C_1), m(C_2), \dots, m(C_n))^T \quad (8)$$

yang C_i ($i = 1, 2, \dots, n$) mempunyai unsur n

- iv. Normalisasi vektor pemberat di atas (jika perlu) dan kita peroleh vektor pemberat baru berikut:

$$W = (w(C_1), w(C_2), \dots, w(C_n))^T, \quad (9)$$

yang W adalah nombor biasa.

4. Contoh Pengiraan Berangka

Diberi contoh andaian dalam masalah multi-kriterium pemilihan. Katalah sebuah syarikat berkaitan kerajaan ingin membuat pelaburan sejumlah wang bagi projek pembinaan sistem pembuangan sisa pepejal perbandaran. Berdasarkan kajian awal yang dilakukan oleh syarikat, didapati tiga sistem pelupusan berpotensi untuk diteroka, iaitu tapak pelupusan sanitari

sepenuhnya, kaedah penunuan, dan kaedah kitar semula yang masing-masing diwakili oleh $S = \{S1, S2, S3\}$. Katakan juga terdapat empat kriterium utama untuk dipertimbangkan sebelum sesuatu keputusan boleh dibuat iaitu, kesan alam sekitar, kesan sosial, kos dan teknologi yang digunakan yang masing-masing diwakili oleh $K = \{K1, K2, K3, K4\}$ berserta empat belas sub-kriterium yang diwakili oleh $A = \{A_1, A_2, \dots, A_{14}\}$. Dengan menggunakan skala 1 - 9 (Jadual 1) berserta penerapan nombor kabur, maka wajaran kepada kriterium dan perkadaran kepada alternatif (sistem) dapat dibuat. Katalah perbandingan berpasangan untuk keempat-empat kriterium ditunjukkan seperti dalam Jadual 2.

Jadual 2: Perbandingan berpasangan antara keempat-empat kriterium

	K1	K2	K3	K4
K1	1,1,1	3/2, 2, 5/2	5/2, 3, 7/2	5/2, 3, 7/2
K2	2/5, 1/2, 2/3	1,1,1	3/2, 2, 5/2	3/2, 2, 5/2
K3	2/7, 1/3, 2/5	2/5, 1/2, 2/3	1,1,1	3/2, 2, 5/2
K4	2/7, 1/3, 2/5	2/5, 1/2, 2/3	2/5, 1/2, 2/3	1,1,1

Maka, nilai-nilai perluasan sintetik kabur terhadap kriterium boleh dikira menggunakan pers. (2):

$$S_{K1} = (7.5, 9.0, 10.5) \otimes (1/24.5, 1/20.7, 1/17.2) = (0.31, 0.44, 0.61)$$

$$S_{K2} = (4.4, 5.5, 6.7) \otimes (1/24.5, 1/20.7, 1/17.2) = (0.18, 0.27, 0.39)$$

$$S_{K3} = (3.2, 3.8, 4.6) \otimes (1/24.5, 1/20.7, 1/17.2) = (0.13, 0.19, 0.27)$$

$$S_{K4} = (2.1, 2.3, 2.7) \otimes (1/24.5, 1/20.7, 1/17.2) = (0.09, 0.11, 0.16)$$

Darjah kemungkinan dapat dikira menggunakan persamaan (3) – (5) seperti berikut:

$$\begin{aligned} V(S_{K1} \geq S_{K2}) &= 1, & V(S_{K1} \geq S_{K3}) &= 1, & V(S_{K1} \geq S_{K4}) &= 1 \\ V(S_{K2} \geq S_{K1}) &= (0.31 - 0.39) [(0.27 - 0.39) - (0.44 - 0.31)]^{-1} = 0.33, \\ V(S_{K2} \geq S_{K3}) &= 1, & V(S_{K2} \geq S_{K4}) &= 1 \\ V(S_{K3} \geq S_{K1}) &= 0.56, & V(S_{K3} \geq S_{K2}) &= 0.52, & V(S_{K3} \geq S_{K4}) &= 1 \\ V(S_{K4} \geq S_{K1}) &= 0.5, & V(S_{K4} \geq S_{K2}) &= 1, & V(S_{K4} \geq S_{K3}) &= 0.29 \end{aligned}$$

Sementara setiap perbandingan berpasangan, nilai minimum darjah kemungkinan boleh diperoleh seperti di bawah: (pers. (6) – (9))

$$\begin{aligned} m(C_1) &= \min V(S_{K1} \geq S_{K2}, S_{K3}, S_{K4}) \\ &= \min (1, 1, 1, 1) = 1 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, kita peroleh seperti berikut: $m(C_2) = 0.33$, $m(C_3) = 0.52$, $m(C_4) = 0.29$. Oleh itu pemberat vektor diberi oleh

$$W_c = (1, 0.33, 0.52, 0.29)^T$$

Dan melalui proses normalisasi kita peroleh pula

$$\begin{aligned} W_c &= (m(K1), m(K2), m(K3), m(K4))^T \\ W &= (0.47, 0.15, 0.24, 0.13) \end{aligned}$$

Dengan menggunakan contoh pengiraan dan proses yang sama seperti ditunjukkan di atas, kepentingan pemberat untuk sub-kriterium (A_1, A_2, A_3) terhadap kriteria K1 diperoleh seperti berikut:

$$\begin{aligned} W_c &= (m(A_1), m(A_2), m(A_3))^T \\ &= (0.85, 0.10, 1)^T \\ W &= (0.43, 0.05, 0.51) \end{aligned}$$

Seterusnya kepentingan pemberat untuk sub-kriterium (A_4, A_5, A_6, A_7) terhadap kriteria K2 diperoleh seperti berikut:

$$\begin{aligned} W_c &= (m(A_4), m(A_5), m(A_6), m(A_7))^T \\ &= (1, 0.25, 0.66, 0)^T \\ W &= (0.53, 0.13, 0.34, 0) \end{aligned}$$

Sementara kepentingan pemberat untuk sub-kriterium (A_8, A_9, A_{10}) terhadap kriteria K3 diperoleh seperti berikut:

$$\begin{aligned} W_c &= (m(A_8), m(A_9), m(A_{10}))^T \\ &= (1, 0.20, 0)^T \\ W &= (0.83, 0.17, 0) \end{aligned}$$

Dan kepentingan pemberat untuk sub-kriterium ($A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}$) terhadap kriteria K4 diperoleh seperti berikut:

$$\begin{aligned} W_c &= (m(A_{11}), m(A_{12}), m(A_{13}), m(A_{14}))^T \\ &= (1, 0.48, 0.45, 0.02)^T \\ W &= (0.51, 0.25, 0.23, 0.01) \end{aligned}$$

Akhirnya, keutamaan pemberat untuk setiap alternatif boleh dikira dengan mendarabkan semua pemberat alternatif dengan pemberat setiap kriteria. Bagi tujuan pengiraan, penyelidik menggunakan pemberat seperti dalam Jadual 3 untuk proses perbandingan berpasangan setiap sub-kriterium berdasarkan keempat-empat kriteria. Selesai proses pengiraan hasil darab pemberat, hasilnya diperoleh seperti ditunjukkan dalam Rajah 4 di bawah.

Jadual 3: Keutamaan relatif pemberat kriterium dan sub-kriterium

Kriterium	K1 0.47				K2 0.15				K3 0.24				K4 0.13			
Sub-kriterium	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14		
Alternatif	0.43	0.05	0.51	0.53	0.13	0.34	0.00	0.83	0.17	0.00	0.51	0.25	0.23	0.01		
S1	0.69	0.05	0.80	0.72	0.49	0.27	0.32	0.31	0.63	0.27	0.44	0.60	0.51	0.31		
S2	0.08	0.64	0.17	0.00	0.32	0.18	0.19	0.31	0.18	0.55	0.20	0.16	0.26	0.39		
S3	0.23	0.31	0.03	0.28	0.19	0.55	0.49	0.39	0.19	0.18	0.36	0.24	0.23	0.30		

Jadual 4: Ringkasan gabungan pemberat keutamaan, kriterium keseluruhan terhadap matlamat keseluruhan

(Pemberat)	Alternatif		
	S1	S2	S3
K1 (0.47)	0.71	0.16	0.13
K2 (0.15)	0.54	0.10	0.36
K3 (0.24)	0.36	0.29	0.36
K4 (0.13)	0.49	0.21	0.30
Keutamaan pemberat alternatif	0.51	0.20	0.24
	Terbaik	Sederhana	Baik

Berdasarkan keputusan di atas, jelas alternatif pertama (S1) menjadi pilihan utama memandangkan kriterium pertama (K1) dan alternatif pertama (S1) masing-masing memperoleh pemberat terbesar iaitu, 0.47 dan 0.71. Manakala alternatif ke-dua (S2) berada pada kedudukan akhir antara tiga alternatif yang dipertimbangkan memandangkan ia memperoleh pemberat terkecil (0.13) bagi kriterium terpenting iaitu K1. Berdasarkan contoh pengiraan yang ditunjukkan, nyata susunan keutamaan diperoleh seperti berikut: S1 > S3 > S2; iaitu, 'terbaik' > 'baik' > 'sederhana', yang tata tanda '>' mewakili alternatif 'lebih utama daripada'. Meskipun begitu susunan keutamaan akan berubah bergantung kepada kepentingan relatif (pemberat) setiap kriterium dan sub-kriterium terhadap alternatif yang dinilai.

5. Perbincangan dan Rumusan

Dalam suasana dunia tanpa sempadan kini, sesuatu keputusan yang melibatkan pelaburan yang besar perlu diteliti secara mendalam serta bijaksana sebelum sesuatu keputusan boleh dibuat. Tambahan pula, keadaan persekitaran yang penuh persaingan dan terbuka mengundang kepada keperluan sesebuah organisasi/syarikat menggunakan kaedah yang terbaik. Ini bagi memastikan keputusan yang dibuat tidak tersasar daripada mendapat pulangan yang menguntungkan dalam jangka masa panjang. Masalah ini akan dapat dihindari sekiranya kaedah usulan dimanfaatkan seoptimum mungkin untuk mengurangkan faktor ketidakpastian maklumat awal dalam proses penilaian.

Berdasarkan contoh pengiraan yang ditunjukkan, pendekatan yang digunakan ternyata mudah dan boleh dijadikan kaedah keputusan alternatif. Meskipun contoh pengiraan yang dibuat menggunakan kriterium dan sub-kriterium umum sahaja, namun secara teoretikal dan prinsipnya masih relevan jika kaedah yang dibincangkan digunakan dalam situasi sebenar dengan menggunakan kriterium dan sub-kriterium secara spesifik. Meskipun begitu, bagi menjamin kaedah yang diusulkan menjadi lebih bermakna, maka aspek ketekalan penilai

pakar dalam proses perbandingan berpasangan perlu juga diambil kira. Ini penting memandangkan penilaian yang tidak tekal mengakibatkan keputusan akhir yang diperoleh masih boleh dipertikaikan kejituannya. Seperkara lagi keperluan menerapkan analisis sensitiviti untuk menentukan sejauh mana keputusan yang diperoleh 'berdaya tahan' jika terdapat sedikit perubahan kecil berlaku ke atas pemboleh ubah yang digunakan. Ini dapat menjamin keputusan yang dibuat stabil dan tetap dalam apa juga perubahan kecil yang berlaku di sekelilingnya. Sekiranya semua perkara yang dinyatakan di atas dapat dibuat dan dipatuhi, maka diyakini keputusan akhir yang diperoleh akan lebih bermakna dan bermanfaat.

Rujukan

- Bozbura F.T., Beskese A. & Kahraman, C. 2007. Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications* **32**: 1100-1112.
- Buckley J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems* **17**: 233-247.
- Chang F.T.S. & Kumar N. 2007. Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach. *Omega* **35**: 417-431.
- Chang D.Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research* **95**: 649-655.
- Deng H. 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning* **21**: 215-231.
- Hwang C. & Yoon K. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application*. New York: Springer
- Kaufmann A. & Gupta M. M. 1991. *Introduction to Fuzzy Arithmetic and Applications*. New York: Van Nostrand Rienhold.
- Kreng V.B. & Wu C.Y. 2007. Evaluation of knowledge portal development tools using a fuzzy AHP approach: The case of Taiwanese stone industry. *European Journal of Operational Research* **176**: 1795-1810.
- Kulak O. & Kahraman C. 2005. Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process. *Information Sciences* **170**: 191-210.
- Kulak O., Kahraman C., Oztaysi B. & Tanyas M. 2005. Multi-attribute information technology project selection using fuzzy axiomatic design. *The Journal of Enterprise Information Management* **18**(3): 275-288.
- Kuo M.-S. & Liang G.-S. 2012. A soft computing method of performance evaluation with MCDM based on interval valued fuzzy numbers. *Applied Soft Computing* **12**(1): 476-485.
- Noguchi H., Ogawa M. & Ishii H. 2002. The appropriate total ranking method using DEA for multiple categorized purposes. *Journal of Computational and Applied Mathematics* **146**: 155-166.
- Paulson D. & Zahir S. 1995. Consequences of uncertainty in the analytical hierarchy process: A simulation approach. *European Journal of Operational Research* **87**: 45-56.
- Saaty T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Saaty T.L. 1996. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytical Network Process*. Pittsburgh, PA: RWS Publication
- Suh N.P. 1990. *The Principles of Design*. New York, NY: Oxford University Press.
- Tseng M.-L. 2011. Using hybrid MCDM to evaluate the service quality expectation in linguistic preference. *Applied Soft Computing* **11**(8): 4551-4562.
- Van Laarhoven P.J.M. & Pedrycz W. 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*. **11**: 229-241
- William H., Xiamei X. & Prasanta K.D. 2010. Multi-criteria decision-making approaches for supplier evaluation and selection. A literature review. *European Journal of Operational Research* **202** (1): 16-24.
- Zadeh L.A. 1965. Fuzzy sets. *Informat. Control*. **8**: 338-353.
- Zahir S. 1991. Incorporating the uncertainty of decision judgments in the analytical hierarchy process. *European Journal of Operational Research* **53**: 206-216.
- Zhan, J., Wu D. & Olson D.L. 2005. The method of grey related analysis to multiple attribute decision making problems with interval numbers. *Mathematical and Computer Modelling* **42**: 991-998.
- Zimmermann H. J. 1991. *Fuzzy set theory and its applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Zimmermann H. J. 1994. *Fuzzy set theory- and its applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

¹*Fakulti Sains Komputer dan Matematik
Universiti Teknologi MARA Cawangan Sabah
Beg Berkunci 71
88997 Kota Kinabalu
Sabah, MALAYSIA
Mel-e: zamalihj@sabah.uitm.edu.my**

²*Jabatan Sistem Maklumat
Kuliyah Teknologi Maklumat dan Komunikasi
Universiti Islam Antarabangsa Malaysia
Peti Surat 10
50728 Kuala Lumpur, MALAYSIA
Mel-e: abuosman@kict.iiu.edu.my*

*Penulis untuk dihubungi