

Analisis Komponen Utama Teguh dalam Pembinaan Indeks Kualiti Udara

Azme Khamis & Mokhtar Abdullah

Jabatan Statistik
Fakulti Sains Matematik
Universiti Kebangsaan Malaysia

Abstrak Kajian ini membincangkan rumus baru indeks kualiti alam sekitar yang boleh digunakan untuk memantau parameter udara dan juga parameter kaji cuaca yang lain. Perumusan indeks ini berasaskan kepada analisis komponen utama (AKU) teguh yang memberikan gabungan linear terbaik bagi parameter alam sekitar. Tiga rumus indeks diperkenalkan iaitu indeks kualiti konvensional, indeks kualiti AKU teguh dan indeks pencemar AKU teguh berpemberat asas. Perbandingan ketiga-tiga indeks dilakukan dan didapati indeks pencemar AKU teguh berpemberat asas memberikan alternatif yang lebih baik untuk mengukur aras kualiti alam sekitar.

Katakunci AKU Teguh, Indeks Kualiti, Penganggar M, Penganggar MLT, Penganggar CMB.

Abstract *This study discusses a new formulation of environmental quality indices which can be used for monitoring environmental as well as meteorological parameters. The formulation of the indices is based on robust principal component analysis (PCA) which gives the best linear combination of air parameters. Three formulations are introduced, namely, the conventional quality index, the robust principal component analysis quality index and the base-weighted robust principal component analysis quality index. Comparison with some existing indices were made and it was found that the new indices provide the most reliable results and gave more information on environmental parameters.*

Keywords *Robust PCA, Quality Indices, M estimator, MLT estimator, CMB estimator.*

1 Pengenalan

Kesedaran orang awam tentang masalah pencemaran udara telah bertambah. Oleh itu, maklumat semasa mengenai perubahan aras pencemaran udara amat diperlukan. Indeks pencemaran udara ialah suatu teknik mentafsir yang melibatkan pengubahsuaian data yang

kompleks bagi pencemar-pencemar kepada satu nombor atau satu set nombor supaya data itu lebih difahami. Indeks dan petunjuk amat bermakna bagi meneliti corak, menganalisis program dan maklumat yang penting menerusi konsep yang ringkas dan mudah difahami. Tatacara pengukuran yang lengkap dan mengambilkira bilangan parameter yang penting dapat membantu pembuat keputusan membuat keputusan dengan keyakinan yang tinggi.

Indeks alam sekitar digunakan untuk memberi gambaran keadaan alam sekitar secara mudah kepada semua terutama orang awam. Ia bertanggungjawab sebagai maklumat untuk menentukan corak, menunjukkan secara terperinci keadaan alam sekitar, menolong pihak-pihak yang berkuasa membuat keputusan dan menilai keberkesanan bagi program-program pengawalan, lihat Azman. et. al [1]

Indeks juga boleh dikatakan sebagai gabungan matematik bagi dua atau lebih parameter yang mempunyai kelebihan sekurang-kurangnya dapat menterjemahkan nilai indeks supaya lebih difahami. Contohnya, indeks pengangguran adalah nisbah di antara bilangan mereka yang tidak bekerja dengan jumlah bilangan mereka yang layak bekerja dan indeks taraf hidup pula mungkin merupakan gabungan linear kos bagi set barang-barang dan perkhidmatan. Sesuatu petunjuk fenomena berfungsi sebagai suatu alat bersiap sedia atau berjaga-jaga dan memerhatikan sesuatu perubahan dalam fenomena yang berkaitan.

Ott dan Thom [8] telah menakrifkan indeks sebagai satu skema perubahan bentuk terhadap nilai parameter atau pencemar individu (contohnya, karbon monoksida, sulfur dioksida dan sebagainya) kepada satu set peraturan (misalnya, satu persamaan) yang menterjemahkan nilai-nilai parameter tersebut kepada bentuk yang lebih mampan dan mudah difahami. Sebahagian maklumat mungkin hilang semasa proses membentuk indeks tetapi dengan rekabentuk indeks yang cermat dan tepat, maka maklumat yang hilang itu adalah disebabkan oleh faktor semulajadi dan ia bukan disebabkan oleh kekurangan atau salah tafsir mengenai keputusan.

Pembinaan dan perkembangan indeks pencemaran udara telah lama dipelopori di Amerika Syarikat, berbanding di Malaysia indeks kualiti udara adalah suatu yang baru. Sebarang lapan indeks pencemaran udara yang utama telah dilaporkan dan digunakan secara meluas. Setiap jenis indeks yang dibina adalah berbeza dari segi bilangan pencemar yang diambil kira, pengiraan dan penentu bagi setiap kategori. Di antara indeks-indeks tersebut ialah Greens combined index (CI), Ontario air pollution index (API), Pollution index (PIN-DEX), Oak ridge air quality index (ORAQI), Mitre air quality index (MAQI) dan Extreme value index (EVI). Kertas ini memberikan tumpuan untuk membina satu tatacara untuk menghasilkan indeks kualiti udara, menggunakan kaedah statistik dalam pembinaan indeks kualiti udara dan melihat keupayaan kaedah-kaedah yang digunakan.

2 Kaedah-kaedah Penentuan Indeks

Kaedah pertama adalah kaedah konvensional. Kaedah ini dilakukan dengan setiap pencemar dijelmakan untuk menghasilkan indeks individu secara berasingan yang dipanggil subindeks. Subindeks-subindeks ini kemudiannya diolah untuk menjadi indeks pencemar dan akhirnya indeks kualiti udara ditentukan dengan rumus tertentu. Kaedah kedua adalah kaedah analisis komponen utama teguh. Ia bermula dengan menjalankan analisis komponen utama teguh ke atas setiap pencemar. Kaedah ini menghasilkan komponen utama teguh. Komponen utama ini akan digunakan untuk menghitung indeks pencemar dan indeks kualiti. Kaedah ketiga pula ialah kaedah analisis komponen utama teguh berpemberat asas.

Kaedah ini hampir serupa dengan kaedah ketiga. Ia hanya berbeza dalam penghitungan indeks pencemar dan kualiti. Perumusan indeks secara terperinci mengenai kaedah-kaedah yang digunakan dalam kajian ini akan diterangkan di dalam bahagian seterusnya.

2.1 Kriteria-kriteria Indeks

Ketika membina indeks kualiti/pencemaran udara, beberapa ciri penting seharusnya dipertimbangkan terlebih dahulu. Bagi tujuan itu, Ott dan Thom [8] mencadangkan beberapa ciri yang penting:

- (i) Mudah difahami oleh orang awam
- (ii) Merangkumi pencemar-pencemar utama dan berupaya menerangkan pencemar baru di masa hadapan
- (iii) Berkaitan dengan persekitaran kualiti udara dan kriteria episod
- (iv) Menghubungkan kepada kriteria episod persekutuan (federal episode criteria)
- (v) Pengiraan dibuat dengan cara mudah dan menggunakan andaian yang menasabah
- (vi) Berasaskan kepada premis atau asas saintifik yang menasabah
- (vii) Berlaku keseragaman dengan melihat aras pencemaran udara
- (viii) Mempunyai ruang yang bermakna
- (ix) Menerangkan perubahan dari hari ke hari
- (x) Boleh meramalkan untuk hari berikutnya (pilihan)

3 Metodologi

3.1 Indeks Konvensional

Indeks kualiti udara, IK_K ditakrifkan sebagai

$$IK_K = 1 - IP_K \quad (1)$$

dengan IP_K adalah indeks pencemar konvensional. Indeks pencemar konvensional pula ditakrifkan sebagai

$$IP_K = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^3 IP_{ki} \quad (2)$$

dengan IP_{ki} adalah indeks pencemar bagi parameter yang ke- i dan akhir sekali IP_{ki} boleh ditentukan daripada persamaan di bawah

$$IP_{ki} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^3 w_k \left(\frac{m_{ik}}{S_{ik}} \right), \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ dan } k = 1, 2 \text{ dan } 3, \quad (3)$$

dengan

m_{ik} ialah indeks pencemar yang ke- i bagi persentil yang ke- k

S_{ik} ialah indeks pencemar piawai yang ke- i bagi persentil yang ke- k

M ialah faktor penormalan supaya IK tidak melebihi 1

w_k ialah pemberat bagi setiap persentil.

S_{i1} ialah nilai persentil yang ke-50 (median) untuk pencemar ke- i

S_{i2} ialah nilai persentil ke-85 (satu sisihan piawai) untuk pencemar ke- i

S_{i3} ialah nilai persentil ke-95 (dua sisihan piawai) untuk pencemar ke- i .

3.2 Indeks AKU Teguh

Dalam pembinaan indeks kualiti udara, beberapa parameter telah diambil kira dan parameter tersebut mempunyai perkaitan antara satu sama lain. Hubungan tersebut membolehkan penggunaan analisis komponen utama (AKU) dalam mencari gabungan linear di kalangan parameter-parameter tersebut. Walau bagaimanapun, teknik AKU yang biasa tertakluk kepada andaian bahawa data yang dianalisis adalah data yang bersih, justeru itu ia amat sensitif dengan kehadiran nilai-nilai ekstrem atau terpencil. Maka, kaedah AKU teguh yang tidak terikat kepada andaian yang unggul merupakan satu pendekatan alternatif bagi mengelakkan prestasi kaedah klasik terjejas dengan banyaknya.

Terdapat empat jenis penganggar teguh penting, iaitu penganggar adaptif, penganggar- L , penganggar- M dan penganggar ujian berpangkat.

3.2.1 Penganggaran M bagi Lokasi dan Matriks Kovarians

Katalah $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_n$ ialah suatu sampel rawak daripada suatu taburan dengan fungsi ketumpatan kebarangkalian $f(x - \theta)$ yang selanjur dengan θ ialah parameter lokasi. Logaritma fungsi kebolehjadiannya ialah

$$\begin{aligned} \ln L(\theta) &= \sum_{i=1}^n \ln f(x_i - \theta) \\ &= - \sum_{i=1}^n \rho(x_i - \theta) \end{aligned}$$

dengan $\rho(x) = -\ln f(x)$,

$$\frac{d}{d\theta} \ln L(\theta) = - \sum_{i=1}^n \frac{f'(x_i - \theta)}{f(x_i - \theta)} = \sum_{i=1}^n \psi(x_i - \theta)$$

dan $\rho'(x) = \psi(x)$. Penyelesaian bagi $\sum_{i=1}^n \psi(x_i - \theta) = 0$ memaksimumkan $L(\theta)$ dan dipanggil penganggar M bagi θ .

Bagi kes multivariat, $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \mathbf{X}_3, \dots, \mathbf{X}_n$ mewakili satu sampel rawak daripada taburan yang mempunyai p pembolehubah. Marrona [7] mengemukakan penganggar-penganggar M

bagi vektor lokasi, μ dan matriks kovarians, Σ yang ditakrifkan sebagai penyelesaian kepada sistem

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_1(d_i)(x_i - \mu) = 0$$

dan

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_2(d_i^2)(x_i - \mu)(x_i - \mu)' = \Sigma$$

dengan $d_i^2 = (x_i - \mu)' \Sigma^{-1} (x_i - \mu)$ adalah jarak kuasa dua Mahalanobis: u_1 dan u_2 adalah fungsi-fungsi yang memenuhi beberapa syarat tertentu.

Cerapan x_i yang luar biasa mempunyai kecenderungan untuk mengecilkan korelasi dan meningkatkan varians., lihat Campbell [2]. Ini boleh mengakibatkan cerapan terencil mempunyai nilai kuasa dua Mahalanobis d_i^2 yang kecil dan menyembunyikan sifat pencilannya. Oleh itu adalah wajar d_i^2 yang teguh digunakan. Ini adalah asas kepada tatacara yang dicadangkan oleh Campbell [2], Devlin et. al. [3] dan Marrona [7] untuk memperolehi matriks kovarians yang teguh.

Tatacara yang dikemukakan berbentuk lelaran dan memerlukan pengiraan d_i^2 yang teguh pada setiap langkah, di hitung daripada

$$d_i = \{(\mathbf{x}_i - \mathbf{m}^*)'(\mathbf{S}^*)^{-1}(\mathbf{x}_i - \mathbf{m}^*)\}^{1/2}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Dengan \mathbf{m}^* dan \mathbf{S}^* penganggar terbaru bagi μ dan Σ yang nilai-nilainya boleh didapati pada setiap lelaran. Setiap cerapan diberikan nilai pemberat berdasarkan kepada jarak di. Dengan cara ini, cerapan-cerapan yang mempunyai nilai d_i yang besar akan dikurangkan pengaruhnya dalam pengiraan \mathbf{m}^* dan \mathbf{S}^* yang seterusnya. Secara umumnya, rumus penganggar M bagi min dan matriks kovarians adalah

$$\mathbf{m}^* = \frac{\sum_{i=1}^n w_1(d_i) \mathbf{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_1(d_i)}$$

dan

$$\mathbf{S}^* = \frac{\sum_{i=1}^n w_2(d_i^2)(\mathbf{x}_i - \mathbf{m}^*)(\mathbf{x}_i - \mathbf{m}^*)'}{f[w_2(d_i^2)]}$$

dengan $w_1(d_i)$ dan $w_2(d_i^2)$ adalah fungsi-fungsi pemberat yang sesuai. Dua penganggar M yang dikaji ialah penganggar MLT dan penganggar CMB.

(i) Penganggar MLT

Marrona [7] mencadangkan fungsi pemberat bagi w_1 dan w_2 seperti berikut:

$$w_1(d_i) = \frac{p+v}{v+d_i^2} = w_2(d_i^2).$$

Ia menghasilkan penganggar M bagi taburan- t radial dengan p pembolehubah dan v darjah kebebasan. Taburan- t radial mempunyai fungsi ketumpatan

$$f_{p,v}(x) = C(v + |X|^2)^{-(p+v)/2}$$

dengan C suatu pemalar. Biasanya, v diambil sebagai 1 untuk taburan Cauchy. Ini adalah nilai yang digunakan oleh Devlin et. al [3]. Dengan itu, penganggar kebolehdjian maksimum- t , MLT bagi min dan matriks kovarians ialah

$$\mathbf{m}^*(\text{MLT}) = \frac{\sum_{i=1}^n w_1(d_i) \mathbf{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_1(d_i)}$$

$$\mathbf{S}^*(\text{MLT}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_2(d_i^2) (\mathbf{x}_i - \mathbf{m}^*) (\mathbf{x}_i - \mathbf{m}^*)'$$

dengan $w_1(d_i) = (1+p)/(1+d_i^2) = w_2(d_i^2)$.

(ii) Penganggar CMB

Campbell [2] mencadangkan fungsi-psi ψ menurun-semula dalam $w_1(d) = \psi(d)/d$, iaitu

$$w_1(d_i) = \begin{cases} 1, & \text{jika } d_i \leq a \\ \frac{a}{d_i} \text{eksp} \left[\frac{-(d_i - a)^2}{2c_2^2} \right], & \text{jika } d_i > a \end{cases}$$

dan $w_2(d_i^2) = [w_1(d_i)]^2$ dengan $a = \sqrt{p} + c_1/\sqrt{2}$.

Rasional di sebalik bentuk a ini ialah dengan andaian kenormalan, penjelmaan punca kuasa dua Fisher bagi taburan Khi-kuasadua menghasilkan d yang bertabur hampir Normal, $N(\sqrt{p}, 1/\sqrt{2})$ dan c adalah penghampiran kuantil $N(0, 1)$. Campbell [2] mengesyorkan $c_1 = 2$ dan $c_2 = 1.25$ untuk menghasilkan bentuk menurun semula yang memberikan ciri-ciri keteguhan yang dicadangkan oleh Hampel [4]. Penganggar min dan matriks kovarians mengikut kaedah Campbell ialah

$$\mathbf{m}^*(\text{CMB}) = \frac{\sum_{i=1}^n w_1(d_i) \mathbf{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_1(d_i)}$$

$$\mathbf{S}^*(\text{CMB}) = \frac{\sum_{i=1}^n w_2(d_i^2) (\mathbf{x}_i - \mathbf{m}^*)'}{\sum_{i=1}^n w_2(d_i) - 1}$$

dengan

$$w_1(d_i) = \begin{cases} 1, & \text{jika } d_i \leq a \\ \frac{a}{d_i} \text{eksp} \left[\frac{-(d_i - a)^2}{3.125} \right], & \text{jika } d_i > a \end{cases}$$

dan $w_2(d_i^2) = [w_1(d_i)]^2$ dengan $a = \sqrt{p} + \sqrt{2}$.

Untuk memulakan lelaran, min sampel, \bar{x} dan matriks kovarians sampel, \mathbf{S} digunakan. Namun begitu, jika terdapat data pencilan yang melampau wujud, penganggar-penganggar teguh median, \mathbf{x}_m dan matriks

$$\mathbf{S}_m = \frac{\sum (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_m) (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_m)'}{n - 1}$$

digunakan bagi menggantikan \bar{x} dan \mathbf{S} . Proses lelaran akan dihentikan selepas 25 lelaran atau apabila setiap jelmaan Fisher- z unsur-unsur matriks korelasi, $z(r_{jk})$, menumpu dengan

perbezaan antara dua lelaran berturutan kurang daripada 10^{-3} dengan

$$z(r_{jk}) = \frac{1}{2} \log \left(\frac{1 + r_{jk}}{1 - r_{jk}} \right).$$

Dengan menggunakan penganggar teguh ini didapati ia adalah pilihan terbaik untuk menangani masalah nilai ekstrem atau pencilan. Dikalangan penganggar tersebut didapati ia mempunyai potensi yang hampir serupa. Pembinaan indeks kualiti ini akan menggunakan AKU teguh untuk mendapatkan gabungan linear terbaik dikalangan parameter alam sekitar.

Indeks pencemaran udara, IP_{AKU} ditakrifkan sebagai

$$IP_{AKU} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^3 w \left(\frac{m_{zik}}{S_{zik}} \right) \quad (4)$$

dengan

m_{zik} ialah indeks pencemar daripada komponen utama yang ke- i bagi persentil yang ke- k

S_{zik} ialah indeks pencemar piawai daripada komponen utama yang ke- i bagi persentil yang ke- k .

M adalah faktor penormalan supaya IP_{AKU} tidak melebihi daripada 1.

Nilai m_{zik} boleh juga ditulis sebagai $m_{zik} = \sum \nu_i m_{ik}$ untuk $i = 1, 2, 3, 4, 5$; $k = 1, 2$ dan 3 dengan ν_i ialah pemberat bagi komponen utama yang pertama bagi pencemar yang ke- i dan m_{ik} ialah nilai skor pencemar yang ke- i bagi persentil yang ke- k , manakala S_{zik} boleh ditulis sebagai $S_{zik} = \sum \nu_i S_{ik}$ untuk $i = 1, 2, 3, 4, 5$; $k = 1, 2$ dan 3 dengan ν_i ialah pemberat bagi komponen utama yang pertama bagi pencemar yang ke- i dan S_{ik} ialah nilai skor pencemar piawai yang ke- i bagi persentil yang ke- k .

Akhir sekali, indeks kualiti udara ditakrifkan sebagai

$$IK_{AKU} = 1 - IP_{AKU}. \quad (5)$$

3.3 Indeks AKU Teguh Berpemberat Asas

Kaedah pengiraan indeks ini masih lagi menggunakan gabungan linear parameter yang diperolehi daripada AKU teguh. Biasanya data disukat dengan menggunakan unit yang berbeza-beza mengikut keperluan. Oleh itu, data perlu dipiawaikan sebelum pengiraan indeks dilaksanakan. Bagi tujuan itu, nilai cerapan dibahagikan dengan nilai pada tempoh asas. Nilai ini merujuk kepada nilai Garis Panduan untuk Malaysia (GPM) atau 100 bagi Indeks Kualiti Udara Malaysia (IKUM) yang kemudiannya didarabkan dengan 100. Misalnya, nilai ozon dibahagikan dengan 100 manakala karbon monoksida dibahagikan pula dengan 9.

Persamaan pencemaran udara boleh ditulis sebagai

$$\text{Pencemaran} = \sum_{i=1}^5 \nu_i P_i, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5,$$

dengan ν_i ialah pemberat bagi komponen utama yang pertama bagi pencemar yang ke- i dan P_i ialah pencemar yang ke- i . Seterusnya indeks pencemar udara berpemberat asas pula ditakrifkan sebagai

$$IP_{bw} = \frac{\sum_{i=1}^p \nu_i P_i}{\sum_{i=1}^p \nu_i P_{(GPM)_i}} \times 100, \quad i = 1, 2, 3, \dots, p \quad (6)$$

dengan ν_i ialah pemberat bagi komponen utama yang pertama bagi pencemar yang ke- i dan P_i ialah pencemar yang ke- i . $P_{(GPM)_i}$ ialah pencemar yang ke- i dengan merujuk kepada GPM.

4 Contoh Berangka

Bagi tujuan melaksanakan penghitungan indeks data daripada stesen DBKL telah digunakan untuk kajian kes. Data tersebut adalah data bagi bulan Julai 1995. Penentuan indeks bagi kaedah konvensional dan AKU teguh menggunakan data setiap jam, manakala kaedah AKU teguh berpemberat asas menggunakan data min harian. Hasilnya ditunjukkan dalam jadual-jadual seterusnya.

4.1 Indeks Kualiti Udara Konvensional

Nilai indeks yang diperolehi dalam Jadual 1 dibandingkan dengan kriteria indeks dalam Jadual 2, didapati pada hari ke-6, 11 dan 15 kualiti udara adalah sederhana, manakala hari selainnya adalah baik.

Jadual 1: Nilai indeks yang diperolehi dari hari pertama hingga hari ke-31 dengan kaedah konvensional

Hari	IK_K	Hari	IK_K	Hari	IK_K
1	0.98765*	12	0.985297*	23	0.991623*
2	0.989103*	13	0.98600*	24	0.992928*
3	0.988530*	14	0.985619*	25	0.988749*
4	0.990804*	15	0.983967**	26	0.990904*
5	0.987709*	16	0.986187*	27	0.991060*
6	0.983730**	17	0.986188*	28	0.990746*
7	0.984673*	18	0.987543*	29	0.987088*
8	0.985518*	19	0.989098*	30	0.987283*
9	0.989902*	20	0.987557*	31	0.986627
10	0.986067*	21	0.988818*		
11	0.984196**	22	0.989429*		

Nota: *keadaan udara baik; ** keadaan udara sederhana

Jadual 2: Julat indeks yang sepadan dengan aras kesihatan bagi kaedah konvensional

Nilai Indeks Kualiti, IK_K	Kriteria
0.9844 - 1.0000	Baik
0.9800 - 0.9843	Sederhana
0.8920 - 0.9799	Tidak Sihat
0.8632 - 0.8919	Sangat Tidak Sihat
< 0.8632	Berbahaya

4.2 Indeks Kualiti Udara AKU Teguh

Berdasarkan kepada data setiap jam, jelas terdapat hubungan yang negatif (Jadual 3) antara O_3 dengan CO dan SPM. Secara keseluruhan, kehadiran pencemar-pencemar adalah berkorelasi antara satu sama lain.

Jadual 3: Matriks korelasi kukuh untuk pencemar-pencemar

Pencemar	NO_2	O_3	CO	SO_2	SPM
NO_2	1.0000	0.51870	0.36577	0.64392	0.50924
O_3	0.51870	1.0000	-0.09404	0.19946	-0.09350
CO	0.36577	-0.09404	1.00000	0.43533	0.57800
SO_2	0.64392	0.19946	0.43533	1.00000	0.63730
SPM	0.50924	-0.09350	0.57800	0.63730	1.00000

Persamaan indeks pencemar, IP_{AKU} diberikan oleh

$$\text{Pencemar} = 0.5115 * NO_2 + 0.1731 * O_3 + 0.4209 * CO + 0.5282 * SO_2 + 0.5021 * SPM.$$

Nilai indeks dalam Jadual 4 dibandingkan dengan Jadual 5. Hasilnya menunjukkan bahawa kualiti udara di sepanjang bulan Julai 1995 adalah baik.

4.3 Indeks Kualiti Udara AKU Teguh Berpemberat Asas

Merujuk kepada Jadual 6, diperhatikan terdapat hubungan yang negatif antara ozon dan karbon monoksida. Nilai korelasi antara SPM dengan CO dan NO_2 adalah tinggi iaitu 0.68688 dan 0.57972 masing-masing.

Persamaan indeks pencemar diberikan oleh

$$P_{bw} = 0.5158 * NO_2 + 0.2372 * O_3 + 0.4453 * CO + 0.4433 * SO_2 + 0.5319 * SPM.$$

Nilai indeks yang diperolehi dalam Jadual 7 dibandingkan dengan Jadual 8 untuk melihat aras kualiti udara dan didapati kualiti udara disepanjang bulan Julai 1995 adalah baik.

Jadual 4: Nilai indeks yang diperolehi dari hari pertama hingga hari ke-31 dengan kaedah AKU teguh

Hari	IK_{AKU}	Hari	IK_{AKU}	Hari	IK_{AKU}
1	0.976557*	12	0.952710*	23	0.979616*
2	0.970225*	13	0.962562*	24	0.987227*
3	0.970383*	14	0.959226*	25	0.972323*
4	0.999898*	15	0.959284*	26	0.999404*
5	0.968819*	16	0.962538*	27	0.983399*
6	0.967479*	17	0.954721*	28	0.997236*
7	0.962409*	18	0.970190*	29	0.966092*
8	0.963458*	19	0.979544*	30	0.960177*
9	0.969176*	20	0.964828*	31	0.963570*
10	0.966235*	21	0.977645*		
11	0.959200*	22	0.974858*		

Nota: * keadaan udara baik

Jadual 5: Julat indeks yang sepadan dengan aras kesihatan bagi kaedah AKU teguh

Nilai Indeks Kualiti, IK_{AKU}	Kriteria
0.9388 - 1.0000	Baik
0.9000 - 0.9385	Sederhana
0.8562 - 0.8999	Tidak Sihat
0.5974 - 0.8561	Sangat Tidak Sihat
< 0.5974	Berbahaya

Jadual 6: Matriks korelasi kukuh kaedah berpemberat asas

Pencemar	NO ₂	O ₃	CO	SO ₂	SPM
NO ₂	1.0000	0.55520	0.38772	0.41681	0.57972
O ₃	0.55520	1.00000	-0.26054	0.27116	0.14316
CO	0.38772	-0.26054	1.00000	0.41704	0.68688
SO ₂	0.41681	0.27116	0.41704	1.00000	0.41422
SPM	0.57972	0.14316	0.68688	0.41422	1.00000

5 Perbincangan

Setelah dilaksanakan penghitungan indeks didapati kaedah konvensional memberikan sedikit perbezaan keputusan berbanding dengan kaedah AKU teguh dan AKU teguh berpem-

Jadual 7: Nilai indeks pencemar untuk hari pertama hingga hari ke 31 dengan kaedah AKU teguh berpemberat asas

Hari	IP_{bw}	Hari	IP_{bw}	Hari	IP_{bw}
1	22.71156 *	12	28.58449 *	23	15.97604 *
2	19.57183 *	13	26.26712 *	24	12.57439 *
3	19.93882 *	14	25.55059 *	25	20.30989 *
4	17.16856 *	15	28.77587 *	26	17.12886 *
5	23.58679 *	16	25.99059 *	27	16.62943 *
6	29.34248 *	17	25.08595 *	28	16.17930 *
7	28.97408 *	18	21.78685 *	29	21.79229 *
8	27.14327 *	19	19.49465 *	30	22.26719 *
9	18.52707 *	20	21.95659 *	31	23.51349 *
10	24.81440 *	21	22.01724 *		
11	27.47570 *	22	20.87706 *		

Nota: * keadaan udara baik

Jadual 8: Julat indeks yang sepadan dengan aras kesihatan bagi kaedah AKU teguh berpemberat asas

Indeks Pencemar Berpemberat asas, IP_{bw}	Kriteria
< 47	Baik
47 - 100	Sederhana
101 - 255	Tidak Sihat
256 - 410	Sangat Tidak Sihat
> 410	Berbahaya

berat asas. Ini disebabkan indeks konvensional mengambil nilai purata daripada subindeks-subindeks dan menyebabkan kejadian penggerhanaan. Penggerhanaan berlaku jika satu subindeks yang kecil digabungkan dengan satu subindeks yang besar dan akhirnya indeks yang diperolehi tidak dapat mewakili subindeks-subindeks atau menghilangkan sifat sebenar subindeks tersebut.

Oleh itu kaedah ini adalah sensitif dan dikhuatiri akan memberikan tafsiran yang menyimpang dari keadaan sebenar. Indeks kualiti AKU teguh dan indeks pencemar AKU teguh berpemberat asas mengambil kira gabungan linear setiap pencemar. Hasilnya setiap pencemar diberikan pemberat masing-masing dan seterusnya akan menghilangkan kesan penggerhanaan. Seperti juga dalam kaedah konvensional, julat yang membezakan aras kesihatan bagi indeks AKU teguh adalah sangat kecil. Hal yang tersebut akan memaksa pengguna berhati-hati dengan nilai indeks yang diperolehi supaya tidak berlaku salah pengelasan yang mengakibatkan salah penafsiran. Jika diperhatikan indeks pencemar AKU teguh berpemberat asas, pengiraannya mudah, mudah difahami, lebih komprehensif, julat indeks yang mudah difahami dan mempunyai asas sebagai panduan. Struktur penghitungan in-

deks yang dicadangkan ini adalah menyerupai suatu sistem terbuka. Ini membolehkan ianya digunakan untuk mengira sebarang jenis indeks, tetapi pengguna perlu mengenal-pasti parameter-parameter yang akan digunakan dan perlu berhati-hati sekiranya ingin menakrifkan sesuatu kriteria yang berkaitan dengan indeks yang dibina.

Rujukan

- [1] Z. A. Azman, M. Haslina, O. Fazillah dan L. T. Lay, *A proposed air quality index for Malaysia*, Unit Udara, Universiti Pertanian Malaysia, 1991.
- [2] N. A. Campbell, *Robust Procedures in Multivariate Analysis I. Robust Covariance estimation*, Applied Statistics **29**(1980), 231-257.
- [3] S, J. Devlin, R. Gnandesian dan J. R. Kettenring, *Robust Estimation of dispersion Matrices and Principal Components*, Journal of the American Statistical Association **76**(1981), 354-362.
- [4] F. R. Hampel, *Robust Estimation: A Condensed Partial Survey*, Z. Wahr.verw. Geb. **27**(1973), 87-104.
- [5] Jabatan Alam Sekitar, Environmental Quality Report 1993.
- [6] A. Khamis, *Pembinaan Indeks Kualiti Udara Teguh*, Tesis Sarjana, Universiti Kebangsaan Malaysia, 1996.
- [7] R. A. Marrona, *Robust M-estimators of Multivariate Location and Scatter*, Annals of Statistics **1**(1976), 51-67.
- [8] W. R. Ott dan G. C. Thom, *Air pollution indices: Compendium and assessment of indices used in the United States & Canada*, Ann. Arbor Science, 1976.