

## Penentuan Taburan Terbaik daripada Hujan Maksimum Bagi Tempoh Ribut yang Panjang Melebihi 48 Jam (MR) dan Hujan Maksimum Tahunan (MT)

(The Best Fitting Distribution of Maximum Storm Rainfall with Long Duration with More than 48 H (MR) and Maximum Rainfall Annually (MT))

R. YENDRA\*, A.A. JEMAIN & W.Z. WAN ZIN

### ABSTRAK

*Kajian ini tertumpu kepada penentuan taburan terbaik untuk memodelkan siri data maksimum tahunan (MT) dan siri maksimum hujan dalam tempoh ribut yang melebihi 48 jam (MR). Data hujan setiap jam dari tahun 1970 hingga 2008 dari 4 stesen hujan di Semenanjung Malaysia telah digunakan dalam kajian ini. Kedua jenis data maksimum ini mempunyai kegunaan yang sangat baik bagi mengesan banjir di kawasan bandar terutama yang disebabkan oleh kegagalan sistem perparitan dalam menampung hujan lebat semasa tempoh ribut yang panjang, manakala kajian yang boleh meramalkan ketahanan empangan dalam masa 50 atau 100 tahun ke hadapan sangat bergantung kepada penentuan taburan hujan maksimum tahunan. Pelbagai taburan yang sering digunakan bagi kajian pemodelan ekstrim digunakan untuk mendapatkan taburan yang terbaik bagi menerangkan taburan kedua jenis data hujan maksimum tersebut. Dua ujian kebagusan model telah digunakan iaitu kaedah bergraf dan kaedah PRKD. Hasil menunjukkan bahawa taburan Pearson Jenis 3 adalah yang terbaik untuk menerangkan taburan hujan maksimum tahunan pada kesemua stesen hujan yang digunakan pada kajian ini. Taburan Pareto dan Gama adalah taburan yang terbaik bagi menerangkan taburan hujan maksimum yang berlaku pada tempoh ribut yang panjang. Hasil kajian penentuan taburan terbaik bagi hujan maksimum tahunan di atas juga telah berjaya dalam meramalkan hujan maksimum yang akan berlaku untuk masa 50 dan 100 tahun yang akan datang.*

*Kata kunci: Gama; hujan ribut; maksimum tahunan; Pareto; Pearson jenis 3; RMSE*

### ABSTRACT

*The focus of this study was to determine the best distribution to represent the annual series of maximum hourly rainfall and the maximum series rainfall from the storm exceeding 48 h. Data from 1970 to 2008 for 4 rain gauge stations in Peninsular Malaysia is used. Both types of maximum data series used in the detection of flood at urban areas, especially those caused by the failure of the drainage system to, while the study to predict the resistance of dam over 50 or 100 years' time is very dependent on the determination of the best fitting distribution for annual maximum rainfall. Various distributions which are often used for modeling extreme events are used to obtain the best distribution for two types of data. The goodness of fit test performed are the graphical and RMSE methods have identified Pearson Type 3 distribution is the best model to explain the annual maximum rainfall at all stations used in this study. On the other hand Pareto and Gamma distribution are the best distribution to describe the maximum rainfall occurring during storm period. The study is successful in predicting the maximum rainfall at 50 and 100 years from now.*

*Keywords: Annual maximum; gamma; pareto; Pearson type 3; RMSE; storm rainfall*

### PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang terjadi pada saat ini telah mengakibatkan kesukaran apabila berlakunya banjir di dalam bandar yang cukup sesak dengan bangunan dan penduduk. Perubahan dalam tahap kelebatan dan tempoh hujan merupakan kesan daripada perubahan iklim yang seterusnya mengakibatkan kegagalan sistem perparitan sedia ada yang dibina untuk menampung air hujan. Kelebatan hujan yang tinggi, disertai tempoh hujan ribut melebihi 48 jam merupakan kejadian yang boleh mengakibatkan banjir ekoran daripada kegagalan sistem perparitan menampung air hujan. Justeru itu, amat penting

kajian mengenai tingkah laku hujan dijalankan. Kajian pemodelan hujan ribut dimulakan dengan memberikan definisi yang tepat bagi setiap keberlakuan ribut tunggal. Ribut tunggal ditakrifkan sebagai kejadian yang mana tempoh hujan yang berlaku berterusan setelah berlakunya tempoh tak hujan yang berterusan paling sedikit selama 6 jam dan diikuti oleh tempoh tak hujan yang berterusan sekurangnya selama 6 jam (Salvadori & De Michele 2004). Yen dan Chow (1980) telah memberikan definisi ribut tunggal sebagai satu siri hujan yang berterusan yang dimulakan dan diakhiri dengan siri tak hujan yang berterusan. Untuk itu dalam kajian ini, pemodelan hujan

maksimum bagi tempoh ribut yang panjang telah diberi tumpuan terutamanya dalam mengenal pasti taburan yang sesuai bagi hujan maksimum yang berlaku pada tempoh ribut yang melebihi 48 jam.

Kajian mengenai pemodelan hujan ribut telah dilakukan oleh beberapa pengkaji. Pemboleh ubah kelembatan, amaun, selang kejadian dan tempoh yang diperolehi melalui ribut tunggal sering digunakan dalam kajian taburan terbaik bagi pemboleh ubah berkenaan (Adams & Howard 1986; Adams & Papa 2000; Eagleson 1972; Goel et al. 2000; Guo 2002; Guo & Adams 1998a, 1998b). Beberapa penyelidik lain telah mencuba untuk mendapatkan fungsi ketumpatan bersama antara pasangan pemboleh ubah hujan ribut. Zhang dan Singh (1991) telah menggunakan fungsi ketumpatan kebarangkalian bivariat marginal eksponen bagi menerangkan hubungan kelembatan dan amaun hujan. Manakala Bachi et al. (1994) telah menggunakan fungsi yang sama bagi menerangkan hubungan kelembatan dan tempoh. Zangh dan Singh (2007) telah mencuba kaedah Copula bagi mengenal pasti hubungan yang berlaku bagi setiap pasangan pemboleh ubah ribut iaitu kelembatan dan tempoh, amaun dan tempoh serta kelembatan dan amaun.

Kebelakangan ini kajian tentang pelbagai isu berkenaan hujan di Semenanjung Malaysia telah dijalankan sebagai contoh, pemodelan rentetan hari basah kering telah dijalankan oleh Deni et al. (2010). Kajian ini membincangkan pelbagai model yang mampu untuk memberikan penerangan terbaik berkenaan keberlakuan rentetan basah kering. Model pelbagai isu berkenaan kelembatan hujan harian pula dikaji oleh Suhailah dan Jemain (2007). Kajian ini juga menjejaki model matematik yang memberikan penerangan terbaik berkenaan kelembatan hujan. Model hujan ekstrim telah dikaji oleh Wan Zin et al. (2009) dan Wan Zin dan Jemain (2010). Semua kajian yang disenaraikan di atas menggunakan maklumat hujan

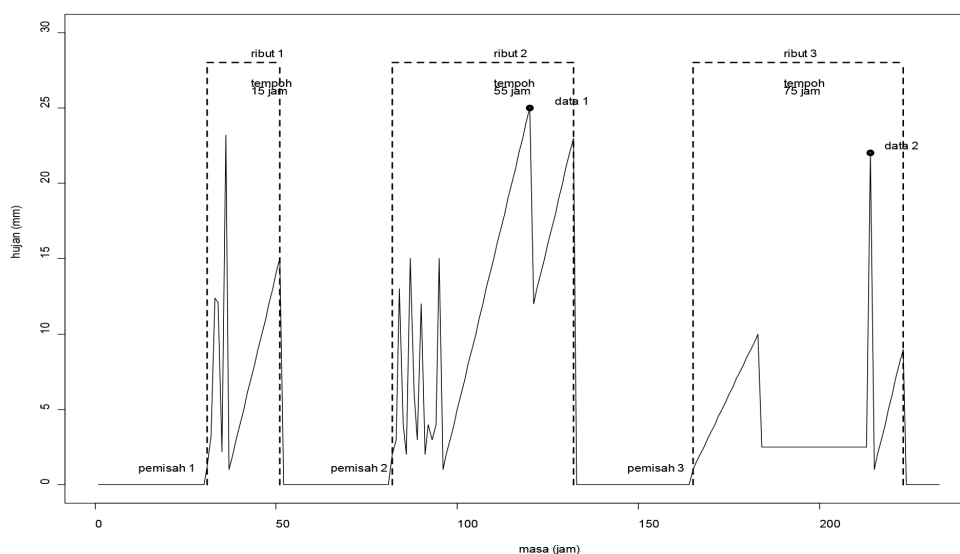
harian untuk tempoh lebih tiga puluh tahun di 50 buah stesen hujan di Semenanjung Malaysia.

Kajian pemodelan hujan ribut yang berasaskan pada data setiap jam di Malaysia tidak banyak dikaji oleh para pengkaji, antara yang telah melakukan kajian hujan ribut adalah Noratiqah dan Jemain (2012) yang telah mengkaji pemodelan hujan berasaskan tingkap dan analisis kejadian ribut dengan menggunakan data hujan setiap jam pada stesen hujan Dungun dan Kemaman. Dalam kajian ini, data cerapan untuk hujan maksimum yang berlaku pada tempoh ribut yang melebihi 48 jam ditakrifkan sebagai data hujan maksimum dalam tempoh ribut yang melebihi 48 jam atau data hujan maksimum yang berlaku pada siri data hujan yang berterusan dengan tempoh hujan sekurang-kurangnya 48 jam. Hal ini boleh dijelaskan seperti dalam Rajah 1.

Rajah 1 menunjukkan kejadian siri hujan dan tak hujan dalam tempoh 225 jam. Daripada Rajah ini, terdapat 3 proses ribut dengan tempoh secara berturutan 15, 55 dan 75 jam. Oleh itu hujan maksimum pada siri hujan dengan tempoh 55 dan 75 jam (tempoh melebihi 48 jam) akan digunakan sebagai data cerapan.

#### DATA

Data hujan untuk setiap jam dari 4 stesen hujan yang berada di kawasan Semenanjung Malaysia iaitu Stesen Batu Hampar, Endau, Kampung Dura dan Sungai Tong yang bermula dari tahun 1970 hingga 2008 telah digunakan dalam kajian ini. Data cerapan untuk hujan maksimum pada tempoh ribut melebihi 48 jam (MR) seperti yang dipaparkan pada Rajah 1 dan data hujan maksimum tahunan (MT) akan digunakan bagi mendapatkan taburan yang terbaik bagi kedua jenis data tersebut. Sebahagian data hujan maksimum MR bagi 4 stesen tersebut dipaparkan dalam Jadual 1.



RAJAH 1. Definisi Ribut

JADUAL 1. Sebahagian data hujan maksimum bagi tempoh ribut melebihi 48 jam

Batu Hampar		Endau		Kampung Dura		Sungai Tong	
temp	max	temp	max	temp	max	temp	max
57	64.50	50	86	49	37.8	106	44.5
52	3.10	194	589	50	17.3	119	16
99	30.40	72	41	170	24.2	76	11.8
175	31.50	51	77	96	47.4	59	43.2
61	10.20	49	52	67	14	50	37.3
65	24.20	94	385	66	28.7	66	35.4
64	22.90	124	719	49	9.1	55	40.9
58	9.90	55	108	102	29.6	50	15.1
63	48.30	67	318	136	73.9	64	34.7
129	14.50	49	96	115	26.5	58	28.7
54	4.50	55	114	58	34.8	66	28.4
54	2.00	62	414	55	23.9	138	30
60	3.30	56	51	60	26.3	58	22.5
49	0.90	86	36	50	26	66	11.3
49	0.70	63	168	60	39.5	58	18.6
72	1.90	87	208	113	16.9	49	37.5
55	1.90	114	118	58	48.9	56	10
103	6.40	148	589	50	22.6	90	49.8
192	12.90	81	113	51	22.6	75	26
85	4.00	50	388	65	28.8	88	19.6
220	24.50	86	273	50	20.8	77	47
158	36.00	53	403	72	53.5	64	12.9
56	3.00	60	716	112	24.8	59	6
177	3.90	59	452	52	14.8	49	8.1
192	0.40	62	229	75	24.4	53	2

temp = tempoh dalam jam, max=maksimum dalam mm

#### KAEDAH

Penyelidikan yang mengkaji tingkah laku data hujan maksimum memerlukan penentuan bagi taburan data hujan maksimum terbaik bagi mewakili data berkenaan. Kajian pertama kali telah dilakukan oleh Fuller 1914 (Nadarajah & Choi 2007). Seterusnya beberapa kajian penentuan taburan hujan maksimum tahunan yang terbaik di kawasan yang berbeza telah dilakukan oleh beberapa penyelidik antaranya, Adamowski dan Bougadis (2003) dan Nguyen et al. (2002) yang telah melakukan kajian ini bagi data hujan di kawasan Kanada; Koutsoyiannis dan Baloutsos (2000) untuk kawasan di Greek; Rakhecha dan Soman (1994) dan Parida (1999) untuk kawasan di India; Aronica et al. (2002) dan Crisci et al. (2002) untuk kawasan di Itali.

Antara taburan yang sering digunakan oleh pengkaji dalam memodelkan data hujan MT dan MR telah dipaparkan dalam Jadual 2.

Penganggaran parameter bagi setiap taburan yang dinyatakan merupakan tahap terpenting dalam kajian ini. Kaedah L-momen untuk penganggaran parameter telah digunakan pada kajian ini. L-momen merupakan satu kaedah yang telah dipopularkan oleh Hosking pada tahun 1990, kaedah ini sering digunakan dalam menganggarkan parameter taburan. Kaedah ini bergantung kepada kombinasi linear statistik tertib, dengan tertib satu hingga 4 adalah masing-masing untuk mengukur lokasi, skala, kepencongan dan kurtosis. Kaedah ini juga lebih

baik jika dibandingkan dengan kaedah kebarangkalian kebolehjadian, kerana kaedah L-momen lebih mudah untuk digunakan dan nilai purata ralat kuasa dua yang lebih kecil. L-momen ke-r diberi tandaan  $\lambda_r$ , didefinisikan sebagai,

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

dengan  $X_{r-k:r}$  adalah pemboleh ubah rawak untuk statistik tertib ke  $(r - k)$ . Ujian kebugusan penyuaiian model pada kajian ini menggunakan dua kaedah, iaitu kaedah bergraf dan kaedah penghitungan nilai purata ralat kuasa dua (PRKD). Kaedah bergraf adalah kaedah yang memadankan graf fungsi ketumpatan kebarangkalian taburan tertentu terhadap histogram data sebenar, taburan yang dijangka terbaik adalah graf taburan yang boleh menghampiri histogram dengan baik. Biasanya kaedah ini akan memberikan lebih daripada 1 graf taburan yang boleh menghampiri histogram dengan baik. Untuk itu kaedah lain seperti nilai PRKD sangat diperlukan bagi memutuskan taburan yang terbaik pada kajian ini. Rumus PRKD bagi kaedah ini adalah,

$$PRKD = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_{in} - \hat{Q}(F_i)}{x_{in}} \right)^2}$$

JADUAL 2. Taburan bagi jenis data MT dan MR

Taburan	Fungsi ketumpatan peluang	Jenis data
Gumbel	$f(x) = \alpha^{-1} \exp\{-(x-\xi)/\alpha\}$ $\exp[-\exp\{-(x-\xi)/\alpha\}],$	MT dan MR
Nilai ekstrem teritlak (GEV)	$f(x) = \alpha^{-1} \exp\{-(1-k)y - \exp(-y)\}$ $y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1-k(x-\xi)/\alpha\} & k \neq 0 \\ (x-\xi)/\alpha, & k = 0 \end{cases}$	MT dan MR
Pareto teritlak (GP)	$f(x) = \alpha^{-1} \exp\{-(1-k)y\}$ $y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1-k(x-\xi)/\alpha\} & k \neq 0 \\ (x-\xi)/\alpha, & k = 0 \end{cases}$	MT dan MR
Logistik teritlak (GL)	$f(x) = \frac{\alpha^{-1} \exp\{-(1-k)y\}}{(1 + \exp(-y))^2}$ $y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1-k(x-\xi)/\alpha\}, & k \neq 0 \\ (x-\xi)/\alpha, & k = 0 \end{cases}$ $f(x) = \frac{\exp(ky - y^2/2)}{\alpha(2\pi)^{0.5}}$	MT dan MR
Log normal 3 parameter (LN3)	$y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1-k(x-\xi)/\alpha\}, & k \neq 0 \\ (x-\xi)/\alpha, & k = 0 \end{cases}$ $f(x) = \frac{(x-\xi)^{\alpha-1} \exp\{-(x-\xi)/\beta\}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$	MT dan MR
Pearson Jenis 3 (P3)	$f(x) = \frac{(x)^{\alpha-1} \exp\{-(x)/\beta\}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$	MR
Gama	$f(x) = \alpha^{-1} \exp\{-(x-\xi)/\alpha\}$	MR
Eksponen	$f(x) = \alpha^{-1} \{1 - k(x-\xi)/\alpha\}^{1/k-1} [F(x)]^{1-h}$	MR
Kapa	$F(x) = [1 - h\{1 - k(x-\xi)/\alpha\}^{1/k}]^{1/h}$	MR

$\xi$  adalah parameter lokasi,  $\alpha$  adalah parameter skala,  $k$  adalah parameter bentuk dan  $h$  adalah parameter bentuk, MT= maksimum tahunan, MR=maksimum tempoh ribut melebihi 48 jam

dengan adalah data cerapan untuk statistik tertib ke-i daripada sampel rawak yang bersaiz  $n$ .

HASIL

Penganggaran parameter untuk taburan hujan maksimum tahunan telah dijalankan dengan menggunakan kaedah L-momen. Jadual 3 hingga 6 menunjukkan anggaran parameter bagi kelima-lima taburan yang digunakan bagi data MT untuk 4 stesen hujan dalam kajian ini.

Ujian penyuaian kebugusan dilakukan dengan menggunakan dua kaedah seperti yang telah dinyatakan. Kaedah bergraf bagi pemodelan hujan MT dan hujan MR dipaparkan dalam Rajah 2 hingga 5.

Daripada Rajah 2(a) dan 2(b), dapat dilihat bahawa terdapat perbezaan tingkah laku hujan bagi MT dan MR pada stesen hujan Batu Hampar. Hal ini boleh diertikan bahawa kajian-kajian yang berhubung kait dengan taburan yang terbaik bagi dua jenis data hujan maksimum ini tidak boleh memberikan andaian yang sama bagi kedua jenis data tersebut. Hal ini perlu diberi tumpuan untuk menjamin hasil kajian akan menghasilkan kesimpulan yang lebih baik. Daripada Rajah 2(a) dapat dilihat bahawa taburan GEV, PT3 dan LN3 dapat menghampiri dengan baik data hujan MT, manakala taburan GP, Gama dan Kapa adalah yang terbaik bagi menerangkan taburan data hujan MR. Seterusnya nilai PRKD turut dibentangkan bagi mengenal pasti dengan lebih jelas taburan yang terbaik bagi kedua

JADUAL 3. Parameter kelima-lima taburan bagi data hujan maksimum tahunan, stesen Batu Hampar

	$\xi$ (lokasi)	$\alpha$ (skala)	$\kappa$ (bentuk)	$\mu$ (lokasi)	$\sigma$ (skala)	$\gamma$ (bentuk)
gev	47.06	10.53	0.07	-	-	-
glo	51.04	6.68	-0.12	-	-	-
gpa	34.88	27.38	0.56	-	-	-
ln3	50.90	11.81	-0.25	-	-	--
pe3	-	-	-	52.41	12.35	0.75

JADUAL 4. Parameter kelima-lima taburan bagi hujan maksimum tahunan, stesen Endau

	$\xi$ (lokasi)	$\alpha$ (skala)	$\kappa$ (bentuk)	$\mu$ (lokasi)	$\sigma$ (skala)	$\gamma$ (bentuk)
gev	482.12	144.99	0.23	-	-	-
glo	534.16	84.48	-0.03	-	-	-
gpa	294.53	458.97	0.88	-	-	-
ln3	533.73	149.72	-0.06	538.38	-	--
pe3	-	-	-	-	150.13	0.19

JADUAL 5. Parameter kelima-lima taburan bagi hujan maksimum tahunan, stesen Kampung Dura

	$\xi$ (lokasi)	$\alpha$ (skala)	$\kappa$ (bentuk)	$\mu$ (lokasi)	$\sigma$ (skala)	$\gamma$ (bentuk)
gev	49.91	11.56	-0.06	-	-	-
glo	54.45	7.90	-0.21	-	-	-
gpa	37.70	25.65	0.31	-	-	-
ln3	54.16	13.93	-0.43	-	-	-
pe3	-	-	-	57.31842	15.83374	1.264984

JADUAL 6. Parameter kelima-lima taburan bagi hujan maksimum tahunan, stesen Sungai Tong

	$\xi$ (lokasi)	$\alpha$ (skala)	$\kappa$ (bentuk)	$\mu$ (lokasi)	$\sigma$ (skala)	$\gamma$ (bentuk)
gev	52.65	9.12	0.03	-	-	-
glo	56.14	5.92	-0.15	-	-	-
gpa	42.39	22.56	0.48	-	-	-
ln3	55.98	10.47	-0.31	-	-	-
pe3	-	-	-	57.63	11.17	0.91

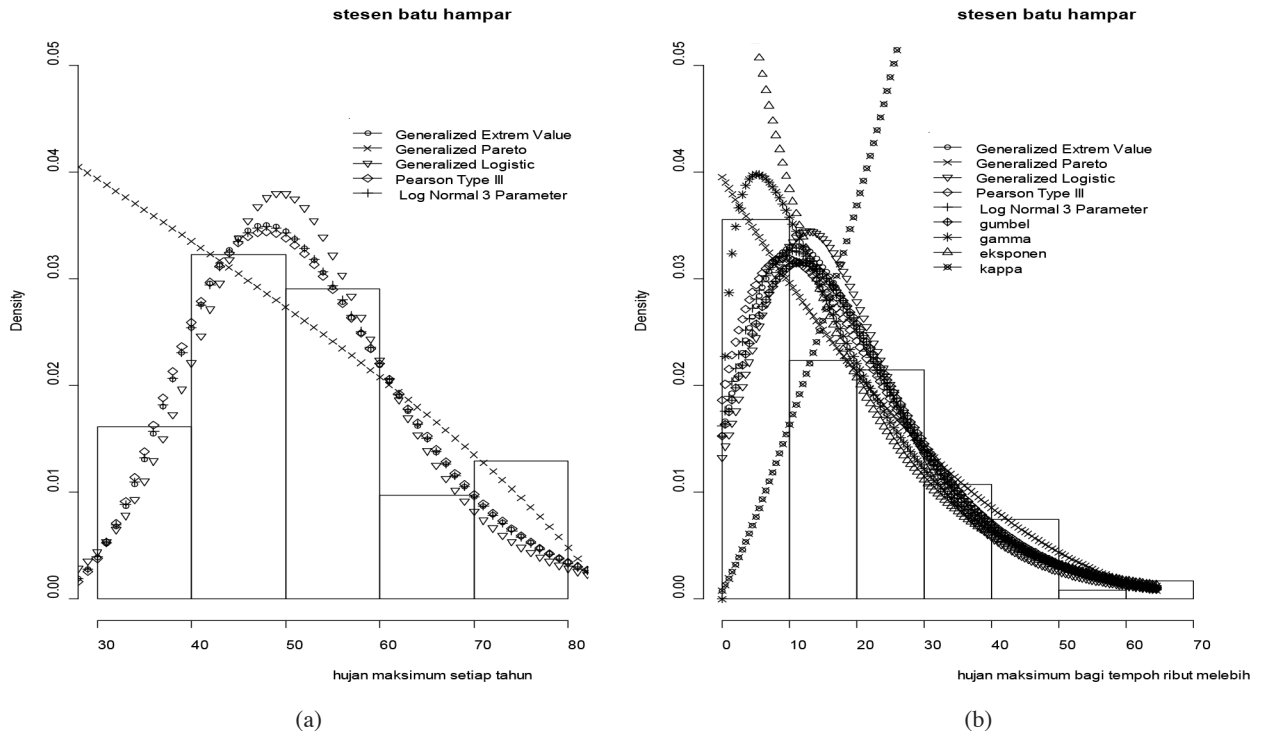
Seterusnya dengan menggunakan kaedah yang sama, nilai anggaran parameter taburan bagi data MR dibentangkan pada Jadual 7 hingga 10

jenis data hujan maksimum ini. Untuk itu Jadual 11 turut pula dibentangkan bagi tujuan ini. Daripada Jadual 11 didapati bahawa taburan Pearson Jenis 3 adalah yang terbaik bagi menerangkan taburan data hujan MT manakala taburan Pareto adalah yang terbaik bagi menerangkan taburan hujan MR.

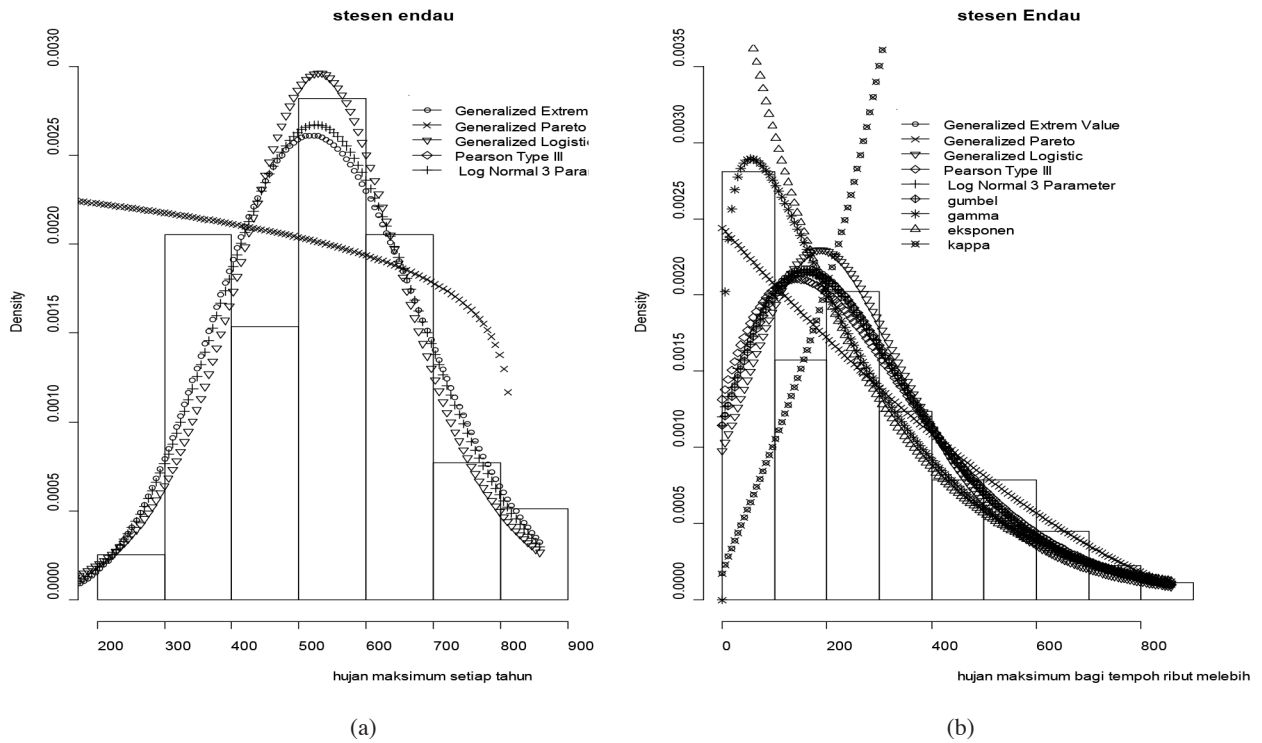
Seterusnya pada Rajah 3 juga telah dibentangkan dua kaedah bergraf untuk mendapatkan taburan terbaik bagi menerangkan taburan data hujan MT (c) dan taburan data hujan MR (d) untuk stesen hujan Endau. Daripada Rajah 3(c) terdapat 3 taburan yang didapati boleh menghampiri histogram data MT dengan baik iaitu GEV, PT3 dan LN3. Manakala daripada Rajah 3(d) pula terdapat 3 taburan yang boleh menghampiri histogram data MR iaitu GP, Gama dan Kapa. Bagi memilih yang terbaik daripada 3 taburan di atas, nilai PRKD seperti yang dibentangkan pada Jadual 11 turut pula dibentangkan. Daripada jadual boleh diputuskan bahawa taburan GEV adalah yang terbaik bagi

menerangkan taburan data hujan MT, manakala bagi hujan MR boleh diputuskan bahawa Gama dan Kapa adalah yang paling sesuai.

Seterusnya daripada Rajah 4 dapat diputuskan bahawa terdapat 4 taburan yang boleh menghampiri dengan baik bagi histogram data hujan MT (e) yang berlaku pada stesen hujan Kampong Dura iaitu GEV, GL, PT 3 dan LN3, makala histogram data hujan MR (f) telah pula dihampiri dengan cukup baik oleh taburan PT3, GP dan Gama. Nilai PRKD bagi belbagai taburan di atas turut pula dibentangkan pada Jadual 11, daripada jadual tersebut didapati bahawa taburan Pearson Jenis 3 adalah yang terbaik bagi menerangkan taburan data hujan MT, manakala taburan Gama adalah yang terbaik bagi menerangkan taburan data hujan MR. Kajian yang sama juga dijalankan bagi stesen hujan Sungai Tong, daripada kaedah graf seperti yang dibentangkan pada Rajah 5 dan uji GOF seperti yang dibentangkan pada Jadual 11 dapat pula diputuskan bahawa taburan hujan MT boleh



RAJAH 2. Graf taburan hujan MT (a) dan graf hujan MR (b)



RAJAH 3. Graf taburan hujan MT (c), graf hujan MR (d)

diterangkan dengan baik oleh Pearson Jenis 3 manakala taburan Gama adalah yang terbaik bagi menerangkan taburan hujan MR.

Taburan terbaik yang telah dikenal pasti bagi menerangkan siri data hujan maksimum tahunan akan

digunakan untuk memperoleh nilai ulangan 50 dan 100 tahun. Nilai ulangan ini boleh didapati dengan mendapatkan fungsi kuantil taburan terbaik bagi MR dan MT dengan menukarkan nilai P kepada  $1/T$  ( $T = 50$  dan  $100$ ). Nilai ulangan ini boleh digunakan bagi meramalkan nilai

JADUAL 7. Parameter taburan bagi hujan maksimum dalam tempoh ribut melebihi 48 jam, stesen Batu Hampar

	$\xi(\text{lokasi})$	$\alpha(\text{skala})$	$\kappa(\text{bentuk})$	$h(\text{bentuk})$	$\mu(\text{lokasi})$	$\sigma(\text{skala})$	$\gamma(\text{bentuk})$	$\alpha(\text{bentuk})$	$\beta(\text{skala})$
gev	11.48	11.14	-0.05	-	-	-	-	-	-
glo	15.84	7.56	-0.2	-	-	-	-	-	-
gpa	-0.38	25.06	0.33	-	-	-	-	-	-
ln3	15.56	13.34	-0.42	-	-	-	-	-	-
pe3	-	-	-	-	18.46	15.01	1.22	-	-
ekp	2.28	16.18	-	-	-	-	-	-	-
gbl	11.73	11.67	-	-	-	-	-	-	-
kpa	1.52	22.63	0.28	0.90	-	-	-	-	-
gma	-	-	-	-	-	-	-	1.39	13.28

JADUAL 8. Parameter taburan bagi hujan maksimum dalam tempoh ribut melebihi 48 jam, stesen Endau

	$\xi(\text{lokasi})$	$\alpha(\text{skala})$	$\kappa(\text{bentuk})$	$h(\text{bentuk})$	$\mu(\text{lokasi})$	$\sigma(\text{skala})$	$\gamma(\text{bentuk})$	$\alpha(\text{bentuk})$	$\beta(\text{skala})$
gev	160.97	168.94	-0.01	-	-	-	-	-	-
glo	226.47	112.45	-0.18	-	-	-	-	-	-
gpa	-23.12	395.70	0.39	-	-	-	-	-	-
ln3	222.92	198.62	-0.37	-	-	-	-	-	-
pe3	-	-	-	-	260.75	217.99	1.08	-	-
ekp	23.60	237.15	-	-	-	-	-	-	-
gbl	162.01	171.07	-	1.13	-	-	-	-	-
kpa	-70.29	460.88	0.47	-	-	-	-	-	-
gma	-	-	-	-	-	-	-	1.27	205.36

JADUAL 9. Parameter taburan bagi hujan maksimum dalam tempoh ribut melebihi 48 jam, stesen Kampung Dura

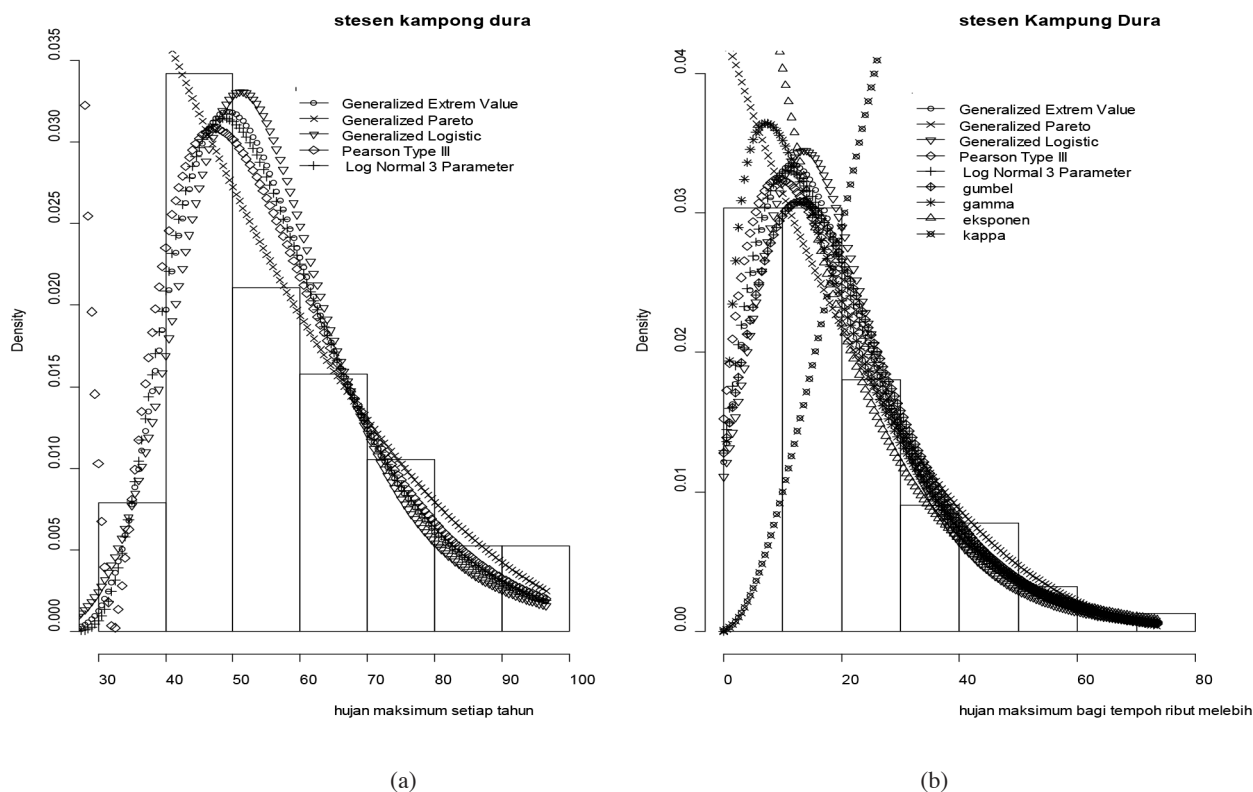
	$\xi(\text{lokasi})$	$\alpha(\text{skala})$	$\kappa(\text{bentuk})$	$h(\text{bentuk})$	$\mu(\text{lokasi})$	$\sigma(\text{skala})$	$\gamma(\text{bentuk})$	$\alpha(\text{bentuk})$	$\beta(\text{skala})$
gev	12.56	11.03	-0.08	-	-	-	-	-	-
glo	16.91	7.62	-0.22	-	-	-	-	-	-
gpa	1.05	23.94	0.27	-	-	-	-	-	-
ln3	16.61	13.43	-0.46	-	-	-	-	-	-
pe3	-	-	-	-	19.87	15.51	1.34	-	-
ekp	3.31	16.56	-	-	-	-	-	-	-
gbl	12.97	11.94	0.13	0.66	-	-	-	-	-
kpa	6.46	17.54	-	-	-	-	-	-	-
gma	-	-	-	-	-	-	-	1.57	12.68

JADUAL 10. Parameter taburan bagi hujan maksimum dalam tempoh ribut melebihi 48 jam, stesen Sungai Tong

	$\xi(\text{lokasi})$	$\alpha(\text{skala})$	$\kappa(\text{bentuk})$	$h(\text{bentuk})$	$\mu(\text{lokasi})$	$\sigma(\text{skala})$	$\gamma(\text{bentuk})$	$\alpha(\text{bentuk})$	$\beta(\text{skala})$
gev	15.49	12.77	0.02	-	-	-	-	-	-
glo	20.39	8.33	-0.16	-	-	-	-	-	-
gpa	1.24	31.19	0.46	-	-	-	-	-	-
ln3	20.16	14.73	-0.32	-	-	-	-	-	-
pe3	-	-	-	-	22.59	15.82	0.95	-	-
ekp	5.23	17.35	-	-	-	-	-	-	-
gbl	15.36	12.52	0.42	0.93	-	-	-	-	-
kpa	2.90	28.84	-	-	-	-	-	-	-
gma	-	-	-	-	-	-	-	1.89	11.93

hujan maksimum yang akan berlaku pada masa hadapan (50 dan 100 tahun). Dalam Rajah 6 dapat dilihat bahawa bagi data hujan maksimum yang dicerap selama 37 tahun (o) di stesen hujan Kampung Dura (i) dan Sungai Tong

(j) telah dapat dihipotesis dengan baik oleh data hujan maksimum jangkaan (+), untuk itu nilai ramalan data hujan maksimum untuk 50 dan 100 tahun ke hadapan diplotkan pada rajah yang sama.



RAJAH 4. Graf taburan hujan MT (c) dan graf hujan MR (d)

JADUAL 11. Uji kebagusan penyuaian bagi setiap taburan (PRKD)

	gev	gp	gl	pt3	ln3	gbl	gma	ekp	kp
<b>Batu Hampar</b>									
MR	7.43	<b>0.37</b>	10.23	4.65	6.49	9.10	0.80	3.32	0.89
MT	0.0310	0.0373	0.0373	<b>0.0308</b>	0.0313	-	-	-	-
<b>Endau</b>									
MR	2.41	<b>0.68</b>	3.15	1.93	2.26	2.53	<b>0.63</b>	1.02	0.50
MT	<b>0.029</b>	0.061	0.061	0.031	0.031	-	-	-	-
<b>Kampung Dura</b>									
MR	2.28	0.41	3.26	0.92	1.81	3.32	<b>0.18</b>	1.44	0.32
MT	0.027	0.023	0.023	<b>0.021</b>	0.0250	-	-	-	-
<b>Sungai Tong</b>									
MR	2.122	0.344	3.238	1.549	1.948	1.9	<b>0.26</b>	1.6	<b>0.24</b>
MT	0.0234	0.0314	0.0314	<b>0.0229</b>	0.0231	-	-	-	-

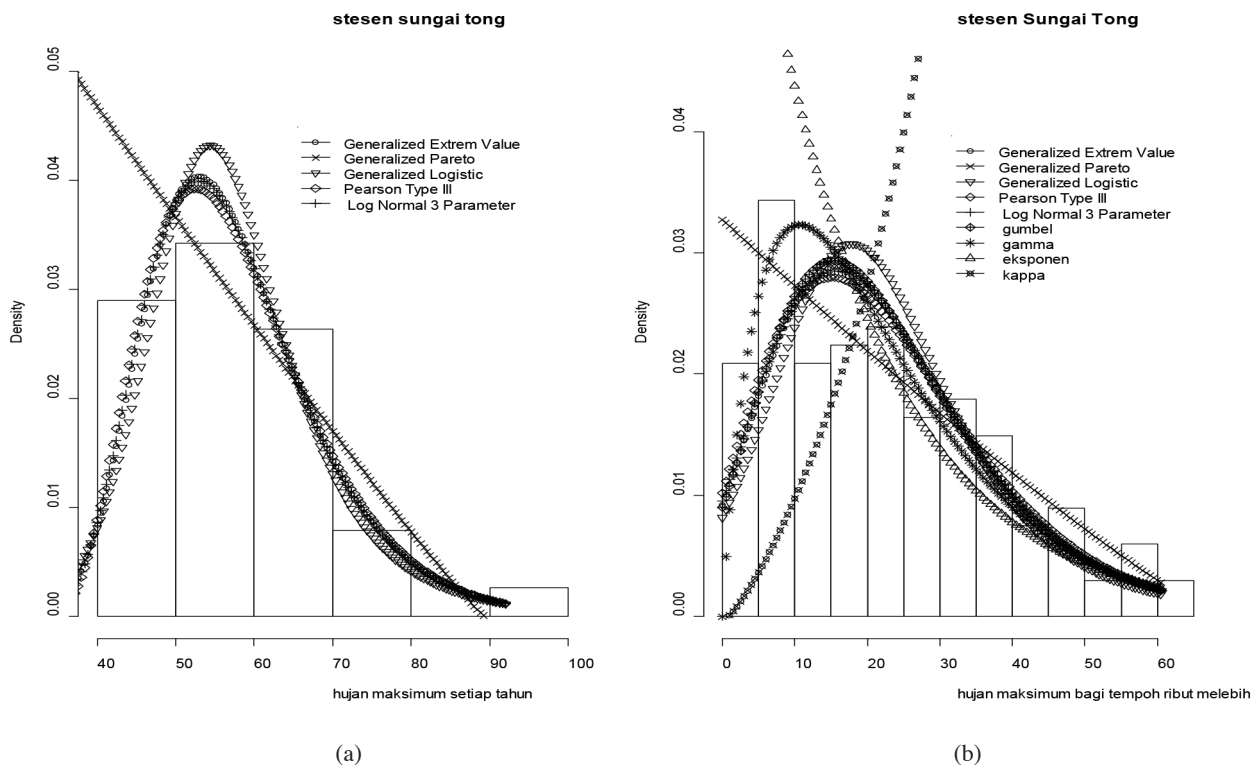
Nombor tebal hitam adalah nilai PRKD terkecil dan menandakan taburan yang paling sesuai

**KESIMPULAN**

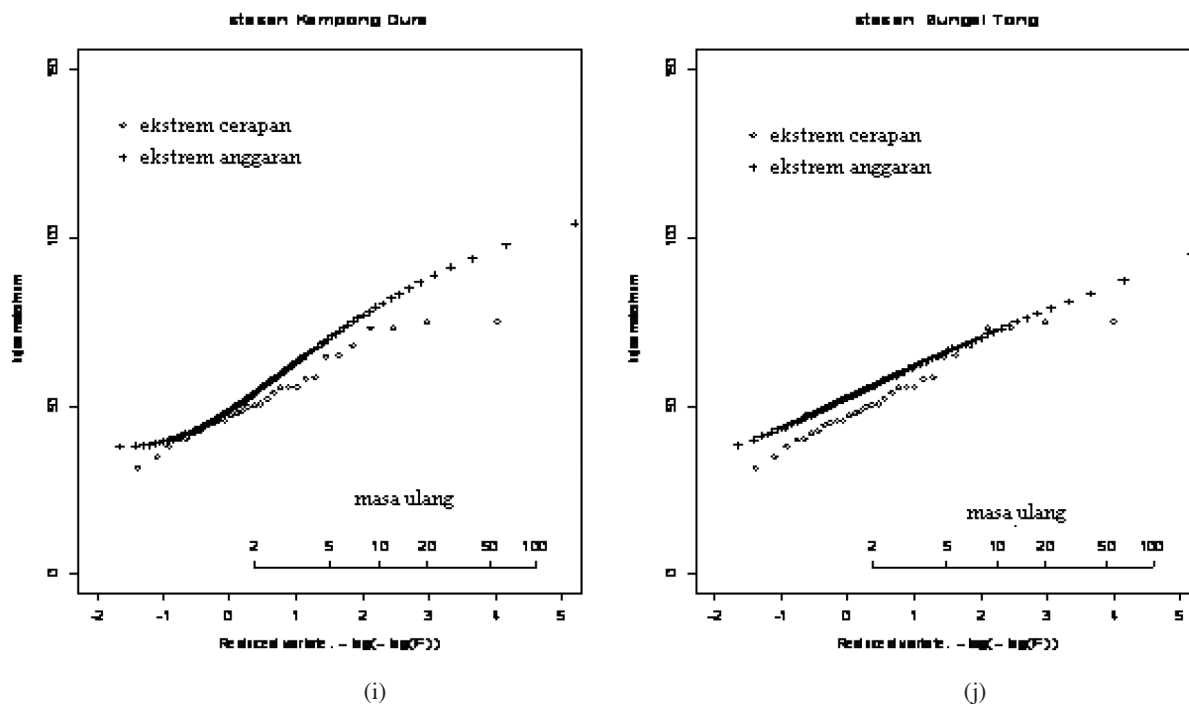
Analisis mengenai hujan maksimum merupakan suatu kajian yang amat berguna untuk bidang hidrologi terutama bagi mengelakkan banjir yang diakibatkan oleh kegagalan sistem perparitan untuk menampung air hujan. Kajian untuk mengetahui ketahanan empangan yang dibina terutama menakung air semasa curahan hujan yang terlampau lebat. Maklumat mengenai nilai jangkaan hujan pada masa hadapan amatlah berguna bagi tujuan ini, seperti bagi tempoh 50 atau 100 tahun ke hadapan.

Hasil kajian ini turut mendapati bahawa terdapat perbezaan mengenai taburan yang terbaik bagi dua jenis data hujan ekstrim yang digunakan. Taburan Gama dan Pareto Teritlak adalah yang terbaik bagi menerangkan taburan hujan maksimum untuk tempoh ribut yang panjang. Manakala bagi hujan maksimum tahunan, taburan nilai ekstrim teritlak dan Pearson Jenis III adalah yang dapat dengan baik menerangkan tingkah laku hujan maksimum ini. Untuk itu bagi pihak yang ingin membuat kajian mengenai kesan hujan melampau ini, perlu terlebih dahulu memberikan tumpuan dalam





RAJAH 5. Graf taburan hujan MT (g) dan graf hujan MR (h)



RAJAH 6. Masa ulang stesen Kampong Dura (i) dan masa ulang stesen Sungai Tong (j)

mengenal pasti taburan yang terbaik untuk kedua jenis data hujan maksimum ini. Kajian bagi mendapatkan jangkaan hujan maksimum untuk masa yang akan datang selalunya bergantung kepada penentuan taburan terbaik, seperti mana hasil kajian ini.

PENGHARGAAN

Jutaan terima kasih diucapkan kepada Pusat Pengajian Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia. Penyelidikan ini dibiayai oleh geran penyelidikan UKM-GGPM-PI-028-2011 dan DIP-2012-15.

## RUJUKAN

- Adams, B.J. & Howard, C.D.D. 1986. Design storm pathology. *Canadian Water Resources Journal* 11(3): 49-55.
- Adams, B.J. & Papa, F. 2000. *Urban Stormwater Management with Analytical Probabilistic Models*. Toronto, Ontario: John Wiley and Sons Inc.
- Adamowski, K. & Bougadis, J. 2003. Detection of trends in annual extreme rainfall. *Hydrol. Proc.* 17: 3547-3560.
- Aronica, G., Cannarozzo, M. & Noto, L. 2002. Investigating the changes in extreme rainfall series recorded in urbanized area. *Water Sci. Technol.* 45: 49-54.
- Bacchi, B., Becciu, G. & Kottegoda, N.T. 1994. Bivariate exponential model applied to intensities and durations of extreme rainfall. *Journal of Hydrology* 155: 225-236.
- Crisci, A., Gozzini, B., Meneguzzo, F., Pagliara, S. & Maracchi, G. 2002. Extreme rainfall in a changing climate: Regional analysis and hydrological implications in Tuscany. *Hydrol. Proc.* 16: 1261-1274.
- Deni, S.M., Jemain, A.A. & Ibrahim, K. 2010. The best probability models for dry and wet spells in Peninsular Malaysia during monsoon seasons. *International Journal of Climatology* 30: 1194-1205.
- Eagleson, P.S. 1972. Dynamics of flood frequency. *Water Resources Research* 8(4): 878-897.
- Goel, N.K., Kurothe, R.S., Mathur, B.S. & Vogel, R.M. 2000. A derived flood frequency distribution for correlated rainfall intensity and duration. *Journal of Hydrology* 228: 56-67.
- Guo, C.Y.J. 2002. Overflow risk analysis for stormwater quality control basins. *Journal of Hydrology Engineering* 7(6): 428-434.
- Guo, Y. & Adams, B.J. 1998a. Hydrologic analysis of urban catchments with event-based probabilistics model 1. Runoff volume. *Water Resources Research* 34(12): 3427-3431.
- Guo, Y. & Adams, B.J. 1998b. Hydrologic analysis of urban catchments with event-based probabilistics model 2. Peak discharge rate. *Water Resources Research* 34(12): 3433-3443.
- Hosking, J.R.M. 1990. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. R. Stat. Soc. Ser. B* 52(1): 105-124.
- Koutsoyiannis, D. & Baloutsos, G. 2000. Analysis of a long record of annual maximum rainfall in Athens, Greece, and design rainfall inferences. *Nat. Haz.* 22(1): 31-51.
- Nadarajah, S. & Choi, D. 2007. Maximum daily rainfall in South Korea. *J. Earth Sci.* 116(4): 311-320.
- Nguyen, V.T.V., Nguyen, T.D. & Ashkar, F. 2002. Regional frequency analysis of extreme rainfall. *Water Sci. Technol.* 45: 75-81.
- Noratiqah, M.A. & Jemain, A.A. 2012. Comparisons between the window-based and storm-event analysis. *Sains Malaysiana* 41(11): 1377-1387.
- Parida, B.P. 1999. Modeling of Indian summer monsoon rainfall using a four-parameter Kappa distribution. *Int. J. Climatol.* 19: 1389-1398.
- Rakhecha, P.R. & Soman, M.K. 1994. Trends in the annual extreme rainfall events of 1 to 3 days duration over India. *Theor. Appl. Climatol.* 48: 227-237.
- Salvadori, G. & De Michele, C. 2004. Frequency analysis via copulas: Theoretical aspects and application to hydrological events. *Water Resources Research* 40(12): W12511.
- Singh, K. & Singh, V.P. 1991. Derivation of bivariate probability density function with exponential marginals. *Journal of Stochastic Hydrology and Hydraulics* 5: 55-68.
- Suhaila, J. & Jemain, A.A. 2007. Fitting daily rainfall amount in Peninsular Malaysia using several Types of exponential distributions. *Journal of Applied Sciences Research* 3(10): 1027-1036.
- Wan Zin, W.Z. & Jemain, A.A. 2010. Statistical distributions of extreme dry spell in Peninsular Malaysia. *Theoretical & Applied Climatology* 102(3-4): 253-264.
- Wan Zin, W.Z., Jemain, A.A., Ibrahim, K., Suhaila, J. & Deni, S.M. 2009. A comparative study of extreme rainfall in Peninsular Malaysia: With reference to partial duration and annual extreme series. *Sains Malaysiana* 38(5): 751-760.
- Yen, B.C. & Chow, V.T. 1980. Design hyetographs for small drainage structures. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 106(HY6): 1055-1076.
- Zhang, I. & Singh, V.P. 2007. Bivariate rainfall frequency distributions using Archimedian Copulas. *Journal of Hydrology* 332: 93-109.

Rado Yendra\*

Department of Mathematics  
Faculty of Science and Mathematics  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau  
28293, Pekanbaru, Riau  
Indonesia

Abdul Aziz Jemain  
School of Mathematical Sciences  
Faculty of Science and Technology  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600, Bangi, Selangor  
Malaysia

Wan Zawiah Wan Zin  
School of Mathematical Sciences  
Faculty of Science and Technology  
Universiti Kebangsaan Malaysia  
43600, Bangi, Selangor  
Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: yendra\_75@yahoo.com.sg

Diserahkan: 2 April 2013  
Diterima: 2 Januari 2014