

ANALISIS FREKUENSI BANJIR SERANTAU DI SEMENANJUNG MALAYSIA BERDASARKAN PENDEKATAN LQ-MOMEN

ANI SHABRI¹ & ABDUL AZIZ JEMAIN²

Abstrak. Kertas ini bertujuan menjalankan kajian analisis frekuensi banjir serantau bagi aliran sungai tahunan maksimum di Semenanjung Malaysia menggunakan pendekatan LQ-momen. Kaedah LQ-momen dibangunkan untuk digunakan dalam analisis frekuensi banjir serantau bagi mengukur keserasian data, kehomogenan rantau dan pengujian pemadanan bagi mengenal pasti taburan serantau terbaik. Algoritma Gustafson-Kessel (GK) diperkenalkan dalam mengenal pasti rantau homogen Semenanjung Malaysia, dan telah menghasilkan enam rantau homogen yang diuji menggunakan kaedah LQ-momen. Hasil kajian ini menyokong bahawa kaedah LQ-momen secara umumnya berupaya, ringkas dan teguh. Ini membuatkan ianya sebagai alternatif pilihan untuk digunakan dalam analisis frekuensi banjir serantau.

Kata kunci: LQ-momen; L-momen; Gustafson-Kessel; analisis frekuensi banjir serantau; pengujian kesesuaian

Abstract. This paper aims to perform regional flood frequency analysis of the annual flood series in Peninsular Malaysia by using LQ-moment approach. The LQ-moments method was developed to use for regional flood frequency analysis in measuring discordancy, regional homogeneity, and goodness-of-fit test to identify the best regional parent distribution. The Gustafson-Kessel algorithm (GK) is presented to identify the homogenous regions in Peninsular Malaysia and produced six acceptably homogeneous regions that had been tested by the method of LQ-moments. The results shown in this study strongly support the method of LQ-moments in terms of good performance, simplicity and robustness. This made it an attractive option for using in the regional flood frequency analysis.

Keywords: LQ-moment; L-moments; Gustafson-Kessel; regional flood frequency analysis; goodness-of-fit test

1.0 PENGENALAN

Dalam meningkatkan perancangan, mereka bentuk dan pengurusan kejuruteraan sumber air seperti bekalan air, janakuasa, sistem peparitan dan sebagainya, maklumat mengenai magnitud dan frekuensi bagi aliran banjir tahunan diperlukan. Tujuan utama analisis frekuensi adalah untuk memilih satu taburan kebarangkalian yang

¹ Jabatan Matematik, Fakulti Sains, Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor Bahru, Malaysia

² Pusat Pengajian Sains Matematik, Fakulti Sains & Teknologi, UKM 43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan

benar-benar sesuai untuk dipadankan dengan data aliran banjir yang diminati dan seterusnya menganggarkan magnitud kekerapan berlakunya kejadian banjir pada tempoh tertentu. Anggaran magnitud banjir biasanya dilakukan berdasarkan dua pendekatan, iaitu berdasarkan analisis frekuensi banjir tunggal dan analisis frekuensi banjir serantau. Dalam analisis frekuensi banjir tunggal, ianya memerlukan data aliran banjir yang cukup panjang sebaliknya jika data tidak cukup panjang, ia boleh menyebabkan ketidaktentuan yang besar atau ralat dalam menganggar banjir.

Dalam analisis frekuensi banjir serantau (AFS), maklumat daripada stesen-stesen dalam rantau kajian digabungkan bagi mendapatkan anggaran magnitud banjir yang lebih baik. Kaedah ini didapati bukan saja sesuai untuk menganggar magnitud banjir untuk stesen-stesen kajian yang mempunyai siri data yang pendek tetapi ianya juga berupaya untuk menganggar di stesen-stesen kajian yang tidak kedapatan data.

Secara umumnya prosedur AFS melibatkan empat langkah utama, iaitu memeriksa data jika terdapat sebarang kesilapan dalam pemungutan data, mengenal pasti rantau yang homogen mengenal pasti taburan frekuensi dan menganggar parameter taburan tersebut. Dalam AFS, kaedah L-momen didapati sebagai kaedah piawai yang sesuai digunakan dalam semua langkah dalam prosedur AFS dan telah digunakan dengan meluas oleh ramai penyelidik dan pelbagai organisasi di seluruh dunia [7, 8, 10, 12, 13 dan 14].

Dalam kajian ini, kaedah LQ-momen diperkenalkan bagi melihat kesesuaian kaedah ini dalam AFS. Pengujian statistik berasaskan LQ-momen dibangunkan dalam menguji kesesuaian rekod data, menguji kehomogenan rantau, memilih taburan serantau yang sesuai dan menganggar parameter taburan. Keupayaan kaedah LQ-momen akan ditunjukkan menggunakan data aliran banjir di 73 buah stesen dalam Semenanjung Malaysia.

2.0 LQ-MOMEN TABURAN

Katakan x_1, x_2, \dots, x_n adalah cerapan bagi n sampel rawak daripada fungsi taburan kumulatif selanjur $F(x)$ dengan fungsi kuantil $Q(F)$ dan $x_{1:n} \leq x_{2:n} \leq \dots \leq x_{n:n}$ statistik tertib. L-momen ke- r , λ_r ditakrifkan oleh Hosking dan Wallis [6] sebagai

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} E(X_{r-j:r}), \quad r = 1, 2, \dots \quad (1)$$

Manakala Mudholkar dan Hutson [9] mentakrifkan LQ-momen ke- r sebagai

$$\xi_r = r^{-1} \sum_{j=0}^{r-1} (-1)^j \binom{r-1}{j} \theta_{p,\alpha}(X_{r-j:r}), \quad r = 1, 2, \dots \quad (2)$$

$$\text{dengan } \theta_{p,\alpha}(X_{r-j:r}) = pQ_{X_{r-j:r}}(\alpha) + (1-2p)Q_{X_{r-j:r}}(1/2) + pQ_{X_{r-j:r}}(1-\alpha) \quad (3)$$

Ukuran pekali variasi (η_2), kepencongan (η_3) dan kurtosis (η_4) berasaskan nisbah LQ-momen ditakrifkan sebagai

$$\eta_2 = \frac{\xi_2}{\xi_1} \quad (4)$$

$$\eta_3 = \frac{\xi_3}{\xi_2} \quad (5)$$

$$\eta_4 = \frac{\xi_4}{\xi_2} \quad (6)$$

3.0 PENAPISAN DATA

Data yang diperolehi biasanya terdapat kesilapan seperti kesilapan disebabkan oleh kesalahan dalam merekod data, terdapat perubahan dalam jenis atau lokasi tolok ukuran, peraturan manusia atau sebarang gabungan kesilapan ini. Pengujian statistik ini digunakan untuk menguji ketidakteraturan antara nisbah momen di setiap stesen dengan purata nisbah momen bagi keseluruhan stesen dalam setiap rantau homogen yang dikenal pasti. Statistik keserasian ditakrifkan sebagai

$$D_i = \frac{1}{3} N (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}}) \quad (7)$$

dengan

$$\mathbf{S} = \sum_{i=1}^N (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})(\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T$$

$$\bar{\mathbf{u}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{u}_i$$

N = bilangan stesen dalam rantau homogen

dengan $\mathbf{u}_i = (\eta^{(i)} \eta_3^{(i)} \eta_4^{(i)})$ adalah satu vektor yang mengandungi nilai pekali variasi, kepencongan dan kurtosis stesen i . Hosking dan Wallis [6] telah menyediakan nilai kritikal D_g bagi statistik D_i . Jika statistik $|D_i|$ kiraan melebihi nilai kritikal D_g , maka data di stesen i diperiksa jika wujud kemungkinan terdapat kesilapan dan biasanya stesen tersebut akan disingkirkan.

4.0 PEMILIHAN RANTAU HOMOGEN

Penentuan rantau homogen adalah langkah utama dalam sebarang analisis frekuensi banjir serantau. Tujuan utama rantau dibentuk adalah untuk mendapatkan taburan

frekuensi yang sama. Mengenal pasti kehomogenan rantau selalunya peringkat yang paling sukar dalam AFS dan ianya memerlukan pertimbangan yang subjektif. Dalam kajian ini algoritma Gustafson-Kessel (GK) digunakan bagi memilih rantau yang homogen.

4.1 Algoritma Pengkelasan Kabur Gustafson-Kessel

Algoritma pengkelasan kabur GK digunakan dalam kajian ini untuk mengkelaskan set data ke dalam c rantau kabur yang homogen. Algoritma ini dibina berdasarkan pengoptimuman bagi fungsi objektif kabur dan digunakan untuk mengkelaskan data ke dalam subkumpulan homogen yang mempunyai pusat dengan saiz rantau yang hampir sama.

Algoritma GK dibina bagi mendapatkan rantau kabur daripada set data yang dapat meminimumkan fungsi objektif berikut:

$$J(\mathbf{U}, \mathbf{V} : \mathbf{Y}) = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ik}^m d^2(\mathbf{y}_i, \mathbf{v}_k) \quad (8)$$

tertakluk kepada $\sum_{k=1}^c u_{ik} = 1$ untuk $i = 1, \dots, n$ dan $0 \leq \sum_{i=1}^n u_{ik} \leq n$ untuk $k = 1, \dots, c$.

dengan \mathbf{y}'_i adalah vektor cerapan stesen i , \mathbf{v}'_k adalah pusat rantau k , $d^2(\mathbf{y}_i, \mathbf{v}_k)$ adalah jarak antara set data stesen i daripada pusat rantau kabur k dan $u_{ik} \in [0, 1]$ adalah darjah keahlian set data stesen i dalam rantau k [4].

4.2 Ukuran Kehomogenan Rantau

Selepas kumpulan stesen dikenal pasti berdasarkan ciri-ciri fizikal kawasan tadahan, ukuran kehomogenan digunakan bagi menguji kehomogenan kumpulan stesen secara statistik. Tujuan utama ukuran kehomogen adalah untuk mengukur darjah kehomogenan kumpulan stesen dan menentukan sama ada kumpulan stesen dapat membentuk rantau yang homogen. Secara khususnya ukuran kehomogenan digunakan untuk membandingkan variasi momen sampel antara stesen dalam kumpulan stesen yang dianggap rantau yang homogen. Kesemua stesen pada rantau homogen mempunyai momen taburan frekuensi yang sama. Pengujian kehomogenan H ditakrifkan sebagai

$$H_i = \frac{V_i - \mu_{vi}}{\sigma_{vi}}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (9)$$

dengan μ_{vi} dan σ_{vi} masing-masing adalah min dan sisihan piawai bagi V_i yang diperolehi melalui simulasi dari taburan Kappa. N_{sim} ulangan simulasi seharusnya besar supaya menghasilkan μ_v dan σ_v yang boleh dipercayai. Hosking dan Wallis [5] mendapati $N_{sim} = 500$ sudah mencukupi.

Terdapat tiga variasi bagi V_i yang boleh digunakan, iaitu

- (i) Berdasarkan pekali variasi dengan

$$V_1 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i (\eta^{(i)} - \hat{\eta}^R)^2}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

- (ii) Berdasarkan gabungan pekali variasi dan pekali kepencongangan dengan

$$V_2 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i \left\{ (\eta^{(i)} - \hat{\eta}^R)^2 + (\eta_3^{(i)} - \hat{\eta}_3^R)^2 \right\}^{1/2}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

- (iii) Dan berdasarkan gabungan pekali kepencongangan dan pekali kurtosis dengan

$$V_3 = \frac{\sum_{i=1}^N n_i \left\{ (\eta_3^{(i)} - \hat{\eta}_3^R)^2 + (\eta_4^{(i)} - \hat{\eta}_4^R)^2 \right\}^{1/2}}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

$$\hat{\eta}^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i \eta^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad \text{dan} \quad \hat{\eta}_r^R = \frac{\sum_{i=1}^N n_i \eta_r^{(i)}}{\sum_{i=1}^N n_i}, r = 3, 4.$$

Rantau yang dipilih dianggap homogen jika $H_i < 1$, kemungkinan homogen jika $1 \leq H_i < 2$ dan tidak homogen jika $H_i \geq 2$. Hosking dan Wallis [5] mendapati rantau yang benar-benar homogen boleh ditentukan hanya berdasarkan statistik H_i . Ujian statistik H_2 dan H_3 digunakan hanya untuk mengesahkan kehomogenan rantau setelah kehomogenan dikenal pasti berdasarkan ujian statistik H_1 . Reed *et al.* [11] mendapati bahawa walaupun ujian statistik H_2 lemah tetapi ianya masih perlu dipertimbangkan dalam menguji kehomogenan rantau. Cunderlik dan Burn [2] mendapati jika kehomogenan rantau dilakukan hanya berdasarkan ujian statistik H_1 , mungkin banyak stesen dalam rantau yang perlu disingkirkan bagi memenuhi syarat $H_1 < 2$.

4.3 Pemilihan Taburan Serantau Terbaik

Setelah rantau homogen untuk setiap stesen diperolehi, analisis seterusnya adalah memilih satu taburan yang sesuai dipadankan dengan data dalam rantau tersebut. Dalam AFS, pengujian kesesuaian statistik Z yang dicadangkan oleh Hosking dan Wallis [5] didapati begitu sesuai digunakan. Ujian ini digunakan untuk membandingkan purata berpemberat min kurtosis sampel dengan kurtosis taburan populasi. Pengukuran statistik Z ditakrifkan sebagai

$$Z^{Tab} = \frac{v_4^{Tab} - \bar{v}_4}{\sigma_4} \quad (10)$$

dengan

$$\bar{v}_4 = \frac{1}{N_{sim}} \sum_{m=1}^{N_{sim}} v_4^{(m)},$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^{N_{sim}} (\bar{v}_4^{(m)} - \bar{v}_4)^2}{N_{sim} - 1}},$$

dan v_4^{Tab} adalah kurtosis bagi taburan populasi untuk kaedah LQ-momen. Taburan yang menghasilkan $|Z^{Tab}| \leq 1.64$ adalah taburan yang sesuai untuk dijadikan sebagai taburan serantau. Manakala taburan yang menghasilkan nilai $|Z^{Tab}|$ minimum adalah taburan yang terbaik dipadankan dengan data dalam rantau.

Dalam kajian ini lima taburan dengan tiga parameter, iaitu taburan Generalized Extreme Value (GEV), Generalized Logistic (GL), Lognormal 3 parameter (LN3), Pearson 3 parameter (P3) dan Generalized Pareto (GP) yang merupakan taburan yang meluas digunakan dalam analisis frekuensi banjir ini.

4.4 Anggaran Parameter Bagi Taburan Frekuensi Serantau

Setelah ketiga-tiga peringkat analisis frekuensi banjir serantau dipenuhi, parameter bagi taburan serantau perlu dianggarkan. Katakan rantau homogen mempunyai N stesen, dengan setiap stesen ke- i bersaiz n_i dan mempunyai cerapan data $Q_{ij}, j = 1, 2, \dots, n_i$. Cerapan data yang telah skalakan untuk stesen ke- i ditakrifkan sebagai

$$X_{ij} = \frac{Q_{ij}}{\bar{Q}_i} \quad i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, n_i. \quad (11)$$

dengan \bar{Q}_i adalah min aliran banjir untuk stesen ke- i dan X_{ij} diandaikan mempunyai \bar{Q}_i taburan frekuensi yang sama di setiap stesen. Anggaran parameter bagi taburan serantau diperolehi dengan mengabungkan data, X_{ij} setelah diskalakan daripada

semua stesen dalam rantau yang homogen bagi membentuk sampel data tunggal bersaiz, $M \left(M = \sum_{i=1}^N n_i \right)$ [1, 3]. Anggaran parameter bagi taburan serantau diperolehi sama seperti dalam analisis frekuensi banjir tunggal.

Setelah parameter taburan diperolehi, anggaran kuantil bagi taburan serantau untuk stesen ke- i pada tempoh ulangan T tahun ditentukan berdasarkan rumus berikut

$$\hat{Q}_i(T) = \bar{Q}_i q_T$$

dengan q_T dikenali sebagai keluk pertumbuhan bagi taburan terbaik yang dianggarkan menggunakan gabungan set data dalam rantau homogen.

5.0 ANALISIS DATA

Ciri-ciri kawasan tadahan bagi 73 buah stesen di seluruh Semenanjung Malaysia dipertimbangkan dalam analisis banjir serantau bagi memilih rantau homogen. Ciri-ciri tersebut adalah keluasan kawasan tadahan, ketinggian aliran sungai dari paras laut, latitud dan longitud ditunjukkan dalam Jadual 1. Oleh kerana kesemua atribut mempunyai unit yang berbeza, kesemua set data perlu dipiawaikan. Pemilihan penjelmaan dan pemberat yang benar-benar sesuai adalah begitu subjektif, dan tiada satu prosedur atau kaedah yang piawai yang sesuai bagi menentukan pemboleh ubah atau penjelmaan atribut data. Penjelmaan tak linear digunakan ke atas dua atribut: penjelmaan logaritma dilakukan terhadap keluasan kawasan tadahan dan punca kuasa dua terhadap ketinggian aliran sungai dari paras laut. Penjelmaan ini digunakan supaya dapat memberikan keseragaman terhadap nilai ciri-ciri data di dalam keseluruhan stesen, iaitu dengan mengurangkan ketidakseimbangan ciri-ciri data dari beberapa stesen dengan stesen yang lain. Kesemua atribut kemudiannya dipiawaikan dengan dibahagikan setiap atribut dengan sisihan piawai keseluruhan data masing-masing. Akhir sekali, atribut keluasan kawasan didarabkan dengan 3 untuk menunjukkan kepentingan atribut ini. Hosking dan Wallis [6] telah mencadangkan bahawa atribut keluasan kawasan perlu didarabkan dengan 3 bagi menunjukkan kepentingan atribut ini berbanding dengan atribut yang lain. Setelah data dipiawaikan, algoritma GK digunakan untuk menentukan bilangan rantau yang optimum.

5.1 Pengujian Kehomogenan

Oleh kerana nilai α dan p bagi kaedah LQ-momen berada dalam sela 0 dan 0.5, maka wujud tak terhingga nilai anggaran bagi kaedah LQ-momen boleh diperolehi. Bagi mempermudah bagaimana kaedah LQ-momen boleh dibangunkan dalam AFS, hanya satu nilai α dan p perlu ditentukan. Dalam kajian ini hanya gabungan

nilai $\alpha = 0.12$ dan $p = 0.28$ dipertimbangkan bagi membangunkan kaedah LQ-momen.

Pengujian kehomogenan statistik H_i dilakukan ke atas tujuh rantau yang telah dibentuk melalui algoritma GK menggunakan kaedah LQ-momen. Min dan sisihan piawai bagi V_i diperolehi melalui simulasi ($N_{sim} = 500$) dari taburan Kappa.

Nilai maksimum D_i dan statistik H_i yang dikira menggunakan LQ-momen ke atas setiap rantau tanpa penyingkiran sebarang stesen ditunjukkan dalam Jadual 2.

Jadual 2 Pengujian kehomogenan rantau berdasarkan kaedah LQ-Momen

Rantau	Bil. Stesen Awal	Bil. Cerapan	H_1	H_2	H_3	Mak. D_i
1	10	304	3.537	2.847	2.380	1.800
2	4	87	3.947	0.740	-0.346	1.000
3	8	283	3.662	-0.415	-0.853	1.583
4	23	760	3.901	2.544	1.789	4.264
5	7	229	3.637	3.526	3.505	1.966
6	8	276	1.917	0.522	0.546	2.019
7	13	466	3.939	2.995	1.550	3.047

Hasil analisis mendapati rantau yang dihasilkan oleh algoritma GK hanya homogen dari segi statistik untuk rantau 2, 3 dan 6. Pengubahsuaian yang dicadangkan oleh Hosking dan Wallis [6] bagi membentuk rantau yang homogen dilakukan, iaitu dengan menyingkirkan satu atau lebih stesen daripada rantau, menggabung satu rantau dengan rantau lain yang lebih sesuai dan gabungkan stesen yang telah disingkirkan dengan rantau yang sesuai bagi membentuk rantau yang baru dengan saiz yang lebih besar.

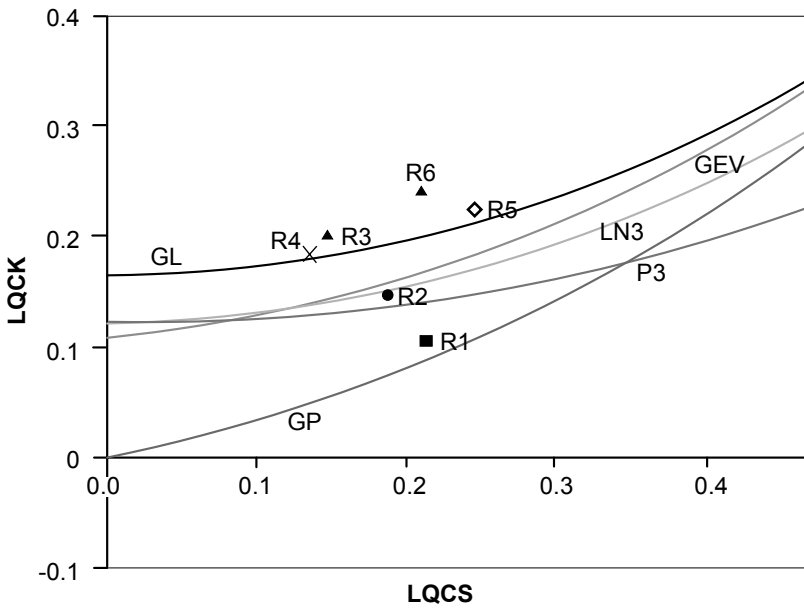
Prosedur penyingkiran dilakukan berdasarkan nilai statistik D_i dan statistik H_1 atau H_2 . Apabila suatu rantau yang diuji didapati tidak homogen, stesen yang mempunyai nilai statistik D_i tertinggi akan disingkirkan. Sekiranya kehomogenan masih tidak dicapai, maka stesen berikutnya yang mempunyai statistik D_i kedua tinggi pula akan disingkirkan. Proses ini diulangi sehingga kehomogenan rantau dicapai. Hasil analisis setelah pengubahsuaian dilakukan ditunjukkan dalam Jadual 3.

Hasil analisis menunjukkan 6 rantau homogen dibentuk melalui proses pengubahsuaian. Kedudukan stesen dalam rantau homogen ditunjukkan dalam Rajah 1.

Saiz rantau terkecil didapati bersaiz 8 dengan bilangan cerapan sebanyak 233 dan saiz rantau terbesar adalah 21 dengan bilangan cerapan sebanyak 676. Jumlah

Jadual 3 Kehomogenan rantau setelah pengubahsuaian dilakukan

Rantau Baru	Gabungan	Bil. Stesen	Bil. Cerapan	H_1	H_2	H_3
1	Rantau 1	8	233	-0.176	1.144	1.560
2	Rantau 2 & 5	10	291	1.870	2.250	1.963
3	Rantau 3	8	283	3.684	1.335	0.707
4	Rantau 4	21	676	-9.953	-3.029	-0.189
5	Rantau 7	11	388	1.822	2.363	1.630
6	Rantau 6 & Stesen Disingkir	12	413	-1.646	-2.206	-0.337



Rajah 1 Gambar rajah nisbah LQ-Momen bagi menentukan taburan terbaik bagi setiap rantau homogen

stesen keseluruhan yang sesuai dalam AFS hanya 70 stesen daripada 73 stesen keseluruhan dengan hanya 3 stesen disingkirkan.

5.2 Pemilihan Taburan Serantau

5.2.1 Gambar Rajah LQ-Momen

Gambar rajah LQ-momen dibina bagi memilih taburan awalan yang sesuai dipadankan dengan data serantau. Rajah 1 menunjukkan plot garisan teori LQCs

dan LQ_{Ck} untuk lima taburan yang berbeza. Min nisbah LQ-momen sampel untuk keenam-enam rantau diplotkan di atas gambar rajah teori LQ_{Cs} dan LQ_{Ck}. Pemilihan taburan serantau terbaik dipilih apabila min nisbah LQ-momen sampel berada berhampiran dengan keluk taburan yang diuji. Hasil analisis mendapati bahawa min LQ_{Ck} bagi rantau 1 didapati berhampiran dengan keluk taburan GP, rantau 2 berada berhampiran keluk taburan P3 dan LN3, manakala rantau 3, 4, 5 dan 6 berada berhampiran dengan taburan GL.

5.2.2 Pemilihan Berdasarkan Statistik Z

Pengujian kesesuaian statistik Z yang dicadangkan oleh Hosking dan Wallis [5] digunakan untuk menguji kesesuaian taburan dipadankan dengan data serantau. Ujian ini digunakan untuk membandingkan purata berpemberat min kurtosis sampel dengan kurtosis taburan kajian. Jadual 4 menunjukkan hasil analisis statistik Z terhadap enam rantau yang homogen.

Jadual 4 Pengujian statistik Z bagi menguji kesesuaian taburan berdasarkan kaedah LQ-momen

Rantau	GEV	GL	LN3	GP	P3	$ Z^{Tab} \leq 1.64$	Taburan Terbaik
1	3.037	4.468	2.503	0.797	1.696	GP	GP
2	0.652	2.151	0.289	3.159	0.302	GEV, LN3, P3	LN3
3	2.059	0.920	2.174	4.777	2.437	GL	GL
4	0.362	0.031	0.391	1.147	0.466	Semua Taburan	GL
5	1.111	0.595	1.570	2.751	2.261	GEV, GL, LN3	GL
6	0.423	0.395	1.008	2.892	1.879	GEV, GL, LN3	GL

Hasil kajian menunjukkan bahawa taburan GL adalah sesuai dipadankan untuk rantau 3, 4, 5, dan 6, taburan GEV dan LN3 sesuai untuk kesemua rantau kecuali rantau 1, taburan GP untuk rantau 1 dan 5, manakala taburan P3 untuk rantau 2, 3 dan 4. Taburan GL didapati terbaik dipadankan dengan rantau 3, 4, 5, dan 6, GP untuk rantau 1 dan LN3 untuk rantau 2.

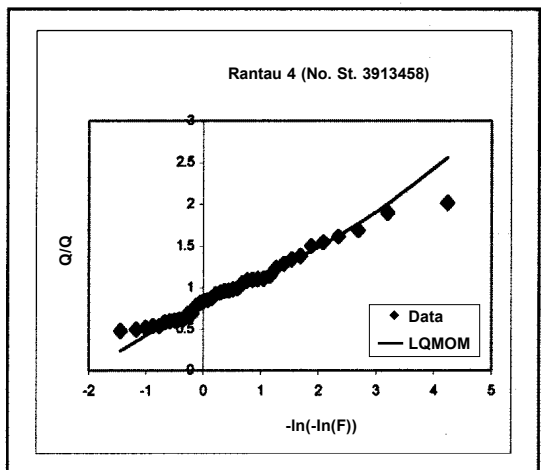
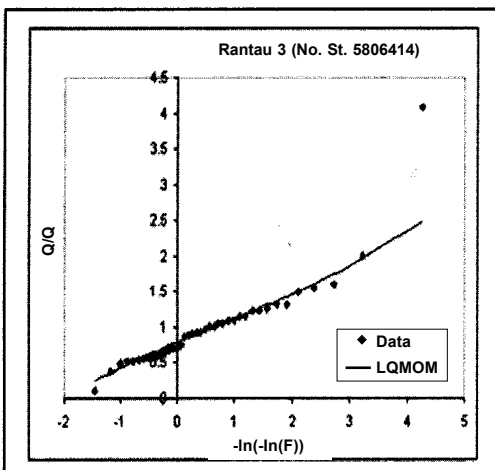
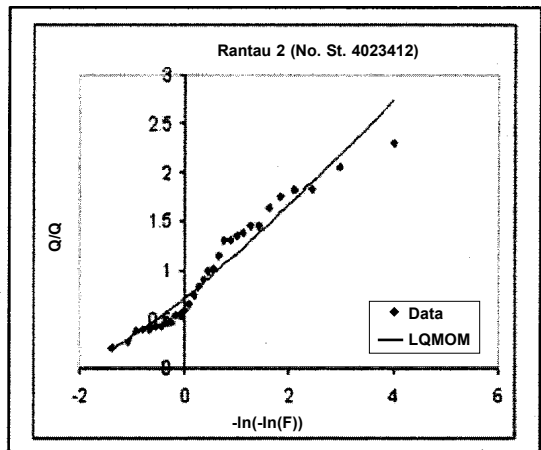
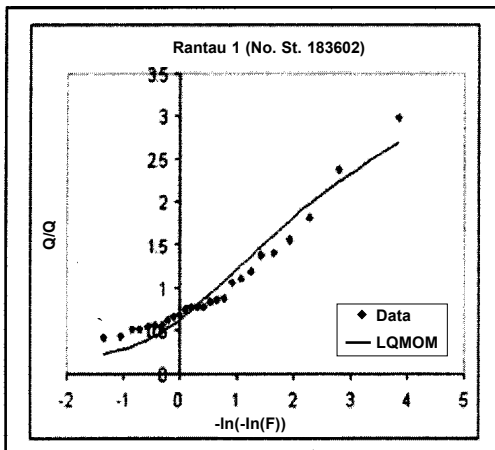
5.3 Anggaran Parameter

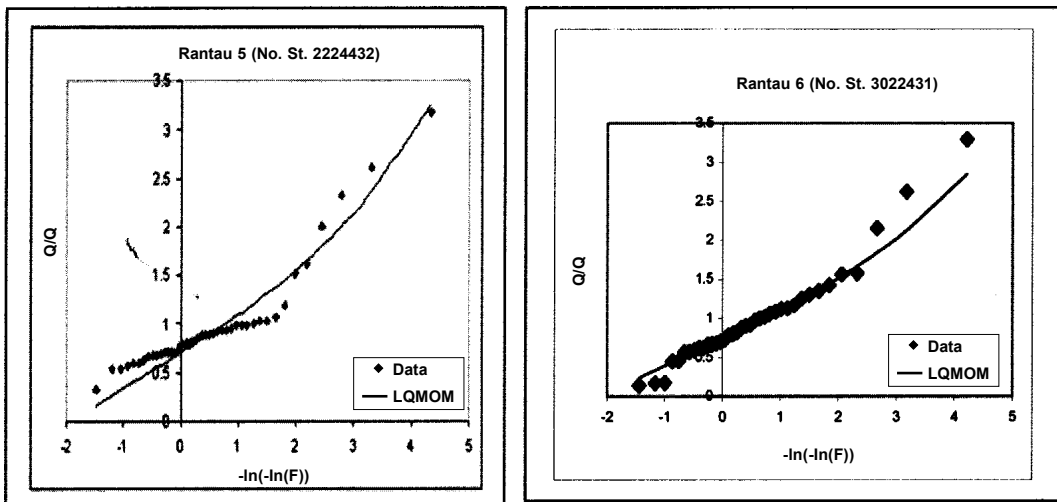
Taburan serantau yang terbaik dipilih berdasarkan pengujian statistik Z digunakan untuk membentuk keluk pertumbuhan. Parameter bagi keluk pertumbuhan taburan serantau yang dianggarkan LQ-momen diperolehi dengan menggabungkan kesemua data setelah dibahagikan dengan min aliran banjir di setiap stesen masing-masing dalam rantau yang homogen. Parameter keluk pertumbuhan bagi taburan terbaik untuk setiap rantau ditunjukkan dalam Jadual 5.

Jadual 5 Parameter dan keluk pertumbuhan bagi taburan serantau berdasarkan kaedah LQ-momen

Rantau	Taburan	LQ-momen			Keluk Pertumbuhan
		k	δ	ϵ	
1	GP	0.2313	0.9812	0.2031	$q(F) = \epsilon + \delta[1 - (1 - F)^k]/k$
2	LN3	-0.1973	0.0709	0.4819	$q(F) = \epsilon + \exp[\delta + k\Phi]$
3	GL	-0.1993	0.2343	0.9065	$q(F) = \epsilon + \delta[1 - (1/F - 1)^k]/k$
4	GL	-0.2104	0.2414	0.9130	$q(F) = \epsilon + \delta[1 - (1/F - 1)^k]/k$
5	GL	-0.2983	0.2740	0.8346	$q(F) = \epsilon + \delta[1 - (1/F - 1)^k]/k$
6	GL	-0.2700	0.2524	0.8729	$q(F) = \epsilon + \delta[1 - (1/F - 1)^k]/k$

Φ adalah fungsi taburan normal piawai





Rajah 2 Perbandingan antara keluk pertumbuhan taburan serantau dengan 6 set data yang berlainan bagi setiap rantau homogen

Rajah 2 menunjukkan perbandingan antara keluk pertumbuhan bagi taburan serantau dengan stesen-stesen kajian untuk setiap rantau. Hasil analisis yang ditunjukkan dalam Rajah 2 secara umumnya mendapati data kajian untuk setiap stesen dalam rantau kajian dapat dipadankan dengan baik dengan keluk pertumbuhan yang dibina berdasarkan kaedah LQ-momen.

6.0 KESIMPULAN

Rantau yang diperolehi melalui algoritma GK secara umumnya, tidak homogen secara statistik. Oleh itu pengubahsuaian dilakukan bagi mendapatkan rantau yang homogen. Dalam menentukan sama ada rantau yang dibentuk melalui algoritma GK homogen secara statistik, pengujian statistik berdasarkan kaedah LQ-momen telah dibangunkan. Hasil kajian mendapati sebanyak enam rantau homogen secara statistik dapat dibentuk. Jumlah stesen keseluruhan yang sesuai dalam AFS berdasarkan kaedah LQ-momen hanya 70 stesen dengan 3 stesen terpaksa disingkirkan. Setelah rantau homogen dikenal pasti, langkah seterusnya adalah memilih taburan serantau terbaik. Gambar rajah LQ-momen dan pengujian statistik Z, digunakan bagi memilih taburan terbaik untuk setiap rantau homogen. Hasil kajian berdasarkan kaedah LQ-momen menunjukkan bahawa taburan GL didapati terbaik dipadankan dengan rantau 3, 4, 5, dan 6, GP untuk rantau 1 dan LN3 untuk rantau 2.

Hasil kajian yang dijalankan menunjukkan kaedah LQ-momen bukan sahaja sesuai untuk menganggar parameter sebarang taburan, tetapi ianya juga dengan jayanya

dapat digunakan dalam menguji data terpencil dalam rantau, menguji kehomogenan rantau, mengenal pasti taburan rantau terbaik dan menganggar kuantil bagi taburan, dan ini menunjukkan bahawa kaedah LQ-momen boleh dijadikan salah satu kaedah yang sesuai untuk digunakan dalam analisis frekuensi banjir serantau.

RUJUKAN

- [1] Cunnane, C. 1989. Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis. *World Meteorological Organization Operational Hydrology Report*. No. 33.
- [2] Cuderlik, J. M. dan D. H. Burn., 2006. Site-Focused Nonparametric Test of Regional Homogeneity Based on Flood Regime. *Journal of Hydrology*. 318: 301-315.
- [3] Ferro, V. dan P. Porto. 2006. Flood Frequency Analysis for Silicy, Italy. *Journal of Hydrologic Engineering* 11(2): 110-122.
- [4] Hoppner, F., F. Klawonn, R. Kruse dan T. Runkler. 1999. *Fuzzy Cluster Analysis Methods for Classification, Data Analysis and Image Recognition*. New York: Wiley.
- [5] Hosking, J. R. M. dan J. R. Wallis. 1993. Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis. *Water Resources Research*. 29(2): 271-281.
- [6] Hosking, J. R. M. dan J. R. Wallis. 1997. *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Momen*. Cambridge University Press.
- [7] Lim Y. H. dan L. M. Lye. 2003. Regional Flood Estimation for Ungauged Basins in Sarawak, Malaysia. *Hydrological Sciences*. 48(1): 79-94.
- [8] Mkhanda, S. H. dan R. K. Kachroo. 2000. Flood Frequency Analysis of Southern Africa II. Identification of Regional Distribution. *Hydrological Sciences Journal*. 45(3): 449-464.
- [9] Mudholkar, G. S. dan A. D. Hutson. 1998. LQ-Moments: Analogs of L-Moments. *Journal of Statistical Planning and Inference*. 71: 191-208.
- [10] Naghavi, B., ASCE. dan F. X. Yu. 1995. Regional Frequency Analysis of Extreme Erecipitation in Louisiana. *Journal of Hydraulic Engineering*. 121(11): 819-827.
- [11] Reed, D. W., D. Jakob dan A. J. Robson. 1999. *Selecting a Pooling Group. Statistical Procedures for Flood Frequency Estimation*. Flood Estimation Handbook 3. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- [12] Sveinsson, G. B., J. D. Salas, M. ASCE dan D. C. Boes. 2002. Regional Frequency Analysis of Extreme Precipitation in Northeastern Colorado and Fort Collins flood of 1997. *Journal Hydrologic Engineering*. 7: 49-63.
- [13] Trefry, C. T., D. W. Watkins dan D. Johnson. 2005. Regional Rainfall Frequency Analysis for the State of Michigan. *Journal Hydrology Engineering*. 10(6): 437-449.
- [14] Yue, S. dan C. Y. Wang. 2004. Possible Regional Probability Distribution Type of Canadian Annual Streamflow by L-moments. *Water Resources Management*. 18: 425-438.