

UBAH SUAIAAN PERLUASAN-TOPSIS UNTUK KEPUTUSAN MULTI-KRITERIUM LINGUISTIK KABUR

(Modification of TOPSIS-extension for Fuzzy Linguistic Multi-Criteria Decision)

ZAMALI TARMUDI¹ & ABU OSMAN MD TAP²

ABSTRAK

Dapat diperhatikan bahawa kata putus dalam masalah multi-kriterium yang dibuat secara linguistik kabur adalah lebih mudah serta 'mesra pengguna' berbanding dengan menggunakan nilai skala yang kuantitatif. Dalam kajian ini diusulkan pendekatan pemboleh ubah linguistik kabur untuk dimanfaatkan dalam kaedah ubah suaian perluasan-TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) secara mengurangkan daripada sebelas kepada tiga potongan- α . Analisis dimulai dengan mengkuantitikan pemboleh ubah linguistik kabur melalui nombor kabur segi tiga untuk diterapkan dalam gabungan kaedah perluasan-TOPSIS dan pengaturcaraan tak linear. Selanjutnya, pengiraan dibuat untuk mendapatkan tiga nilai potongan- α , iaitu $\alpha = 0$, $\alpha = 0.5$ dan $\alpha = 1.0$, sebelum proses penyahkaburan dan pemangkatan dapat dilakukan bagi mengenal pasti alternatif yang terbaik. Di akhir kajian diberi contoh penggunaan pemboleh ubah linguistik kabur dan ubah suaian yang diusulkan berserta pengiraan yang berkaitan dalam masalah multi-kriterium pemilihan. Dapatan pengiraan menunjukkan, ia memberi manfaat dari aspek penjimatan masa pengiraan dan dapat mengurangkan kerumitan proses pemutusan tanpa menjejaskan ketepatan dapatan kajian.

Kata kunci: nombor kabur; pemboleh ubah linguistik; pembuat keputusan multi-kriterium; TOPSIS

ABSTRACT

It is observed that decision making for a multi-criteria problem is easier and user friendly by using a fuzzy linguistic approach compared to the numeric scales. In this paper, the advantage of linguistic variables is utilised in a modification of Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)-extension by reducing the α -cuts from eleven to three levels. In the first place, the linguistic variables are quantified through triangular fuzzy numbers employed in both TOPSIS-extension and non-linear programming; afterwards the three α -cuts, namely $\alpha = 0$, $\alpha = 0.5$ dan $\alpha = 1.0$, are calculated before the defuzzifying and ranking process was made to identify the best alternative under consideration. A hypothetical example in a multi-criteria decision-making problem is provided to demonstrate the applicability and practicability of the proposed modification method. Based on the numerical calculations, it is found that the method is beneficial to reduce the decision process complexity and is less time consuming, giving a similar result without loss of any originality.

Keywords: fuzzy numbers; linguistic variables; multi-criteria decision making; TOPSIS

1. Pengenalan

Sejak beberapa dekad yang lalu, banyak negara di seluruh dunia berkembang dengan begitu pesat sekali. Kepadatan pembangunan yang dialami ini tidak boleh dinafikan sebahagiannya merupakan hasil sumbangan pembuat dasar atau sekumpulan pembuat keputusan sama ada dari pihak kerajaan mahupun swasta. Disebabkan suasana persekitaran yang semakin rumit dan

penyempurnaan dengan persaingan, maka para pembuat keputusan memerlukan kaedah yang mudah serta dapat menjimatkan masa atau dengan kata lain, mudah digunakan untuk membuat keputusan. Kajian lepas banyak membicarakan kaedah serta pendekatan yang terbaik bagaimana individu atau sekumpulan pembuat keputusan untuk memilih, menentukan, membanding, memangkat, memberi wajar dsb. sebelum kata putus akhir dapat dibuat. Sehubungan itu, kaedah proses hierarki analisis (AHP) (Saaty 1980) yang terkenal dengan teknik perbandingan berpasangan telah banyak dimanfaatkan oleh ramai penyelidik terdahulu mahupun sekarang sebagai satu daripada kaedah yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam pelbagai bidang terutamanya yang berkaitan dengan multi-kriterium. Selain itu, kaedah TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) tajaan Hwang dan Yoon (1981) tidak kurang popularnya sebagai alat yang dimanfaatkan dalam penyelesaian masalah multi-kriterium. Umpamanya, kajian berkaitan pengangkutan awam (Tzeng *et al.* 2005), pengurusan sisa pepejal (Cheng *et al.*, 2003), pemilihan mesin robot (Chu & Lin 2003), pemilihan lokasi loji (Chu 2002b), penilaian prestasi syarikat penerbangan (Feng & Wang 2000), dan banyak kajian lain lagi.

Meskipun begitu, kedua-dua kaedah di atas akan lebih bermanfaat jika penilaiannya dibuat secara 'bahasa biasa' (linguistik) agar lebih mudah dan tepat. Justeru, sejak diberi takrif secara formal oleh Zadeh (1975) serta diperhalusi oleh Zimmermann (1991), ramai penyelidik lain telah mengguna pakai pemboleh ubah linguistik (PL) kabur dalam masalah multi-kriterium. Kajian oleh Ching *et al.* (1999) umpamanya, telah memanfaatkan PL kabur berpemberat untuk menilai kemampuan helikopter penggempur bagi tujuan menghadapi musuh. Beliau memperbaiki kaedah Chen (1996) yang menggunakan operasi aritmetik kabur yang dikatakan boleh mengakibatkan kehilangan maklumat dan lebih berlaku kekaburan dalam proses penilaian. Justeru beliau mencadangkan penggunaan pagaran PL kabur dalam contoh pengiraan yang melibatkan pemilihan terbaik untuk helikopter penggempur. Selain itu, pengkaji seperti Zamali *et al.* (2010; 2011; 2012), Victor dan Chao (2007), Golec dan Kahya (2007), Wang dan Elhag (2006), Olcer dan Odabasi (2005), Ismail dan Ferrell (2003), Tsaur *et al.* (2002) juga ada menyentuh serta menerapkan penggunaan PL kabur dalam menyelesaikan masalah multi-kriterium. Justeru penggunaannya dilihat semakin hari semakin berkembang sebagai medium pemutusan memandangkan ia mudah dan lebih selesa digunakan untuk membuat keputusan. Tujuan utama kajian ini adalah untuk mengusulkan ubah suaian kaedah perluasan-TOPSIS berasaskan potongan- α daripada sebelas kepada hanya tiga nilai potongan- α bagi tujuan memudahkan proses penilaian dan pemangkatan keputusan akhir tanpa menghilangkan ketepatan kaedah asal. Di samping itu, penerapan PL kabur untuk membantu memudahkan proses pemutusan turut dibincangkan.

Bagi mencapai matlamat di atas, makalah ini dibincangkan mengikut urutan berikut: Bahagian 2 menyorot secara ringkas PL serta penggunaannya sebagai mekanisma pembuat keputusan. Seterusnya, dalam Bahagian 3 dijelaskan tatakaedah kajian yang menumpukan takrif nombor kabur serta operasi aljabar, nombor kabur segi tiga (NKS), potongan alfa (α) dan diakhiri sub-bahagian ini dengan perincian langkah-langkah gabungan kaedah perluasan-TOPSIS dengan pengaturcaraan tak linear berasaskan potongan- α yang terubah suai. Dalam Bahagian 4 pula diberikan contoh pengiraan berangka sebelum diakhiri dengan rumusan di Bahagian 5.

2. Pemboleh Ubah Linguistik

PL adalah antara aplikasi yang amat berpotensi dimanfaatkan dalam proses membuat keputusan. Ia merupakan pemboleh ubah yang menggunakan ungkapan bahasa biasa sebagai ukuran kualitatif terhadap sesuatu yang dinilai. Dalam penggunaan seharian, pernyataan berbentuk bahasa biasanya lebih mudah dan praktikal untuk memerihalkan sesuatu ukuran atau prestasi sesuatu perkara. Umpamanya, apabila kita katakan calon bakal pekerja itu mempunyai kelayakan yang 'tinggi', sebenarnya perkataan 'tinggi' yang diungkapkan adalah jauh lebih mudah dan 'mesra pengguna' berbanding dengan memberi penilaian secara berangka atau kuantitatif. Menurut Wang (1997), PL kabur adalah perluasan pemboleh ubah berangka, dalam erti kata ia memberi ruang kepada set kabur untuk menggunakan nilai tertentu secara terperinci. Sifatnya yang anjal, membolehkan ia dilentur daripada perkataan asal berbanding dengan penilaian secara kuantitatif. Dalam masalah multi-kriterium umpamanya, pembuat keputusan sering menggunakan lebih daripada satu perkataan apabila menerangkan prestasi sesuatu perkara yang dinilai. Contohnya, seseorang bakal pembeli berpotensi menilai 'keselesaan' sesebuah kereta dengan menggunakan ungkapan bahasa biasa seperti 'selesa', 'agak selesa', 'sangat selesa', dan sebagainya. Justeru penilaian ungkapan sebegini dijadikan asas idea untuk memudahkan penilai untuk menilai sesuatu perkara yang kadangkala sukar untuk diukur secara tepat sama ada disebabkan oleh faktor kurangnya maklumat yang diperolehi mahupun sememangnya sifat semula jadinya.

3. Tatakaedah

3.1 Pendahuluan

Makalah ini memanfaatkan PL kabur dalam kaedah perluasan-TOPSIS berasaskan potongan- α (Wang & Elhag 2006) dengan mengurangkan bilangan potongan- α daripada sebelas kepada tiga nilai, iaitu: $\alpha = 0$, $\alpha = 0.5$ dan $\alpha = 1$. Di samping itu, nombor kabur segi tiga (NKS) dimanfaatkan untuk mengkuantiti tujuh nilai linguistik dan seterusnya untuk menilai kepentingan wajaran kriterium relatif dan perkadaran prestasi alternatif yang masing-masingnya ditunjukkan dalam Jadual 1 dan 2 di bawah.

Jadual 1: PL untuk kepentingan wajaran kriterium relatif

Pemboleh ubah linguistik	Nombor kabur segi tiga
Sangat Tinggi (ST)	(0.9, 1.0, 1.0)
Tinggi (T)	(0.7, 0.9, 1.0)
Sederhana Tinggi (SdT)	(0.5, 0.7, 0.9)
Sederhana(S)	(0.3, 0.5, 0.7)
Sederhana rendah (SdR)	(0.1, 0.3, 0.5)
Rendah (R)	(0, 0.1, 0.3)
Sangat Rendah (SR)	(0, 0, 0.1)

Jadual 2: PL untuk nilai kadaran prestasi alternatif

Pemboleh ubah linguistik	Nombor kabur segi tiga
Sangat baik (SB)	(9, 10, 10)
Baik (B)	(7, 9, 10)
Sederhana Baik (SdB)	(5, 7, 9)
Sederhana (S)	(3, 5, 7)
Sederhana lemah (SdL)	(0, 3, 5)
Lemah (L)	(0, 1, 3)
Sangat lemah (SL)	(0, 0, 1)

3.2 Nombor Kabur Segi tiga

Nombor kabur merupakan asas aritmetik kabur yang banyak digunakan dalam bidang penyelidikan operasi dan sains pemutusan (Zamali & Abu Osman 2004). Sumber berkenaan nombor kabur ini boleh dilihat secara terperinci dalam Zimmermann (1991); Kaufmann dan Gupta (1991) yang banyak membincangkan aritmetik kabur juga merangkumi teori serta penggunaannya.

Takrif. Andaikan Z suatu set kabur dalam R . Set kabur Z dinamai nombor kabur jika empat syarat berikut dipenuhi:

- i. Z normal, iaitu

$$\exists x_1 \in U, \mu_z(x_1) = 1.$$

- ii. Z cembung, iaitu

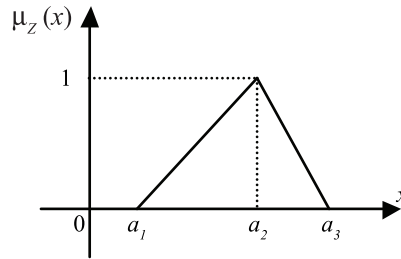
$$\mu_z [\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2] \geq \min[\mu_z(x_1), \mu_z(x_2)], \text{ yang } \lambda \in [0, 1].$$

- iii. Z mempunyai sokongan terbatas.

- iv. Semua potongan- α bagi Z adalah selang tertutup didalam R , iaitu

$$Z_\alpha = \{x \in U \mid \mu_z \geq \alpha\}.$$

Fungsi keahlian nombor kabur boleh didapati dalam pelbagai bentuk. Namun bagi tujuan manfaat dan kesesuaian dengan realiti, penggunaannya dilihat dalam bentuk fungsi linear cebis-demi-cebis. Antaranya, NKS yang boleh diwakili oleh rangkap-3, iaitu (a_1, a_2, a_3) . Bentuk fungsi keahlian bagi NKS ditakrif seperti di Rajah 1.



Rajah 1: Nombor Kabur Segi tiga

Daripada Rajah 1 di atas, kita boleh bentuk fungsi keahlian bagi NKS seperti berikut:

$$\mu_{NKS}(x) = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq a_1 \\ \frac{(x - a_1)}{(a_2 - a_1)} & ; \quad a_1 < x \leq a_2 \\ \frac{(a_3 - x)}{(a_3 - a_2)} & ; \quad a_2 < x \leq a_3 \\ 0 & ; \quad x > a_3 \end{cases}$$

atau fungsi di atas boleh ditulis sebagai, $\mu_{NKS} = \max\{0, \min[(x - a_1)/(a_2 - a_1), (a_3 - x)/(a_3 - a_2)]\}$. Berdasarkan sifat NKS dan prinsip perluasan Zadeh (1965), secara ringkasnya operasi aljabar bentuk rangkap-3 mesti memenuhi empat prinsip asas berikut:

i. Prinsip penambahan (\oplus)

$$(a_1, a_2, a_3) \oplus (a_4, a_5, a_6) = (a_1 + a_4, a_2 + a_5, a_3 + a_6)$$

ii. Prinsip pendaraban (\odot)

$$(a_1, a_2, a_3) \odot (a_4, a_5, a_6) = (a_1 a_4, a_2 a_5, a_3 a_6), \text{ yang } a_1 \geq 0, a_2 \geq 0$$

iii. Untuk sebarang nombor nyata k ,

$$k \odot m_z(X) = (k, k, k) \odot (a_1, a_2, a_3) = (ka_1, ka_2, ka_3)$$

iv. Prinsip penolakan (\ominus)

$$(a_1, a_2, a_3) \ominus (a_4, a_5, a_6) = (a_1 - a_4, a_2 - a_5, a_3 - a_6)$$

3.3 TOPSIS berasaskan Potongan-Alfa (α)

TOPSIS tajaan Hwang dan Yoon (1981) dan perluasan-TOPSIS (Chen 2000) adalah satu daripada kaedah yang popular untuk menyelesaikan masalah multi-kriterium. Penggunaannya amat meluas seperti kajian oleh Abo-Sinna dan Amer (2005), Olson (2004), Opricovic dan Tzeng (2004), Chen dan Tzeng (2004), Chu (2002a), Deng *et al.* (2000), Feng dan Wang (2001), dan ramai penyelidik lain. Idea utama kaedah ini adalah untuk mendapatkan penyelesaian yang memberikan manfaat yang maksimum kepada keuntungan-kriterium dan meminimumkan kos-kriterium. Sementara, penyelesaian terbaik hanyalah satu, iaitu yang paling hampir dengan

penyelesaian unggul dan terjauh daripada penyelesaian unggul-negatif. Sementara TOPSIS berasaskan potongan- α dengan gabungan pengaturcaraan tak linear adalah perluasan TOPSIS Hwang dan Yoon yang menggunakan sebelas potongan- α sebagai penanda aras prestasi sebelum dibuat proses penyahkaburan dan pemangkatan. Ini dilakukan untuk tujuan mengenal pasti alternatif yang terbaik berdasarkan semua kriterium yang dipertimbangkan. Sementara dalam contoh yang akan dibincangkan nanti, kami permudahkan dengan mengubah suai kepada tiga potongan- α sahaja (i.i: $\alpha = 0, \alpha = 0.5, \alpha = 1.0$) tanpa mengurangkan ketepatan kaedah asal.

Ringkasan langkah demi langkah gabungan kaedah perluasan-TOPSIS berasaskan potongan- α yang terubah suai dan pengaturcaraan tak linear diberi seperti berikut:

- i. Bagi NKS, $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, d_{ij})$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$), normalkan matriks keputusan kabur $\tilde{X} = (x_{ij})_{n \times m}$ dengan menggunakan dua persamaan berikut:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{d_j^*}, \frac{b_{ij}}{d_j^*}, \frac{d_{ij}}{d_j^*} \right); i=1, 2, \dots, n; j \in \omega_b \quad (1)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{d_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right); i=1, 2, \dots, n; j \in \omega_c \quad (2)$$

yang $d_j^* = \max_j d_{ij}, j \in \omega_b$ (3)

dan $a_j^- = \min_i a_{ij}, j \in \omega_c$ (4)

- ii. Tentukan penyelesaian unggul dan unggul-negatif dengan masing-masing menggunakan takrif berikut:

$$A^* = \{x_1^*, \dots, x_m^*\} = \{(\max_j d_{ij} / j \in \omega_b), (\min_j a_{ij} / j \in \omega_c)\}, \text{ dan} \quad (5)$$

$$A^- = \{x_1^-, \dots, x_m^-\} = \{(\min_j a_{ij} / j \in \omega_b), (\max_j d_{ij} / j \in \omega_c)\} \quad (6)$$

- iii. Kira set potongan- α untuk \tilde{r}_{ij} atau $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, d_{ij})$, ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) dengan menggunakan nilai-nilai $\alpha = 0, \alpha = 0.5$ dan $\alpha = 1.0$.

- iv. Jika $(r_{ij})_\alpha = [(r_{ij})_\alpha^l, (r_{ij})_\alpha^r]$ dan $(w_j)_\alpha = [(w_j)_\alpha^l, (w_j)_\alpha^r]$ adalah set potongan- α

masing-masing bagi \tilde{r}_{ij} dan \tilde{w}_j , maka jarak relatif kabur terdekat (RD_i) untuk setiap alternatif dan setiap nilai potongan- α dapat diperoleh menggunakan dua model pengaturcaraan tak linear (Wang & Elhag 2006) berikut:

$$(RD_i)_\alpha^l = \min_m \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij})_\alpha^l)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij})_\alpha^l)^2} + \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j ((r_{ij})_\alpha^l - 1))^2}}$$

$$t.k. (w_j)_\alpha^l \leq w_j \leq (w_j)_\alpha^r, j = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

$$(RD_i)_\alpha^r = maks \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij})_\alpha^r)^2}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j (r_{ij})_\alpha^r)^2 + \sum_{j=1}^m (w_j ((r_{ij})_\alpha^r - 1))^2}}$$

$$t.k. (w_j)_\alpha^l \leq w_j \leq (w_j)_\alpha^r, j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

- v. Jika jarak relatif terdekat diwakili oleh $(RD_i)_a = [(RD_i)_\alpha^l, (RD_i)_\alpha^r]$, maka proses penyahkaburan untuk hubungan relatif kabur dalam bentuk potongan- α yang berbeza dapat diperoleh menggunakan rumus berikut (Zimmermann 1991):

$$(RD)_i^* = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{[RD_i]_{\alpha j}^l + [RD_i]_{\alpha j}^r}{2} \right), i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

- vi. Pangkatkan alternatif secara susunan menurun dalam bentuk penyahkaburan relatif terdekat yang diperoleh daripada langkah (v) di atas.

4. Contoh Pengiraan Berangka

Sebagai contoh penggunaan, dipertimbangkan contoh Wang dan Elhag (2006) dengan membuat pengubahsuaian kepada masalah multi-kriterium pemilihan calon pekerja. Katalah syarikat XYZ ingin membuat pemilihan pekerja yang sesuai bagi mengisi satu jawatan kosong yang ditawarkan. Berdasarkan senarai pendek yang dilakukan oleh pihak panel pemilih, didapati empat orang calon yang layak untuk dinilai pada peringkat akhir, diwakili oleh $A = \{A1, A2, A3, A4\}$. Katakan juga terdapat lima kriteria yang akan digunakan oleh tiga panel penilai (P) dalam proses pemilihan yang masing-masingnya diwakili oleh $K = \{K1, K2, \dots, K5\}$ dan $P = \{P1, P2, P3\}$. Disebabkan tiga panel penilai terbabit mempunyai latar belakang yang berbeza dan agak sukar untuk membuat penilaian secara tepat (kuantitatif), maka persetujuan dibuat agar memanfaatkan PL kabur untuk memudahkan penilaian ke atas prestasi calon mahupun kepentingan kriteria yang dipertimbangkan. Terdapat tujuh PL kabur untuk memberi wajar kepada kriteria dan perkadaran kepada semua calon seperti ditunjukkan dalam Jadual 1 dan 2.

Bagi memberi kepentingan wajar relatif, PL kabur digunakan seperti ungkapan 'sederhana' (S), 'sederhana tinggi'(SdT), 'tinggi' (T) dan lain-lain, sementara penisbahan kepentingan kriteria juga dicirikan secara PL kabur seperti ungkapan 'baik' (B), 'sederhana baik' (SdB), 'sederhana' (S) dan lain-lain seperti ditunjukkan dalam jadual yang sama. Tiga panel penilai diminta memberikan penilaian masing-masing untuk menilai kepentingan lima kriteria dan penisbahan untuk setiap calon secara tak bersandar. Hasil penilaian yang dibuat ditunjukkan dalam Jadual 3 dan 4.

Jadual 3: Kepentingan wajaran relatif untuk lima kriterium oleh tiga panel penilai

Kriterium	P ₁	P ₂	P ₃	Nombor kabur agregat
K ₁	T	ST	SdT	(0.7, 0.87, 0.97)
K ₂	ST	ST	ST	(0.9, 1.0, 1.0)
K ₃	ST	T	T	(0.77, 0.93, 1.0)
K ₄	ST	ST	ST	(0.9, 1.0, 1.0)
K ₅	S	SdT	SdT	(0.43, 0.63, 0.83)

Jadual 4: Penisbahan empat calon untuk lima kriterium pertimbangan oleh tiga panel penilai

Kriterium	Calon	Panel penilai (P)			Nombor kabur agregat
		P ₁	P ₂	P ₃	
K ₁	A ₁	SdB	B	SdB	(5.67, 7.67, 9.33)
	A ₂	B	B	SdB	(6.33, 8.33, 9.67)
	A ₃	SB	B	S	(6.33, 8, 9)
	A ₄	SB	B	SdB	(7, 8.67, 9.67)
K ₂	A ₁	B	SdB	S	(5, 7, 8.67)
	A ₂	SB	SB	SB	(9, 10, 10)
	A ₃	SdB	B	SB	(7, 8.67, 9.67)
	A ₄	B	B	SdB	(6.33, 8.33, 9.67)
K ₃	A ₁	S	B	B	(5.67, 7.67, 9)
	A ₂	SB	SB	B	(8.33, 9.67, 10)
	A ₃	B	SdB	SB	(7, 8.67, 9.67)
	A ₄	S	SdB	SB	(5.67, 7.33, 8.67)
K ₄	A ₁	SB	B	SB	(8.33, 9.67, 10)
	A ₂	SB	SB	SB	(9, 10, 10)
	A ₃	B	SB	SdB	(7, 8.67, 9.67)
	A ₄	S	SB	SdB	(5.67, 7.33, 8.67)
K ₅	A ₁	S	S	S	(3, 5, 7)
	A ₂	SB	SdB	B	(7, 8.67, 9.67)
	A ₃	B	B	SdB	(6.33, 8.33, 9.67)
	A ₄	B	SB	B	(7.77, 9.33, 10)

Bagi tujuan pengagregatan kepentingan relatif (\tilde{x}_{ij}) dan penisbahan calon (\tilde{w}_j) yang dinilai, min aritmetik digunakan dan masing-masing diberi seperti rumus berikut: $\tilde{x}_{ij} = (\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \tilde{x}_{ij}^3) / 3$ dan $\tilde{w}_j = (\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \tilde{w}_j^3) / 3$ dan hasilnya seperti yang ditunjukkan di lajur terakhir dalam kedua-dua Jadual 3 dan 4. Langkah seterusnya dilanjutkan seperti berikut:

- i. Dapatkan matriks keputusan ternormal menggunakan persamaan (1) – (4);
- ii. Kira penyelesaian unggul dan unggul-negatif menggunakan persamaan (5) – (6), dan hasilnya ditunjukkan seperti dalam Jadual 5;
- iii. Seterusnya, agregatkan matriks keputusan ternormal untuk setiap calon terhadap semua kriterium bagi mendapatkan nilai-nilai potongan- α , iaitu $\alpha = 0$, $\alpha = 0.5$ dan $\alpha = 1.0$ dan hasilnya ditunjukkan seperti dalam Jadual 6.
- iv. Dapatkan jarak relatif (RD_i^*) untuk setiap alternatif penyelesaian ideal dan ideal-negatif menggunakan persamaan (7) – (8),

- v. Buat proses penyahkaburan terhadap kelima-lima kriterium menggunakan persamaan (9) untuk semua calon dan hasilnya diperoleh seperti berikut: $A_1 = 0.74$, $A_2 = 0.92$, $A_3 = 0.84$ dan $A_4 = 0.80$ (Jadual 6).
- vi. Buat proses pemangkatan atau mengenal pasti keutamaan calon alternatif secara susunan menurun.

Jadual 5: Matriks keputusan kabur ternormal dan penyelesaian unggul dan unggul-negatif

Calon	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5
A_1	(0.59, 0.79, 0.97)	(0.5, 0.7, 0.87)	(0.57, 0.77, 0.9)	(0.83, 0.97, 1)	(0.31, 0.52, 0.72)
A_2	(0.66, 0.86, 1)	(0.9, 1, 1)	(0.83, 0.97, 1)	(0.9, 1, 1)	(0.72, 0.90, 1)
A_3	(0.66, 0.82, 0.93)	(0.7, 0.87, 0.97)	(0.7, 0.87, 0.97)	(0.7, 0.87, 0.97)	(0.66, 0.86, 1)
A_4	(0.7, 0.87, 0.97)	(0.63, 0.83, 0.97)	(0.57, 0.73, 0.87)	(0.57, 0.73, 0.87)	(0.78, 0.93, 1)
A^*	1	1	1	1	1
A^-	0	0	0	0	0

Jadual 6: Set potongan- α relatif terdekat untuk empat calon

Potongan- α	Calon			
	A_1	A_2	A_3	A_4
$a = 0$	[0.55, 0.90]	[0.78, 1.00]	[0.68, 0.96]	[0.65, 0.94]
$a = 0.5$	[0.66, 0.83]	[0.86, 0.97]	[0.77, 0.91]	[0.57, 1.00]
$a = 1$	[0.76, 0.76]	[0.93, 0.93]	[0.86, 0.86]	[0.82, 0.82]
Nilai penyahkaburan	0.74	0.92	0.84	0.80
Pangkat	4	1	2	3

Berdasarkan enam langkah di atas, jelaslah bahawa calon ke-2 (A_2) adalah pilihan utama, diikuti oleh calon ke-3 (A_3), kemudian calon ke-4 (A_4), dan akhir sekali calon pertama (A_1), atau ringkasnya kita boleh tulis sebagai $A_2 \supset A_3 \supset A_4 \supset A_1$, yang simbol ‘ \supset ’ bermaksud ‘lebih utama daripada’.

5. Rumusan

Dalam kajian ini, kami telah permudahkan gabungan kaedah perluasan-TOPSIS dan pengaturcaraan tak linear berasaskan potongan- α kepada tiga nilai sahaja. Didapati pengubahsuaian dapat mengurangkan kerumitan proses pengiraan serta menjimatkan masa tanpa mengurangkan ketepatan kaedah asal. Pengurangan potongan- α kepada tiga nilai ternyata lebih ‘mesra pengguna’ serta memberi lebih keselesaan dan kemudahan kepada pembuat keputusan jika dibandingkan dengan kaedah sedia ada. Sementara dalam proses penilaian pula, penggunaan PL amat praktikal dan mudah dalam memberi penilaian perbandingan terhadap perkara yang dinilai. Ini memandangkan para pembuat keputusan (panel penilai) mempunyai latar belakang pelbagai yang pada kebiasaannya akan mengalami kesukaran untuk menilai sesuatu perkara secara kuantitatif. Justeru, pengubahsuaian yang diusulkan akan memberi lebih banyak manfaat serta memudahkan penggunaannya di masa hadapan.

Penghargaan

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan atas pembiayaan kajian ini oleh Kementerian Pengajian Tinggi, Malaysia di bawah Geran FRGS (No. Rujukan: FRGS/1/2012/SG04/UiTM/02/3) dan Universiti Teknologi MARA, Malaysia. Penulis juga ingin merakamkan ucapan ribuan terima kasih kepada penilai makalah ini atas komen dan cadangan yang amat membina untuk memperkemas isi kandungan dan persembahan penulisan.

Rujukan

- Abo-Sinna M. A. & Amer A. H. 2005. Extensions of TOPSIS for multi-objective large-scale nonlinear programming problems. *Applied Mathematics and Computation* **162**: 243 – 256.
- Chen M. F. & Tzeng G. H. 2004. Combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country. *Mathematical and Computer Modelling* **40**: 1473 – 1490.
- Chen S. M. 1996. Evaluating weapon systems using fuzzy arithmetic operations. *Fuzzy Sets and Systems* **77**: 265 – 276.
- Chen T. C. 2000. Extension of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems* **114**: 1 – 9.
- Cheng S., Chang C. W. & Huang G. H. 2003. An integrated multi-criteria decision analysis and inexact integer linear programming approach for solid waste management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* **16**: 543 – 554.
- Ching H. C., Kuo L. Y. & Chia L. H. 1999. Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight. *European Journal of Operational Research* **116**: 423 – 435.
- Chu T. C. 2002a. Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decisions. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems* **10**: 687 – 701.
- Chu T. C. 2002b. Selecting plant location via a fuzzy TOPSIS approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **20**: 859 – 864.
- Chu T. C. & Lin Y. C. 2003. A fuzzy TOPSIS method for robot selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **21**: 284 – 290.
- Deng H., Yeh C. H. & Willis R. J. 2000. Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers and Operations Research* **27**: 963 – 973.
- Feng C. M. & Wang R. T. 2001. Considering the financial ratios on the performance evaluation of highway bus industry. *Transport Reviews* **21**: 449 – 467.
- Feng C. M. & Wang R. T. 2000. Performance evaluation for airlines including the consideration of financial ratios. *Journal of Air Transport Management* **6**: 133 – 142.
- Golec A. & Kahya E. 2007. A fuzzy model for competency-based employee evaluation and selection. *Computers & Industrial Engineering* **52**(1): 143-161.
- Hwang C. & Yoon K. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application*. New York. Springer.
- Ismail E. & Ferrell Jr. W. G. 2003. A methodology for selection problems with multiple, conflicting objectives and both qualitative and quantitative criteria. *International of Production Economics* **86**: 187 – 199.
- Kaufmann A. & Gupta M. M. 1991. *Introduction to Fuzzy Arithmetic and Applications*. New York: Van Nostrand Rienhold.
- Olcer A. I. & Odabasi A. Y. 2005. A new multiple attributive group decision making methodology and its application to propulsion/manoeuvring system selection problem. *European Journal of Operational Research* **166**: 93 – 114.
- Olson D. L. 2004. Comparison of weights in TOPSIS models. *Mathematical and Computer Modelling* **40**: 721 – 727.
- Opricovic S. & Tzeng G. H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research* **156**: 445 – 455.
- Saaty T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Tsaur S. H., Chang T. Y. & Yen C. H. 2002. The evaluation of airline service quality by fuzzy MCDM. *Tourism Management* **23**: 107 – 115.
- Tzeng G. H., Lin C. W. & Opricovic S. 2005. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy* **33**: 1373 – 1383.
- Victor B. K. & Chao Y. W. 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.
- Wang L. X. 1997. *A Course in Fuzzy Systems and Control*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Wang Y.-M. & Elhag T.M.S. 2006. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Application* **31**: 309 – 319
- Zadeh L. A. 1965. Fuzzy Sets. *Informat. Control* **8**: 338 – 353.
- Zadeh L. A. 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning I, II, III. *Information Sciences* **8**: 199 – 251, 301 – 357, 43 – 80.
- Zamali T. & Abu Osman M. T. 2004. Pendekatan set kabur sebagai medium pemutusan. Prosiding Seminar Kebangsaan Sains Pemutusan, Pulau Pinang, pp. 117 – 123.
- Zamali T., Abu Osman M. T. & Lazim M. A. 2010. Computing with Words Approach for Fuzzy Group Decision-Making, IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering Research (CHUSER 2010), KL, 5-7 Dec., pp. 928 – 932.
- Zamali T., Lazim M. A. & Abu Osman M. T. 2011. New computation approach for fuzzy group decision-making, IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering Research (CHUSER 2011), Penang, 5-6 Dec., pp. 844 – 848.
- Zamali T., Lazim M. A. & Abu Osman M. T. 2012. Sustainable decision-making model for municipal solid-waste management: Bifuzzy approach. *J. Sustain. Sci. Manage.* **7**(1): 56 – 68.
- Zimmermann H. J. 1991. *Fuzzy Set Theory and Its Application*. 2nd Revised Ed. Boston: Kluwer.

¹*Jabatan Matematik
Fakulti Sains Komputer dan Matematik
Universiti Teknologi MARA 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.iium.edu.my*

**Penulis untuk dihubungi*