

Pengelompokan Kabur dalam Perantauan Kecenderungan Kemarau di Semenanjung Malaysia

(Fuzzy Clustering for Regionalization of Drought Proneness in Peninsular Malaysia)

WAHIDAH SANUSI*, ABDUL AZIZ JEMAIN & WAN ZAWIAH WAN ZIN

ABSTRAK

Dalam kajian ini, pendekatan pengelompokan kabur Gustafson-Kessel (GK) telah digunakan untuk mengelaskan 35 stesen hujan di Semenanjung Malaysia ke dalam rantau homogen. Pertama, algoritma pengelompokan kabur GK digunakan untuk mengenal pasti rantau awal. Kemudian, diuji keserasian dan kehomogenan rantau berkenaan. Akhir sekali, penyesuaian rantau dilakukan untuk mendapatkan rantau homogen. Hasil kajian mendapati 35 stesen hujan kajian boleh dibahagikan kepada enam rantau yang homogen. Rantau 1 meliputi bahagian barat laut dan utara Semenanjung Malaysia, rantau 2, 3 dan 4 meliputi bahagian barat, rantau 5 meliputi bahagian barat daya dan rantau 6 meliputi bahagian timur. Hasil kajian ini juga memperlihatkan bahawa berdasarkan nilai purata Indeks Kerpasan Piawai (SPI) skala masa satu bulan, rantau 2 lebih sering mengalami keadaan kemarau melampau. Walau bagaimanapun, berdasarkan SPI skala masa satu bulan, peristiwa kemarau terjadi secara rawak dalam semua rantau yang dianalisis, bahkan semua rantau tersebut pernah mengalami kejadian kemarau melampau dalam tempoh masa setahun. Hasil kajian ini turut menunjukkan bahawa pendekatan pengelompokan kabur Gustafson-Kessel boleh digunakan untuk membina rantau homogen.

Kata kunci: Indeks Kerpasan Piawai (SPI); pengelompokan kabur Gustafson-Kessel; perantauan; ujian kehomogenan; ujian keserasian

ABSTRACT

In this study, the Gustafson-Kessel (GK) fuzzy clustering method is used to classify the 35 rainfall stations in Peninsular Malaysia into homogeneous regions. First, the GK fuzzy clustering algorithm is applied to identify the initial region. The next step is to test the discordancy and homogeneity of corresponding region. Finally, adjustment of region is done to obtain the homogeneous region. The results showed that, for thirty five rainfall stations studied, these stations could be grouped into six homogeneous regions. The first region covers the northwestern and northern of Peninsular Malaysia, region 2, 3 and 4 cover the western, region 5 covers the southwestern and region 6 covers the eastern. The study also indicates that, based on the average Standardized Precipitation Index (SPI) value for one-month time scale, region 2 experiences more frequent extreme drought condition. However, based on the SPI, drought events randomly occurred in all regions, moreover these regions experience drought events within a year. The results also showed that GK fuzzy clustering method could be applied to construct a homogeneous region.

Keywords: Discordancy test; Gustafson-Kessel fuzzy clustering; homogeneity test; regionalization; Standardized Precipitation Index (SPI)

PENGENALAN

Analisis kelompok merupakan suatu teknik statistik yang digunakan untuk mengelompokkan objek kepada kelas-kelas berdasarkan ukuran kesamaan yang diperoleh. Dalam kaedah ini, satu set data mengelompokkan objek yang mempunyai nilai keserupaan yang tinggi ke dalam satu kelas, manakala objek dalam kelas yang berbeza mempunyai ketakserupaan yang tinggi. Analisis kelompok telah berjaya digunakan untuk mengelompokkan stesen-stesen hujan berdasarkan kepada ciri-ciri iklim setempat. Soltani dan Modarres (2006) telah menggunakan kaedah min, purata dan Ward untuk mengelaskan corak hujan di Iran. Lin dan Chen (2006) telah menggunakan kaedah peta susunan sendiri, K-min dan Ward untuk mengenal pasti rantau homogen dalam analisis frekuensi serantau di

Taiwan. Modarres (2006) pula telah menggunakan kaedah Ward dan momen-L untuk menentukan kehomogenan kumpulan hujan dan taburan frekuensi hujan serantau di Iran. Beberapa analisis kelompok yang kerap digunakan untuk perantauan hujan ialah kaedah K-min, Ward dan pengelompokan kabur (Burn 1989; Sadri & Burn 2011; Zhang et al. 2012). Namun demikian, kaedah K-min dan Ward mempunyai kekangan kerana titik masing-masing hanya boleh termuat dalam satu kelas, manakala kaedah pengelompokan kabur memberikan kelonggaran bahawa titik data boleh tergolong dalam lebih daripada satu kelas.

Pengelompokan kabur telah digunakan secara meluas, seperti dalam bidang pengenalan corak, perlombongan data, pemprosesan imej dan pemodelan kabur (Kaymak & Setnes 2000). Pendekatan kabur jenis C-min telah

digunakan oleh Zhang et al. (2012) untuk mengelompokkan rantau-rantau homogen di Pearl River Basin, China, manakala Sadri dan Burn (2011) pula mengkaji mengenai perantauan data kemarau di Kanada dan turut mendapati bahawa keahlian secara separa dalam algoritma kabur C-min merupakan suatu ukuran yang membantu secara automatik proses perantauan dan juga masa penumpuan bagi pengelasan berlaku dengan agak cepat.

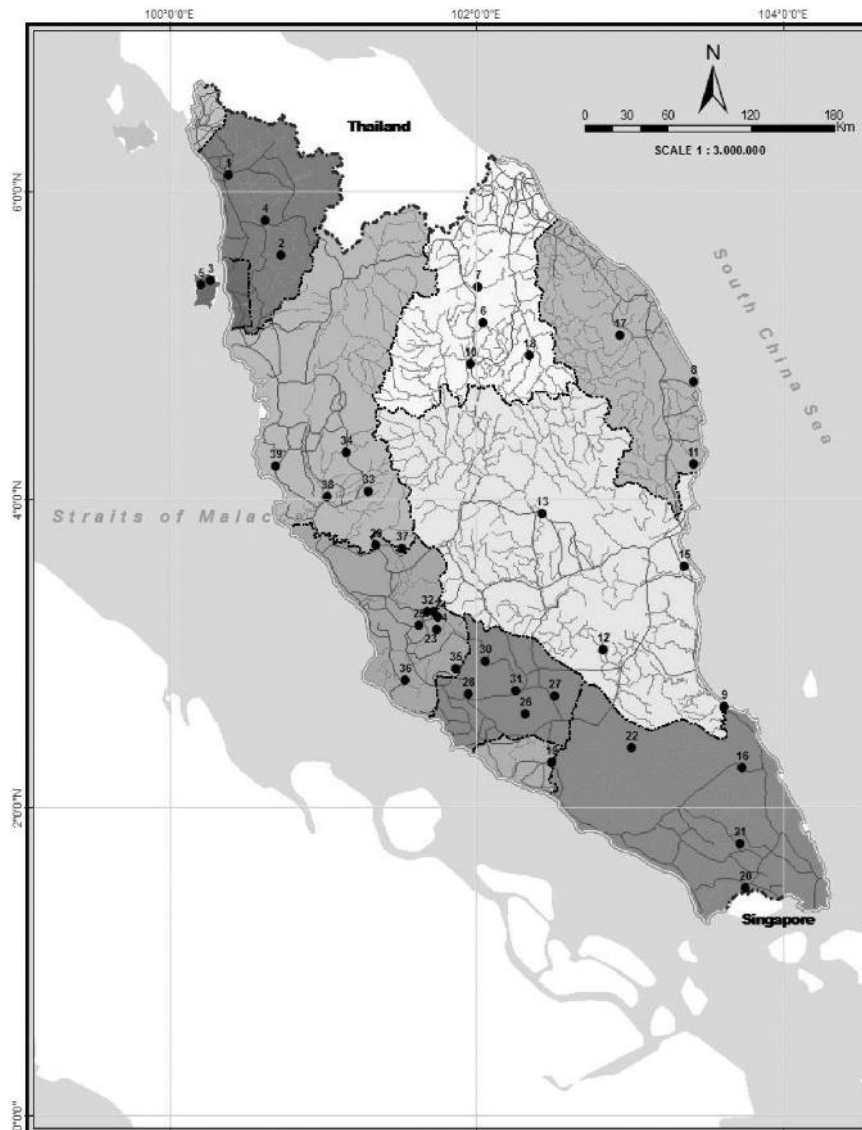
Dalam algoritma pengelompokan kabur C-min, fungsi jarak dikira menggunakan jarak Euclid, dengan jarak ini digunakan untuk mengesan kelas sfera. Algoritma pengelompokan Gustafson-Kessel pula menggunakan fungsi jarak Mahalanobis untuk mengira jarak antara pusat kelas dan titik data, dengan jarak ini memungkinkannya untuk mengenal pasti kelas bukan sfera (Kaymak & Setnes 2000; Liu et al. 2009). Berdasarkan hal tersebut, maka kajian ini bertujuan untuk menggunakan pengelompokan kabur Gustafson-Kessel bagi pengelompokan stesen-stesen hujan ke dalam rantau homogen dan seterusnya memberikan

gambaran tentang keadaan kemarau di setiap rantau di Semenanjung Malaysia.

Kajian ini disusun seperti berikut, bahagian pertama, menghuraikan secara ringkas data dan kaedah yang digunakan dalam analisis. Bahagian kedua membentangkan hasil diikuti perbincangan mengenai hasil daripada indeks kesahihan algoritma pengelompokan kabur Gustafson-Kessel, pengujian keserasian dan kehomogenan terhadap rantau awal, penyesuaian rantau untuk mendapatkan rantau akhir, keahlian setiap rantau dan seterusnya gambaran nilai purata Indeks Kerpasan Piawai (SPI) skala satu bulan bagi setiap rantau. Dalam bahagian terakhir, kesimpulan dan cadangan untuk penyelidikan akan datang pula diuraikan.

DATA DAN KAEDAH

Kajian ini memfokuskan kawasan di Semenanjung Malaysia, seperti ditunjukkan dalam Rajah 1. Data amaun hujan bulanan (mm) daripada 35 stesen hujan



RAJAH 1. Lokasi kawasan kajian

di Semenanjung Malaysia bagi tempoh 1970 - 2008 digunakan dalam kajian ini. Data diperolehi dari Jabatan Pengairan dan Saliran dan Jabatan Kaji Cuaca Malaysia dengan data tersebut dikumpulkan menggunakan alat pengukur hujan manual dan automatik. Dari 35 stesen kajian, tiga stesen mempunyai data lengkap dan stesen-stesen selebihnya mempunyai data tidak lengkap kurang daripada 10%. Data lenyap di stesen berkenaan dianggap melalui kaedah nisbah normal dan kaedah nisbah normal ubah suai (Paulhus & Kohler 1952; Suhaila et al. 2008). Jadual 1 menunjukkan lokasi setiap stesen kajian serta peratusan data lenyap di stesen berkenaan.

Dalam prosedur analisis kelompok, pemboleh ubah ciri-ciri stesen yang digunakan untuk penentuan rantau ialah latitud stesen, longitud, ketinggian daripada paras laut dalam unit meter (m), median hujan maksimum tahunan (mm), kebarangkalian bukan kemarau, kebarangkalian hampir normal, kebarangkalian kemarau sederhana dan kebarangkalian kemarau parah. Pengelasan kategori kemarau adalah berdasarkan pada Indeks Kerpasan Piawai (Jadual 2). Menurut Lin dan Chen (2006) dan Hosking dan

Wallis (1997), memandangkan skala pemboleh ubah ciri-ciri stesen tersebut berbeza-beza dan kaedah pengelompokan sangat sensitif terhadap perbezaan skala, maka pemboleh ubah tersebut haruslah dijelmakan sehingga julatnya dapat disamakan. Ciri-ciri stesen dengan formula bagi penskalaan dengan nilai terletak antara 0 dan 1 ditunjukkan dalam Jadual 3 dengan $k=1, 2, \dots, m$ dan m merupakan bilangan stesen hujan yang akan dikelompokkan.

PENGELASAN KABUR GUSTAFSON-KESSEL

Konsep umum bagi semua pendekatan pengelasan ialah kelas dinyatakan dengan sebuah prototaip kelas yang terdiri daripada sebuah pusat kelas. Prototip dibina melalui algoritma pengelasan dan berfungsi sebagai wakil titik data dalam kelas masing-masing. Algoritma yang digunakan adalah berdasarkan kepada fungsi objektif. Fungsi objektif ini diminimumkan untuk memperoleh kelas optimum (Doring et al. 2006). Algoritma Gustafson-Kessel berdasar pada pengoptimuman berlelar bagi fungsi objektif berikut:

JADUAL 1. Nama stesen hujan di Semenanjung Malaysia, lokasi dan peratus data lenyap

Kod	Nama stesen hujan	Latitud (U)	Longitud (T)	Lenyap (%)
1	Alor Setar	06 06 20	100 23 30	1.32
2	Baling	05 35 00	100 44 10	3.76
3	Bkt. Bendera	05 25 25	100 16 15	0.25
4	Jeniang Klinik	05 48 50	100 37 55	0.44
5	Sg. Pinang	05 23 30	100 12 45	0
7	Dabong	05 22 40	102 00 55	5.63
8	Dungun	04 45 45	103 25 10	0.22
9	Endau	02 39 00	103 37 15	2.85
10	Gua Musang	04 52 45	101 58 10	1.62
11	Kemaman	04 13 55	103 25 20	3.29
13	Paya Kangsar	03 54 15	102 26 00	3.29
14	Genting Klang	03 14 10	101 45 10	1.16
15	Pekan	03 33 40	103 21 25	2.85
17	Kg. Dura	05 04 00	102 56 30	6.31
18	Kg. Aring	04 56 15	102 21 10	5.39
19	Chin-Chin	02 17 20	102 29 30	0.22
20	Johor Bahru	01 28 15	103 45 10	0.88
21	Kota Tinggi	01 45 50	103 43 10	1.23
22	Ldg. Sg. Labis	02 23 05	103 01 00	3.07
23	Ampang	03 09 20	101 45 00	0
24	Gombak	03 16 05	101 43 45	0.93
25	Ldg. Edinburgh	03 11 00	101 38 00	2.42
26	Ldg. Johol	02 36 10	102 19 10	0
27	Ldg. New Rompin	02 43 10	102 30 45	7.02
28	Sikamat Seremban	02 44 15	101 57 20	1.54
29	Sg. Bernam	03 41 53	101 20 60	2.41
30	Petaling Kuala Klawang	02 56 40	102 03 55	3.07
31	Kg. Sawah Lebar	02 45 20	102 15 50	2.85
32	Kg. Sg. Tua	03 16 20	101 41 10	0.47
33	Ldg. Bikam	04 02 55	101 18 00	6.53
34	Kampar	04 18 20	101 09 20	1.52
35	Semenyih	02 53 55	101 52 13	5.26
36	Sg. Manggis	02 49 35	101 32 30	2.85
38	Telok Intan	04 01 00	101 02 10	2.48
39	Sitiawan	04 13 05	100 42 00	3.60

JADUAL 2. Pengelasan kemarau berdasar IKP (Moreira et al. 2006)

Nilai IKP	Kategori kemarau
$IKP \geq 0$	Bukan kemarau
$-1 < IKP < 0$	Hampir normal
$-1.5 < IKP < -1$	Sederhana
$IKP \leq -1.5$	Parah

JADUAL 3. Penjelmaan ciri-ciri stesen

Ciri-ciri stesen (Y)	Pemboleh ubah kelas (X)
Longitud (y_{1k})	$x_{1k} = \frac{y_{1k}}{\text{maksimum}(y_{1k})}$
Latitud (y_{2k})	$x_{2k} = \frac{y_{2k}}{\text{maksimum}(y_{2k})}$
Altitud (y_{3k})	$x_{3k} = \frac{y_{3k}}{\text{maksimum}(y_{3k})}$
Median tahunan hujan maksimum (y_{4k})	$x_{4k} = \frac{y_{4k}}{\text{maksimum}(y_{4k})}$
Kebarangkalian bukan kemarau (y_{5k})	$x_{5k} = y_{5k}$
Kebarangkalian hampir kemarau (y_{6k})	$x_{6k} = y_{6k}$
Kebarangkalian sederhana (y_{7k})	$x_{7k} = y_{7k}$
Kebarangkalian parah (y_{8k})	$x_{8k} = y_{8k}$

$$J(U, V : X) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^m u_{ik}^w d^2(x_k, v_i), \quad (1)$$

tertakluk kepada

$$\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1 \text{ untuk setiap } k = 1, \dots, m, \text{ dan } u_{ik} \in [0, 1] \quad (2)$$

$$\text{dan } 0 < \sum_{k=1}^m u_{ik} \leq m \text{ untuk setiap } i = 1, \dots, c, 1 < c < m, \quad (3)$$

dengan m merupakan bilangan stesen yang akan dikelompokkan; c ialah bilangan rantau; $U = [u_{ik}]$ adalah matriks sekatan kabur daripada matriks data X , dengan u_{ik} menyatakan darjah keahlian dari data stesen x_k di dalam rantau ke- i ; adalah pusat rantau ke- i ; dan d ialah jarak antara data stesen ke- k , x_k , dan pusat rantau ke- i , v_i ; serta w merupakan pemberat, dengan nilai ini menentukan kekaburan pengelasan ($w > 1$).

Pendarab Lagrange digunakan untuk meminimumkan (1) mengikut syarat (2), sehingga diperoleh

$$u_{ik} = \left[\sum_{s=1}^c \left(\frac{d^2(x_k, v_i)}{d^2(x_k, v_s)} \right)^{\frac{1}{(w-1)}} \right]^{-1}, i = 1, \dots, c \text{ dan } k = 1, \dots, m, \quad (4)$$

dan

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^m u_{ik}^w x_k}{\sum_{k=1}^m u_{ik}^w}, i = 1, \dots, c. \quad (5)$$

Dalam pengelasan kabur Gustafson-Kessel, fungsi jarak yang digunakan adalah jarak Mahalanobis yang ditakrifkan sebagai $d^2(x_k, v_i) = (x_k - v_i)^T \Sigma_i^{-1} (x_k - v_i)$, dengan Σ_i menyatakan matriks kovarians rantau (Babuska et al. 2002).

KESAHIHAN KELAS

Satu masalah yang muncul ketika melakukan pengelasan GK terhadap set data adalah mengenal pasti bilangan rantau yang optimum. Untuk mencapai tujuan ini, penilaian terhadap kualiti rantau yang diperoleh berdasarkan kepada beberapa nilai pemberat (yang dipilih perlulah dilakukan. Setakat ini, tidak terdapat satu kriteria piawai untuk mengesahkan hasil pengelasan yang diperoleh itu adalah terbaik, namun beberapa pendekatan boleh diambil kira untuk digunakan dalam pemilihan bilangan rantau yang optimum. Pendekatan tersebut adalah Indeks Pekali Pengelompokan (IPP), Indeks Pengelasan Entropi (IPE), Indeks Pekali Pengelasan Ternormal (IPPT), Indeks Pengelompokan Entropi Ternormal (IPET) Indeks Xie-Beni (IXB) dan Indeks Xie-Beni diubah suai (IXBD) (Hoel & Carl 2009; Pal & Bezdek 1995; Xie & Beni 1991). Bilangan rantau optimum diperoleh apabila nilai IPP atau IPPT adalah maksimum, serta nilai IPE, IPET, IXB atau IXBD adalah minimum.

UJIAN KESERASIAN DATA

Ukuran keserasian bagi stesen i dalam sebuah rantau c , ialah $D_i = \frac{1}{3} n_c (\mu_i - \bar{\mu})^T S^{-1} (\mu_i - \bar{\mu})$, dengan n_c adalah

bilangan stesen dalam rantau c , vektor $\mu_i = [\tau \ \tau_3 \ \tau_4]^T$ adalah satu vektor yang mengandungi nilai pekali variasi, kepencongan dan kurtosis untuk stesen i dalam rantau c , $S = \sum_{i=1}^{n_c} (\mu_i - \bar{\mu})(\mu_i - \bar{\mu})^T$ merupakan matriks kovarians sampel dan $\bar{\mu} = \frac{1}{n_c} \sum_{i=1}^{n_c} \mu_i$ merupakan purata bagi μ_i . Stesen i dikatakan tidak serasi jika statistik D_i yang dikira melebihi nilai kritikal D_g seperti yang diberikan oleh Hosking dan Wallis (1997).

UJIAN KEHOMOGENAN RANTAU

Tujuan ujian kehomogenan rantau ialah untuk mengukur darjah kehomogenan dalam kumpulan stesen-stesen dan untuk menentukan sama ada kumpulan stesen berkenaan dapat membentuk rantau yang homogen. Statistik ujian kehomogenan (Hosking & Wallis 1997) ditakrifkan sebagai

$$H_r = \frac{V_r - \mu_{V_r}}{\sigma_{V_r}}, r = 1, 2, \quad (6)$$

dengan μ_{V_r} dan σ_{V_r} masing-masing merupakan purata dan sisihan piawai daripada V_r , sementara data bagi statistik V_r diperoleh melalui simulasi daripada taburan Kappa empat parameter. Hosking dan Wallis (1997) menyatakan bahawa ulangan simulasi sebanyak 500 kali sudah memadai untuk memberikan nilai μ_{V_r} dan σ_{V_r} yang boleh dipercayai. Kehomogenan sebuah rantau ditentukan berdasarkan kepada kriteria, iaitu jika $H_r \geq 2$, rantau dapat diterima sebagai rantau homogen, jika V_r , rantau berkemungkinan heterogen dan jika V_r , rantau pasti heterogen. Dalam kajian ini, yang dijana daripada taburan Kappa mewakili nilai amaun hujan bulanan stesen kajian masing-masing dalam setiap rantau. Manakala bagi ujian kehomogenan rantau, pengelompokan stesen mengikut nilai V_r yang terhasil daripada nilai pekali korelasi dan kepencongan bagi stesen masing-masing.

PENYESUAIAN RANTAU

Penyesuaian rantau dilakukan apabila terdapat rantau yang tidak serasi atau pun tidak homogen. Tujuan penyesuaian ini ialah untuk memindahkan stesen yang tidak serasi dalam rantau ke rantau lain, untuk meyakinkan bahawa rantau yang terbentuk adalah homogen dan untuk menjamin bahawa setiap rantau mempunyai bilangan stesen yang optimum (Sadri & Burn 2011). Hosking dan Wallis (1997) mengusulkan beberapa jenis penyesuaian dalam membentuk rantau seperti berikut: memindahkan satu atau lebih stesen dari satu rantau ke rantau lain yang lebih sesuai; memecahkan suatu rantau kepada dua atau lebih rantau yang baru; menghapuskan rantau yang setelah dianalisis dan tidak mempunyai stesen yang lebih sesuai; menggabungkan rantau dengan rantau lain yang lebih sesuai; dan membentuk rantau baru.

HASIL DAN PERBINCANGAN

Kajian ini telah mengelompokkan stesen-stesen hujan di Semenanjung Malaysia berdasarkan ciri-ciri stesen yang meliputi latitud, longitud, ketinggian dari paras laut (m), median hujan maksimum tahunan (mm), kebarangkalian bukan kemarau, kebarangkalian hampir normal, kebarangkalian kemarau sederhana dan kebarangkalian kemarau parah. Penentuan bilangan rantau awal dilakukan dengan menggunakan algoritma pengelasan kabur Gustafson-Kessel dengan beberapa bilangan rantau (c) dan nilai pemberat ($w > 1$). Menurut Pal dan Bezdek (1995), bilangan maksimum kelas (rantau) yang digunakan untuk mengelompokkan set data ialah $c_{maks} = \sqrt{m}$, dengan ialah bilangan stesen yang akan dikelompokkan. Dalam kajian ini yang melibatkan 35 stesen hujan, nilai c yang digunakan ialah 2, 3, 4, 5 dan 6. Sementara itu, nilai pemberat $w = 2$ biasanya digunakan (Babuska et al. 2002), namun dalam kajian ini beberapa nilai digunakan iaitu $w = 1.1, 1.2, \dots, 2$, yang bertujuan untuk melihat kesensitifan nilai w terhadap bilangan rantau yang optimum. Bilangan rantau optimum yang dipilih adalah berdasarkan nilai pemberat dengan keenam-enam indeks kesahihan mencapai persetujuan. Merujuk kepada Jadual 4, terdapat enam nilai pemberat yang memenuhi syarat ini. Walau bagaimanapun, hanya nilai pemberat 1.5 memberikan bilangan rantau sebanyak lima, manakala lima nilai pemberat lainnya hanya memberikan bilangan rantau sebanyak dua. Oleh itu, nilai pemberat 1.5 dipilih dalam analisis seterusnya.

Seterusnya, kesemua 35 stesen kemudian dibahagikan kepada 5 rantau berkenaan (Jadual 5). Hasil ujian kehomogenan menyimpulkan 9 stesen ke rantau 1, 12 stesen ke rantau 2, 6 stesen ke rantau 3 dan 4 dan hanya 2 stesen ke rantau 5. Berdasarkan nilai kritikal indeks keserasian rantau, rantau 1 dan 2 didapati mempunyai nilai maksimum indeks keserasian yang melebihi nilai kritikal indeks keserasian, D_g . Oleh yang demikian perlu dilakukan penyesuaian ahli-ahli rantau awal, walaupun rantau-rantau berkenaan sudah memenuhi sifat kehomogenan.

Langkah penyesuaian rantau dilakukan dengan mengeluarkan satu stesen yang tidak serasi dalam rantau 1, tiga stesen dari rantau 2 dan satu stesen di rantau 3. Kelima-lima stesen tersebut bergabung untuk membentuk rantau baru, iaitu rantau 6. Seterusnya dari rantau 2, satu stesen dipindahkan ke rantau 3, dua stesen dipindahkan ke rantau 4 dan satu stesen dipindahkan ke rantau 5. Dari rantau 3, satu stesen dipindahkan ke rantau 5. Pengujian keserasian dan kehomogenan rantau diulang setelah selesai langkah penyesuaian stesen dalam semua rantau. Hasil penyesuaian stesen yang diperoleh ditampilkan dalam Jadual 6 yang menyatakan bahawa rantau 1 memuatkan 8 stesen, 5 stesen dimuatkan dalam rantau 2, 3, 5 dan 6, sementara rantau 4 memuatkan 7 stesen. Jadual 6 turut menunjukkan bahawa semua rantau telah memenuhi sifat keserasian dan kehomogenan, dengan nilai maksimum indeks keserasian setiap rantau lebih kecil daripada nilai kritikal (D_g) dan setiap rantau mempunyai nilai $H_i < 1$, $i =$

JADUAL 4. Nilai indeks kesahihan algoritma pengelompokan kabur Gustafson-Kessel bergantung kepada bilangan rantau (c) dan nilai pemberat (w). Nilai berwarna gelap menunjukkan nilai IPP, IPPT yang terbesar dan nilai IPE, IPET, IXB, IXBD yang terkecil

w	c	Indeks Kesahihan						w	c	Indeks Kesahihan					
		IPP	IPE	IPPT	IPET	IXB	IXBD			IPP	IPE	IPPT	IPET	IXB	IXBD
1.1	2	0.989	0.018	0.977	0.019	0.017	0.018	1.6	2	0.891	0.184	0.782	0.190	0.008	0.009
	3	1.000	0.001	1.000	0.001	0.240	0.240		3	0.737	0.459	0.605	0.472	0.025	0.029
	4	0.998	0.007	0.997	0.007	0.110	0.110		4	0.804	0.365	0.738	0.376	0.043	0.048
	5	0.998	0.005	0.997	0.006	0.037	0.037		5	0.853	0.270	0.816	0.278	0.037	0.041
	6	1.000	0.000	1.000	0.000	0.731	0.731		6	0.785	0.405	0.742	0.417	0.060	0.070
1.2	2	0.999	0.005	0.997	0.005	0.009	0.009	1.7	2	0.865	0.221	0.730	0.227	0.008	0.009
	3	0.966	0.060	0.949	0.061	0.040	0.041		3	0.681	0.548	0.522	0.564	0.080	0.093
	4	0.992	0.019	0.990	0.020	0.040	0.040		4	0.709	0.535	0.611	0.550	0.112	0.129
	5	0.966	0.058	0.958	0.060	0.076	0.080		5	0.654	0.661	0.568	0.680	0.049	0.058
	6	0.972	0.051	0.966	0.052	0.207	0.215		6	0.712	0.575	0.654	0.592	0.043	0.051
1.3	2	0.890	0.182	0.779	0.187	0.434	0.472	1.8	2	0.650	0.526	0.301	0.541	0.098	0.107
	3	0.975	0.048	0.962	0.050	0.019	0.019		3	0.637	0.618	0.455	0.636	0.089	0.100
	4	0.969	0.056	0.958	0.058	0.034	0.035		4	0.638	0.657	0.517	0.676	0.084	0.094
	5	0.972	0.063	0.965	0.065	0.358	0.366		5	0.538	0.886	0.423	0.912	0.072	0.086
	6	0.968	0.058	0.961	0.060	0.229	0.237		6	0.585	0.803	0.502	0.827	0.185	0.216
1.4	2	0.967	0.069	0.935	0.071	0.008	0.009	1.9	2	0.826	0.276	0.653	0.284	0.008	0.008
	3	0.872	0.221	0.808	0.227	0.053	0.060		3	0.596	0.679	0.395	0.699	0.093	0.099
	4	0.896	0.179	0.862	0.184	0.032	0.035		4	0.583	0.750	0.444	0.772	0.078	0.084
	5	0.928	0.137	0.910	0.141	0.036	0.039		5	0.524	0.918	0.405	0.945	0.054	0.059
	6	0.873	0.234	0.848	0.240	0.270	0.309		6	0.484	1.056	0.380	1.087	0.041	0.046
1.5	2	0.715	0.442	0.431	0.455	0.116	0.138	2.0	2	0.808	0.302	0.615	0.311	0.008	0.008
	3	0.819	0.329	0.728	0.338	0.043	0.049		3	0.560	0.731	0.341	0.753	0.095	0.095
	4	0.831	0.314	0.775	0.323	0.205	0.231		4	0.524	0.843	0.366	0.868	0.065	0.065
	5	0.892	0.191	0.865	0.197	0.036	0.040		5	0.473	1.021	0.341	1.051	0.057	0.057
	6	0.814	0.346	0.777	0.356	0.168	0.195		6	0.450	1.118	0.340	1.150	0.055	0.055

JADUAL 5. Bilangan stesen, nilai indeks keserasian (D_i) maksimum dan nilai ukuran kehomogenan (H_1, H_2) untuk setiap rantau

Rantau Awal	Bilangan Stesen	Maksimum	H_1	H_2
1	9	2.651 (= 2.329)	-0.285	-0.282
2	12	3.297 (= 2.757)	0.103	0.166
3	6	1.585 (= 1.648)	-0.348	-0.355
4	6	1.552 (= 1.648)	-0.083	-0.084
5	2	-	-0.146	-0.146

JADUAL 6. Bilangan stesen, nilai indeks keserasian (D_i) maksimum dan nilai ukuran kehomogenan (H_1, H_2) untuk setiap rantau setelah pengubahsuaian

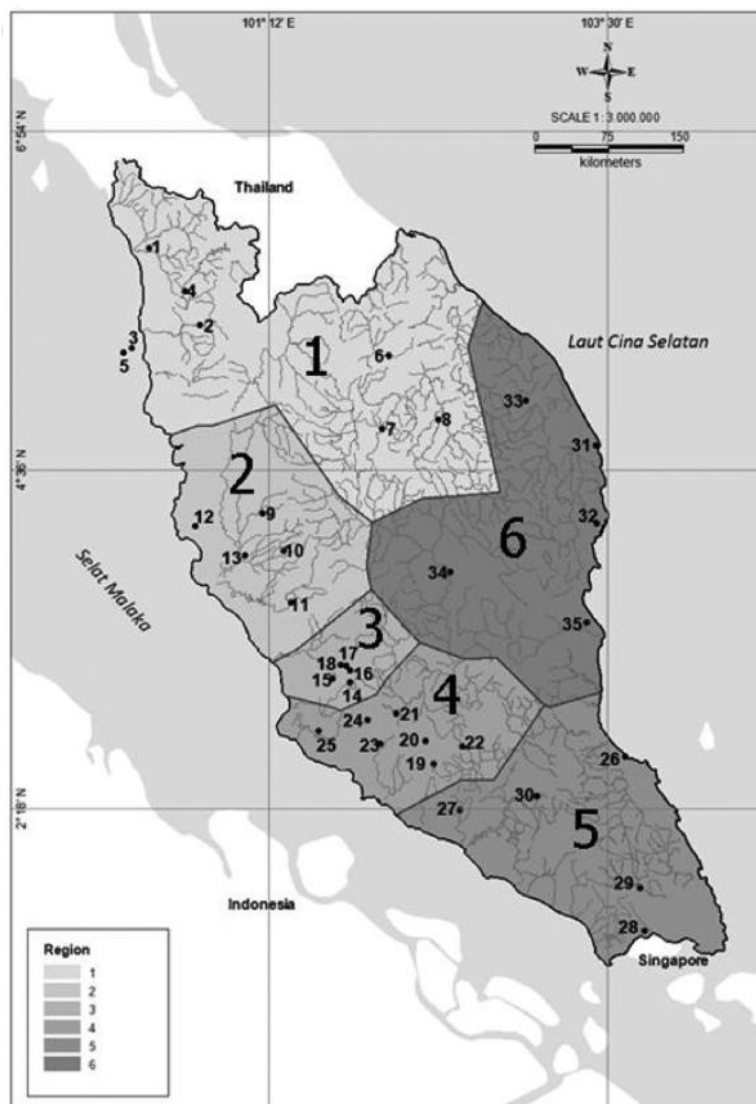
Rantau akhir	Bilangan stesen	D_i Maksimum	H_1	H_2
1	8	1.716 (= 2.140)	-0.169	-0.167
2	5	1.324 (= 1.333)	-0.089	-0.090
3	5	1.332 (= 1.333)	-0.032	-0.032
4	7	1.894 (= 1.917)	-0.227	-0.230
5	5	1.331 (= 1.333)	-0.055	-0.055
6	5	1.323 (= 1.333)	-0.006	-0.007

1,2. Jadual 7 dan Rajah 2 mengandungi nama-nama serta lokasi setiap stesen yang terkandung dalam setiap rantau. Rantau 1 meliputi bahagian barat laut dan utara, rantau 2, 3 dan 4 meliputi bahagian barat, rantau 5 meliputi bahagian barat daya dan rantau 6 meliputi bahagian timur. Hasil

pengelompokan stesen-stesen kajian ini selari dengan hasil pengelompokan stesen-stesen yang dilakukan oleh Sayang et al. (2010) dengan membahagikan Semenanjung Malaysia kepada empat rantau, iaitu Timur, Barat, Barat Laut dan Barat Daya.

JADUAL 7. Nama stesen setiap rantau

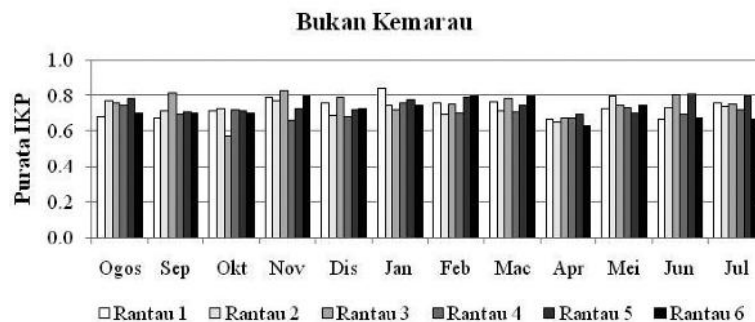
No.	Rantau 1	No.	Rantau 2	No.	Rantau 3
1.	Alor Setar	9.	Kampar	14.	Ampang
2.	Baling	10.	Bikam	15.	Edinburgh
3.	Bkt. Bendera	11.	Sg. Bernam	16.	Genting Klang
4.	Jeniang Klinik	12.	Sitiawan	17.	Gombak
5.	Sg. Pinang	13.	Telok Intan	18.	Sg. Tua
6.	Dabong				
7.	Gua Musang				
8.	Aring				
No.	Rantau 4	No.	Rantau 5	No.	Rantau 6
19.	Johol	26.	Endau	31.	Dungun
20.	Sawah Lebar	27.	Chin-chin	32.	Kemaman
21.	Petaling	28.	Johor Baru	33.	Dura
22.	Rompin	29.	Kota Tinggi	34.	Paya Kangsar
23.	Seremban	30.	Labis	35.	Pekan
24.	Semenyih				
25.	Sg. Manggis				



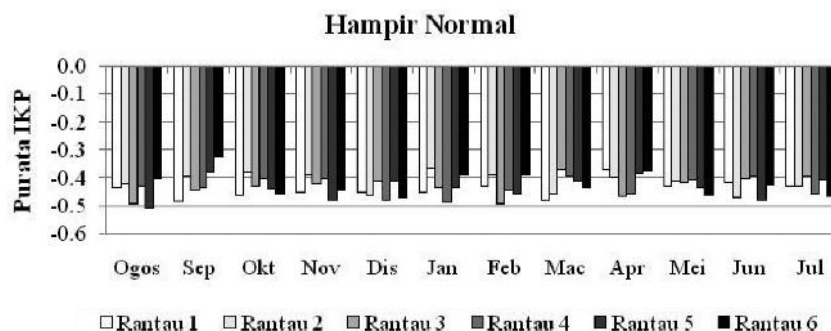
RAJAH 2. Lokasi rantau masing-masing

Rajah 3 menunjukkan bahawa rantau 1 mempunyai nilai purata SPI (\overline{SPI}) tertinggi antara rantau lain bagi kategori bukan kemarau dengan nilai sebesar 0.836 pada bulan Januari, kemudian diikuti oleh rantau 3 pada bulan November ($\overline{SPI} = 0.823$) dan September ($\overline{SPI} = 0.814$). Rajah 4 menunjukkan bahawa untuk kategori hampir normal, rantau 5 mempunyai nilai terendah pada bulan Ogos dengan nilai -0.512, kemudian diikuti oleh rantau 4 dengan nilai -0.488 pada bulan Januari. Pada kategori kemarau sederhana, rantau 5 pula mempunyai nilai terendah berbanding dengan rantau lain pada bulan Februari ($\overline{SPI} = -1.343$), Oktober ($\overline{SPI} = -1.319$) dan Januari ($\overline{SPI} = -1.316$) seperti yang diperlihatkan pada Rajah 5.

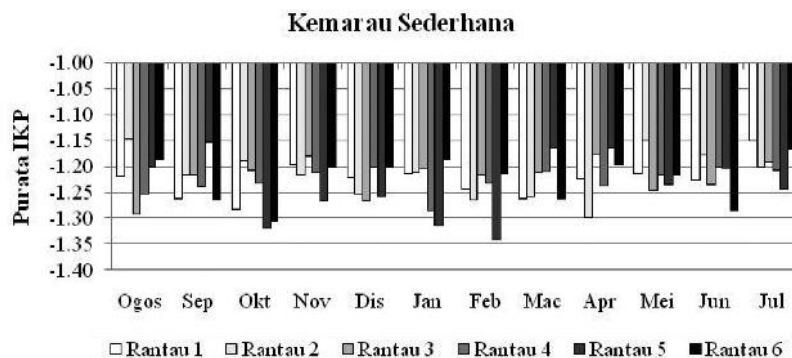
Sementara itu, Rajah 6 memperlihatkan bahawa semua rantau pernah mengalami peristiwa kemarau parah, bahkan rantau 2 lebih kerap mengalami peristiwa kemarau melampau dalam tempoh masa setahun, kemudian diikuti oleh rantau 3 dan rantau 4. Suatu peristiwa kemarau dikatakan melampau apabila mempunyai nilai $SPI < -2$ (Cancelliere et al. 2007). Rantau 2 juga mempunyai nilai \overline{SPI} terendah, iaitu sebesar -2.733 pada bulan Disember, rantau 4 pada bulan November ($\overline{SPI} = -2.508$), rantau 6 pada bulan September ($\overline{SPI} = -2.384$) dan rantau 3 pada bulan Oktober ($\overline{SPI} = -2.325$). Sebaliknya, pada bulan Mei, rantau 1 mempunyai nilai \overline{SPI} tertinggi ($\overline{SPI} = -2.004$) dalam kategori kemarau melampau.



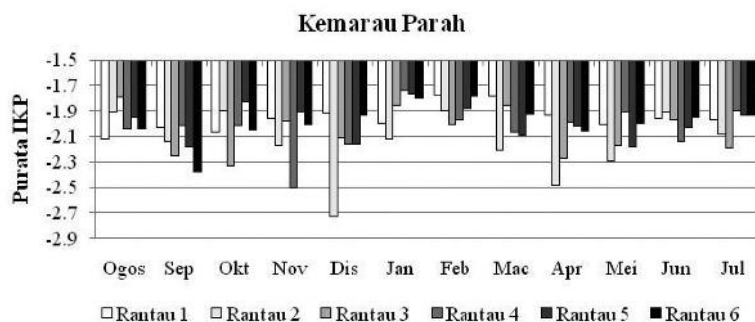
RAJAH 3. Nilai purata SPI bulanan bagi keadaan bukan kemarau



RAJAH 4. Nilai purata SPI bulanan bagi keadaan kemarau hampir normal



RAJAH 5. Nilai purata SPI bulanan bagi keadaan kemarau sederhana



RAJAH 6. Nilai purata SPI bulanan bagi keadaan kemarau parah

KESIMPULAN

Kajian ini telah menggunakan pendekatan pengelompokan kabur Gustafson-Kessel untuk mengelompokkan stesen-stesen hujan kepada rantau homogen berdasar pada kedudukan geografi, ketinggian daripada paras laut (m), median hujan maksimum tahunan (mm), serta kebarangkalian peristiwa kemarau berdasarkan indeks kerpasan piawai skala masa satu bulan.

Hasil yang diperoleh mendapati bahawa Semenanjung Malaysia boleh dibahagikan kepada enam rantau homogen. Rantau 1 meliputi bahagian barat laut dan utara, rantau 2, 3 dan 4 meliputi bahagian barat, rantau 5 meliputi bahagian barat daya dan rantau 6 meliputi bahagian timur. Sayang et al. (2010) juga telah mengelompokkan stesen-stesen hujan di Semenanjung Malaysia ke dalam empat rantau berdasarkan kepada pola taburan hujan bulanan, iaitu Timur, Barat, Barat Laut dan Barat Daya Semenanjung.

Hasil kajian ini juga memperlihatkan bahawa rantau 2 lebih sering mengalami keadaan kemarau melampau dengan nilai IKP < -2 . Pada bulan Disember telah terjadi kemarau melampau tertinggi di rantau 2. Sebaliknya, rantau 1 mengalami keadaan kemarau melampau terendah pada bulan Mei. Kemarau melampau juga terjadi di rantau 3 pada bulan Oktober, di rantau 4 pada bulan November dan rantau 6 pada bulan September. Rantau 5 lebih sering mengalami keadaan kemarau sederhana dalam setahun dengan nilai purata IKP terendah berbanding dengan rantau lain. Secara umum, peristiwa kemarau telah terjadi secara rawak dalam semua rantau yang dianalisis, bahkan semua rantau tersebut pernah mengalami kejadian kemarau melampau dalam tempoh masa setahun.

Meskipun kajian ini telah menghasilkan rantau yang homogen, namun demikian perlu pula untuk mengambil kira penambahan bilangan stesen, sehingga rantau yang terbina lebih mewakili bagi ciri taburan hujan kawasan masing-masing. Untuk penyelidikan masa hadapan, kajian ini akan mengenal pasti taburan yang sesuai bagi rantau masing-masing yang telah terbentuk dan juga akan menilai kemarau serantau melalui keluk kekerapan luas keparahan.

PENGHARGAAN

Kami mengucapkan jutaan terima kasih kepada Jabatan Meteorologi dan Jabatan Pengairan dan Saliran, Malaysia yang telah menyediakan data. Penghargaan ini juga kami tujukan kepada pemerintah propinsi Sulawesi Selatan atas bantuan kewangan kepada penulis pertama. Kajian ini turut dibiayai oleh geran UKM-GGPM-PI-028-2011.

RUJUKAN

- Babuska, R., van der Veen, P.J. & Kaymak, U. 2002. Improved covariance estimation for Gustafson-Kessel clustering. *Fuzzy System 2*: 1081-1085.
- Burn, D.H. 1989. Cluster analysis as applied to regional flood frequency. *Journal of Water Resources Planning and Management* 115: 567-582.
- Cancelliere, A., Mauro, G.D., Bonaccorso, B. & Rossi, G. 2007. Drought forecasting using the standardized precipitation index. *Journal of Water Resources Management* 21: 801-819.
- Doring, C., Lesot, M.J. & Kruse, R. 2006. Data analysis with fuzzy clustering methods. *Computational Statistics & Data Analysis* 51: 192-214.
- Hoel Le Capitaine & Carl Frelicot. 2009. A fuzzy modeling approach to cluster validity. *FUZZ-IEEE*. Korea. August 20-24. pp. 462-467.
- Hosking, J.R.M. & Wallis, J.R. 1997. *Regional Frequency Analysis. An Approach Based on L-Moment*. UK: Cambridge University Press.
- Kaymak, U. & Setnes, M. 2000. *Extended Fuzzy Clustering Algorithms* (No. ERS-2000-51-LIS). Erasmus Research Institute of Management (ERIM).
- Lin, G.F. & Chen, L.H. 2006. Identification of homogeneous rantau for regional frequency analysis using the self-organizing map. *Journal of Hydrology* 324: 1-9.
- Liu, H.C., Jeng, B.C., Yih, J.M. & Yu, Y.K. 2009. Fuzzy C-means algorithm based on standard mahalanobis distances. *Proc. International Symposium on Information Processing*. pp. 422-427.
- Modarres, R. 2006. Regional precipitation climates of Iran. *Journal of Hydrology (NZ)* 45(1): 13-27.
- Moreira, E.E., Paulo, A.A., Pereira, L.S. & Mexia, J.T. 2006. Analysis of SPI drought class transitions using loglinear models. *Journal of Hydrology* 331: 349-359.
- Pal, N.R. & Bezdek, J.C. 1995. A cluster validity for the fuzzy-c-means model. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 3(1): 370-378.

- Paulhus, J.L.H. & Kohler, M.A. 1952. Interpolation of missing precipitation datas. *Mon. Wea. Rev.* 80: 129-133.
- Sadri, S. & Burn, D.H. 2011. A fuzzy C-Means approach for regionalization using a bivariate homogeneity and discordancy approach. *Journal of Hydrology* 401: 231-239.
- Sayang, M.D., Suhaila, J., Wan Zin, W.Z. & Jemain, A.A. 2010. Spatial trends of dry spells over Peninsular Malaysia during monsoon seasons. *Theor. Appl. Climatol.* 99: 357-371.
- Soltani, S. & Modarres, R. 2006. Classification of spatio-temporal pattern of rainfall in Iran using a hierarchical and divisive cluster analysis. *Journal of Spatial Hydrology* 6(2)Fall: 1-12.
- Suhaila, J., Sayang, M.D. & Jemain, A.A. 2008. Revised spatial weighting methods for estimation of missing rainfall data. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 44(2): 93-104.
- Xie, X.I. & Beni, G. 1991. A validity measure for fuzzy clustering. *IEEE. Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 12: 841-847.
- Zhang, Q., Xiao, M. & Chen, X. 2012. Regional evaluation of the meteorological drought characteristics across the Pearl River Basin, China. *American Journal of Climate Change* 1: 48-55.
- Wahidah Sanusi*,
Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Makassar
90224, Parangtambung Makassar, Sulawesi Selatan
Indonesia
- Abdul Aziz Jemain & Wan Zawiah Wan Zin
Pusat Pengajian Sains Matematik
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor
Malaysia
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: w_sanusi@yahoo.com
- Diserahkan: 22 Mei 2013
Diterima: 2 April 2014