

Pemodelan Hujan Denyut Segi Empat Neyman Scott (NSRP) Terbaik di Semenanjung Malaysia (The Best Neyman Scott Rectangular Pulse (NSRP) Rainfall Modelling in Peninsular Malaysia)

RADO YENDRA*, WAN ZAWIAH WAN ZIN & ABDUL AZIZ JEMAIN

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan mendapatkan gabungan statistik untuk pemodelan hujan kelompok berstokastik Denyut Segi Empat Neyman-Scott (NSRP) yang mampu memberikan pepadanan terbaik bagi hujan di stesen hujan Semenanjung Malaysia. Enam set gabungan statistik, yang setiap setnya mengandungi gabungan statistik momen (1, 2 dan 3) dan kebarangkalian hujan dalam selang masa yang singkat (jam) dan panjang (harian), serta empat taburan yang berbeza bagi keamatan sel hujan (Eksponen, Campuran Eksponen, Gamma dan Weibull) telah dikaji. Penyelidikan telah dilakukan ke atas sembilan stesen hujan yang mewakili rantau yang berbeza di Semenanjung Malaysia. Hasil mendapati bahawa statistik momen ke-3 (kepencongan) tidak memberikan sumbangan yang baik dalam menjayakan model. Selang masa 1, 6 dan 24 jam didapati yang terbaik bagi statistik momen kedua (variasi) bagi menjayakan model. Kajian ini juga mendapati bahawa taburan eksponen adalah yang terbaik bagi pemodelan hujan NSRP di Semenanjung Malaysia.

Kata kunci: Eksponen; gamma; Neyman-Scott; statistik momen; Weibull

ABSTRACT

In this paper, a study to determine the best combination of statistics for stochastic Neyman-Scott Rectangular Pulse (NSRP) rainfall modeling had been carried out. Six sets of statistics, each of which contains a combination of statistical moments (1, 2 and 3) and the probability of rain in short time intervals (h) and long term (daily), as well as four different distributions (Exponential, Exponential mixture, Gamma and Weibull) for rain cell intensity were used and implemented on hourly rainfall data at nine stations representing different regions of Peninsular Malaysia. The study shows that the third moment statistics (skewness) did not give significant contribution to the success of the model. On the other hand, the time interval 1, 6 and 24 h are the best for the second moment statistics (variation). This study also found that the exponential model is the best distribution for modeling NSRP rainfall in Peninsular Malaysia.

Keywords: Exponent; gamma; Neyman-Scott; statistics moment; Weibull

PENGENALAN

Pelbagai kegiatan kehidupan memerlukan pengetahuan tentang corak hujan. Penyediaan sistem saliran, perparitan dan pembentungan yang berkesan memerlukan pengetahuan tentang keamatan hujan dan hujan ekstrim. Sistem pengurusan bekalan air juga amat memerlukan maklumat tentang hujan. Kesan perubahan iklim terhadap kehidupan dan langkah penyesuaian yang perlu diambil amat bergantung kepada maklumat jangka panjang tentang kekerapan hujan dan keadaan kering.

Kebelakangan ini penyelidikan tentang pelbagai isu hujan di Semenanjung Malaysia semakin banyak dilakukan. Pemodelan rentetan hari basah-kering telah dijalankan oleh Deni et al. (2008, 2010) yang menghasilkan pelbagai model untuk memberikan penerangan terbaik berkenaan keberlakuan rentetan basah-kering untuk tempoh lebih tiga dekad di lebih 40 stesen hujan di samping memberikan pemetaan. Model pelbagai isu berkenaan keamatan hujan harian pula dikaji oleh Suhaila dan Jemain (2009). Kajian ini juga menjejaki model matematik yang

memberikan pepadanan terbaik berkenaan keamatan hujan. Model hujan ekstrim pula merupakan bidang yang diterokai oleh Wan Zin et al. (2009) dan Wan Zin dan Jemain (2010). Semua kajian yang disenaraikan di atas menggunakan data hujan harian untuk tempoh lebih tiga puluh tahun di hampir empat puluh buah stesen hujan di Semenanjung Malaysia.

Analisis data hujan untuk setiap jam atau pada skala kurang 60 min kurang mendapat perhatian. Terdapat dua model yang boleh digunakan untuk menganalisis data hujan pada skala jam atau min, model Neyman Scott dan Bartlet Lewis. Kedua-dua model ini melibatkan lima atau enam parameter, bergantung kepada andaian yang digunakan. Untuk menganggar parameter tersebut kaedah momen merupakan pendekatan yang paling sesuai. Kaedah ini memerlukan gabungan statistik tertentu yang nilainya boleh diperoleh daripada data yang terkumpul. Terdapat pelbagai pilihan gabungan statistik yang boleh digunakan untuk penganggaran parameter namun gabungan yang terbaik tidak diketahui. Kajian ini bertujuan untuk

mendapatkan gabungan terbaik, untuk tujuan ini pelbagai gabungan statistik akan dikaji dan data hujan setiap jam untuk tempoh lebih 30 tahun bagi sembilan stesen hujan digunakan. Keputusan daripada kajian ini amat penting kerana ia boleh dijadikan panduan oleh penyelidik lain yang berminat menganalisis data hujan pada skala 60 min atau kurang.

Kertas ini mengandungi empat bahagian penting. Bahagian pertama menghuraikan tentang model Neyman Scott dan matematik yang terlibat. Menyusul lepas itu adalah penjelasan tentang penganggaran parameter dan aspek yang diperlukan untuk penganggaran. Penerangan tentang gabungan statistik yang dijadikan bahan kajian serta kaedah pengesahan kecekapannya turut dilakukan. Bahagian terakhir makalah ini memberikan perincian tentang hasil analisis keatas sembilan stesen yang dikaji.

PERIHALAN SKEMA DAN MODEL NSRP

Skema yang menghubungkan ribut, sel hujan, kelembatan hujan, tempoh curahan hujan dan jumlah curahan hujan dibentangkan pada Rajah 1. Skema ini mempunyai empat bahagian. Bahagian pertama mempamerkan masa ketibaan dua ribut l_1 dan l_2 . Ribut pertama terdiri daripada 3 sel hujan dan ribut kedua pula 4 sel yang memulakan curahan hujan pada titik masa c_{ij} dengan $i = 1, 2$ dan $j = 1, 2, 3, 4$. Selang masa yang diambil untuk sel hujan suatu ribut memulakan curahan diukur daripada bermulanya ribut, diwakili oleh b_{ij} , ini diterangkan pada bahagian kedua. Kelebatan sel hujan x_{ij} dan masa berlakunya curahan t_{ij} ditunjukkan pada bahagian ketiga. Bahagian keempat skema menerangkan jumlah hujan yang terkumpul pada suatu selang masa untuk ribut masing-masing.

Menurut model NSRP ribut, suatu kelompok sel hujan merupakan suatu proses Poisson dengan kadar masa ketibaan λ . Masa ribut i bermula adalah l_i , setiap ribut i membawa suatu bilangan rawak sel hujan $C_i \geq 1$ yang tertabur secara Poisson atau geometri dengan min $E(C_i)$. Masa bermula sel hujan j bagi ribut i ditandakan dengan $c_{ij}, j = 1, 2, \dots$, selang masa antara bermulanya ribut i dengan sel hujan j adalah $c_{ij} - l_i = b_{ij}$. Nilai bertabur dengan taburan eksponen dengan min $E(B) = \beta$. Setiap sel hujan mempunyai dua pemboleh ubah, iaitu kelembatan sel hujan j bagi ribut i ditandakan dengan bertabur eksponen dengan min $E(X)$ dan tempoh curahan hujan sel j bagi ribut i ditandakan dengan t_{ij} bertabur eksponen dengan min $E(T) = \eta$. Hal ini boleh diterangkan dengan menggunakan skema ribut seperti yang dibentangkan pada Rajah 1.

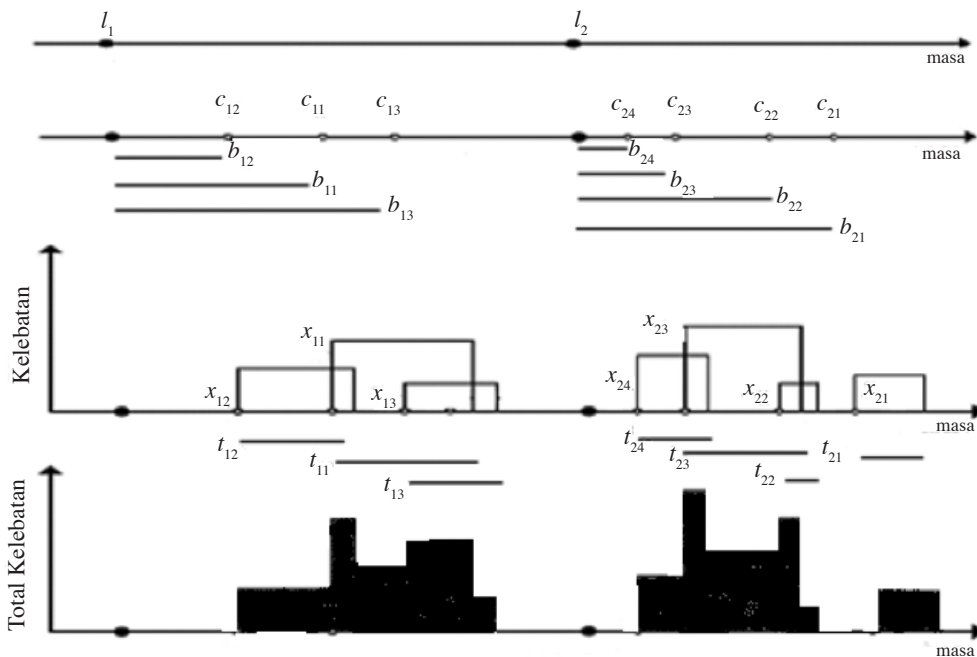
Rajah 1 menjelaskan bahawa jumlah curahan hujan adalah jumlah kelembatan untuk setiap sel hujan yang berlaku, secara matematik katakan $Y(t)$ adalah kelembatan pada ketika t dan $X_{t-u}(u)$ adalah kelembatan suatu sel hujan pada ketika t dan sel ini telah bermula pada ketika $t - u$,

$$Y(t) = \int_{u=0}^{\infty} X_{t-u}(u) dN(t-u),$$

dengan $dN(t-u) = 1$ jika terdapat sel hujan yang bermula pada $t - u$ dan masih aktif pada t , dan $dN(t-u) = 0$ untuk sebaliknya. Jumlah curahan hujan pada suatu selang i untuk suatu tempoh masa τ , $Y_i^{(\tau)}$ secara matematik adalah:

$$Y_i^{(\tau)} = \int_{(i-1)\tau}^{i\tau} Y(t) dt,$$

τ dihitug dalam unit jam. Siri $\{Y_i^{(\tau)}; i = 1, 2, \dots\}$ adalah siri masa amaun hujan dengan selang τ . Berasaskan ini



RAJAH 1. Pemodelan NSRP, l_1 masa ketibaan ribut, c_4 sel hujan bermula, b_4 masa bermula setiap sel hujan dari suatu ribut, t_{12} tempoh sel hujan dan x_4 kelembatan sel hujan

dapat dihasilkan statistik momen pertama (min), momen kedua (varians dan auto korelasi) dan kebarangkalian basah berturutan seperti pada persamaan (1), (2), (3), (4) dan (5) berikut. Statistik ini digunakan untuk mendapatkan anggaran parameter NSRP.

$$E(Y_i^{(\tau)}) = \lambda \tau \eta^{-1} E(C) E(X). \quad (1)$$

$$\text{Var}(Y_i^{(\tau)}) = \Omega_1(\lambda, C, X) \Psi_1(\eta, \tau) + \Omega_2(\lambda, C, X) \Psi_2(\eta, \tau, \beta). \quad (2)$$

$$\text{Cov}(Y_i^{(\tau)}, Y_{i+k}^{(\tau)}) = \Omega_1(\lambda, C, X) \Psi_3(\eta, \tau, \beta) + \Omega_2(\lambda, C, X) \Psi_4(\eta, \tau, \beta). \quad (3)$$

$$\text{Pr}(Y_i^{(\tau)} > 0) = 1 - \text{Pr}(Y_i^{(\tau)} = 0), \quad (4)$$

dengan

$$\text{Pr}(Y_i^{(\tau)} = 0) = \exp\left(-\lambda \tau + \frac{\lambda}{\beta} (E(C) - 1)^{-1} \left(\frac{1 - \exp(E(C) - 1)}{(1 + \exp(-\beta \tau))} \right) - \lambda \int_0^\infty 1 - p(t, \tau) dt\right),$$

dan

$$p(t, \tau) = \left(\exp(-\beta(t + \tau)) + 1 - \frac{\exp(-\beta t)}{\eta - \beta} \right) \times \exp\left(-E(C) - 1 \left(\frac{\beta(\exp(-\beta t) - \exp(-\eta t))}{\eta - \beta} + \right)\right).$$

$$\Omega_1(\lambda, C, X) = 2\lambda E(C) E(X^2).$$

$$\Omega_2(\lambda, C, X) = \lambda E(C^2 - C) E^2(X).$$

$$\Psi_1(\eta, \tau) = \eta^{-3}(\eta \tau - 1 + \exp(-\eta \tau)).$$

$$\Psi_2(\eta, \tau, \beta) = \Psi_1(\eta, \tau) - \left(\frac{\beta^2}{\beta^2 - \eta^2} \right) - \frac{\beta \tau - 1 + \exp(-\beta \tau)}{\beta(\beta^2 - \eta^2)}.$$

$$\Psi_3(\eta, \tau, k) = \frac{1}{2\eta^3} (1 - \exp(-\eta \tau))^2 \exp(-\eta(k - 1)\tau).$$

$$\Psi_4(\eta, \tau, \beta, k) = \Psi_3(\eta, \tau, k) \frac{\beta^2}{\beta^2 - \eta^2} - \frac{1 - \exp(-\beta \tau)^2 \exp(-\beta(k - 1)\tau)}{2\beta(\beta^2 - \eta^2)}.$$

$k = \text{lat auto kolerasi } 1, 2, 3$

$\tau = \text{selang masa}$

Cowpewart (1998) dan Mondonedo et al. (2010) mencadangkan statistik momen ketiga untuk pemodelan hujan NSRP ini. Statistik momen ketiga itu adalah kepencongan yang bersamaan dengan:

$$\begin{aligned} Sk &= 6\lambda E(C) E(X^3) (\eta \tau - 2 + \eta \tau \exp(-\eta \tau) + 2 \exp(-\eta \tau) / \eta^4 \\ &\quad + 3\lambda E(X) E(X^2) E(C(C - 1)) f(\eta, \beta, \tau) / (2\eta^4 \beta (\beta^2 - \eta^2)^2) \\ &\quad + \lambda E^3(X) E(C(C - 1)(C - 2)) g(\eta, \beta, \tau) / (2\eta^4 \beta (\eta^2 - \beta^2) \\ &\quad (\eta - \beta)(2\beta + \eta)(\beta + 2\eta)), \end{aligned} \quad (5)$$

dengan

$$\begin{aligned} f(\eta, \beta, \tau) &= -2\eta^3 \beta^2 \exp(-\eta \tau) - 2\eta^3 \beta^2 \exp(-\beta \tau) \\ &\quad + \eta^2 \beta^3 \exp(-\eta \tau) \\ &\quad + \eta^4 \beta \exp\{-(\eta + \beta)\tau\} - 8\eta^3 \beta^3 \tau \\ &\quad + 11\eta^2 \beta^3 - 2\eta^4 \beta + 2\eta^3 \beta^2 \\ &\quad + 4\eta^5 \beta \tau + 4\eta \beta^5 \tau - 7\beta^5 - 4\eta^5 + 8\beta^5 \exp(-\eta \tau) \\ &\quad - \beta^5 \exp(2\eta \tau) \\ &\quad - 2\tau \eta^3 \beta^3 \exp(-\eta \tau) - 12\eta^2 \beta^3 \exp(-\eta \tau) \\ &\quad + \tau \eta \beta^5 \exp(-\eta \tau) \\ &\quad + 4\eta^5 \exp(-\beta \tau). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g(\eta, \beta, \tau) &= 12\eta^5 \beta \exp(-\beta \tau) + 9\eta^4 \beta^2 + 12\eta \beta^5 \exp(-\eta \tau) \\ &\quad + 9\eta^2 \beta^4 + 12\eta^3 \beta^3 \exp\{-(\eta + \tau)\} \\ &\quad - \eta^2 \beta^4 \exp(-2\eta \tau) \\ &\quad - 12\eta^3 \beta^3 \exp(-\beta \tau) - 9\eta^5 \beta - 9\eta \beta^5 \\ &\quad - 3\eta \beta^5 \exp(-2\eta \tau) \\ &\quad - \eta \beta^4 \exp(-2\beta \tau) - 12\eta^3 \beta^3 \exp(-\eta \tau) \\ &\quad + 6\eta^5 \beta^2 \tau - 10\beta^4 \eta^3 \tau \\ &\quad + 6\beta^5 \eta^2 \tau - 10\beta^3 \eta^4 \tau + 4\beta^6 \eta \tau \\ &\quad - 8\beta^2 \eta^4 \exp(-\beta \tau) + 4\beta \eta^6 \tau \\ &\quad + 12\beta^3 \eta^3 - 8\beta^4 \eta^2 \exp(-\eta \tau) - 6\eta^6 \\ &\quad - 6\beta^6 - 2\eta^6 \exp(-2\beta \tau) \\ &\quad - 2\beta^6 \exp(-2\eta \tau) + 8\eta^6 \exp(-\beta \tau) \\ &\quad + 8\beta^6 \exp(-\eta \tau) \\ &\quad - 3\beta \eta^5 \exp(-2\beta \tau). \end{aligned}$$

TABURAN UNTUK BILANGAN SEL HUJAN, C

Bagi pemodelan NSRP perlu ditentukan taburan bilangan sel hujan yang dipilih untuk mendapatkan $E(C)$, $E(C(C - 1))$ dan $E(C(C - 1)(C - 2))$. Ramai penyelidik menggunakan dua jenis taburan sahaja, iaitu taburan Poisson atau taburan geometri. Velghe et al. (1994) mendapati bahawa taburan geometri lebih baik daripada taburan Poisson, ini turut disokong oleh beberapa penyelidik lain, antaranya Calenda dan Napolatino (1999), Favre et al. (2004) dan Mondonedo et al. (2010). Manakala Cowpewart (1991, 1996a) pula menggunakan taburan Poisson. Ungkapan matematik untuk $E(C)$, $E(C(C - 1))$ dan $E(C(C - 1)(C - 2))$ bagi taburan geometri dan Poisson diberikan pada Jadual 1.

JADUAL 1. Ungkapan matematik $E(C)$, $E(C(C - 1))$ dan $E(C(C - 1)(C - 2))$ untuk taburan geometri dan Poisson dengan $Y = C - 1$

Taburan	FKK, $f(y)$	$E(C)$	$E(C^2 - C)$	$E(C(C - 1)(C - 2))$
Poisson	$\frac{e^{-\theta}\theta^y}{y!}$, $y = 0, 1, 2, \dots$	μ_c	$\mu_c^2 - 1$	$\mu_c^2 - 3\mu_c + 2$
Geometri	pq^{y-1} $y = 1, 2, \dots$	μ_c	$2\mu_c^2 - 2\mu_c$	$6\mu_c(\mu_c - 1)^2$

PILIHAN TABURAN UNTUK KELEBATAN SEL HUJAN, X

Terdapat beberapa taburan kelebatan hujan X yang boleh digunakan. Antara yang biasa digunakan adalah taburan eksponen (Cowpertwait 1996; Rodriguez-Iturbe et al. 1987a, 1987b), taburan Gamma (Mondonedo et al. 2010) dan taburan Weibull (Cowpertwait 1996; Mondonedo et al. 2010). Fungsi ketumpatan kebarangkalian (FKK) dan fungsi momen 1, 2 dan 3 disenaraikan dalam Jadual 2.

PILIHAN GABUNGAN STATISTIK DAN SELANG TEMPOH DATA

Kajian tentang pelbagai gabungan statistik dan selang tempoh τ untuk mendapatkan model NSRP terbaik turut menarik perhatian ramai pengkaji. Dua selang tempoh terkecil ($\tau = 1$ jam) dan terbesar ($\tau = 24$ jam) digunakan pada statistik min, varians dan auto-korelasi lat-1. Gabungan statistik dan selang tempoh berkenaan pertama kali dilakukan oleh Rodriguez-Iturbe (1987a, 1987b) yang kemudiannya telah disokong oleh penyelidik lain antaranya Cowpertwait (1991), Entekhabi et al. (1989) dan Velghe et al. (1994). Cowpertwait (1996a, 1996b) telah menggunakan statistik yang lebih pelbagai, antaranya pelbagai selang tempoh untuk varians, auto-korelasi lat-

2 dan lat-3, kebarangkalian kering dan kebarangkalian peralihan. Calenda dan Napolitano (1999) pula telah menggunakan kepelbagaian selang tempoh, mereka menggunakan data selang bermula dari 5 min hingga 24 jam. Penggunaan statistik momen ketiga atau kepencongan juga turut mendapat perhatian, antara penyelidik yang telah menggunakannya ialah Cowpertwait (1998) dan Mondonedo (2010).

Pada kajian ini pelbagai statistik dan selang tempoh hujan terutama untuk statistik varians diberikan tumpuan dalam usaha mendapatkan model yang tepat bagi Semenanjung Malaysia. Tumpuan juga diberikan bagi mengenal pasti taburan yang terbaik bagi kelebatan sel hujan. Untuk bilangan sel hujan taburan Poisson digunakan. Oleh itu 6 set model dikaji, setiap set mengandungi pelbagai statistik. Perincian setiap set disenaraikan pada Jadual 3.

PENGANGGARAN PARAMETER NSRP

Penganggaran parameter dan penilaian kecukupan merupakan persoalan yang selalu muncul dalam pepadanan model. Kaedah momen digunakan untuk menganggar parameter NSRP. Cowpertwait et al. (1996) menggunakan

JADUAL 2. Fungsi ketumpatan kebarangkalian (FKK) dan fungsi penjana momen 1, 2 dan 3

No	Taburan	FKK, $f(x)$	$E(X)$	$E(X^2)$	$E(X^3)$
1	Eksponen	$\frac{1}{\theta} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)$	θ	$2\theta^2$	$6\theta^3$
2	Gabungan eksponen	$\frac{p}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) + \frac{1-p}{\theta} \exp\left(-\frac{x}{\theta}\right)$	$\theta\gamma + (1-p)\gamma$	$2p\theta^2 + 2(1-p)\gamma^2$	$6p\theta^3 + 6(1-p)\gamma^3$
3	Gamma	$0 \leq p \leq 1, \gamma > 0, \theta > 0$ $\frac{x^{\alpha-1} \exp(-x/\theta)}{\theta^\alpha \Gamma(\alpha)}$, $0 \leq x < \infty, \alpha > 0, \theta > 0$	$\alpha\theta$	$\alpha(1-\alpha)\theta^2$	$\frac{\theta^3 \Gamma(3+\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$
4	Weibull	$\frac{\alpha x^{\alpha-1}}{\theta^\alpha} \exp\left[-\left(\frac{x}{\theta}\right)^\alpha\right]$, $0 \leq x < \infty, \alpha > 0, \theta > 0$	$\theta\Gamma\left(\frac{1+\alpha}{\alpha}\right)$	$\theta^2\Gamma\left(\frac{2+\alpha}{\alpha}\right)$	$\theta^3\Gamma\left(\frac{3+\alpha}{\alpha}\right)$

JADUAL 3. Set Model Statistik dan taburan kelebatan sel hujan

	$\hat{\mu}(1)$	$\hat{\sigma}(1)$	$\hat{\sigma}(6)$	$\hat{\sigma}(12)$	$\hat{\sigma}(24)$	$\hat{\rho}(1,1)$	$\hat{\rho}(24,1)$	$\hat{\phi}(1)$	$\hat{\phi}(24)$	$\hat{\gamma}(1)$
Set 1	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
Set 2	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
Set 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Set 4	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Set 5	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Set 6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

$\hat{\mu}(\tau)$ (min τ jam), $\hat{\sigma}(\tau)$ (varian τ jam), $\hat{\rho}(\tau,1)$ (auto korelasi lat 1 selang τ jam), $\hat{\phi}(\tau)$ (kebarangkalian hujan τ jam) dan $\hat{\gamma}(\tau)$ (kepencongan data τ jam), dengan $\tau = 1, 6, 24$ jam

siri data hujan dengan selang τ yang berbeza iaitu 1, 6 dan 24 dan statistik yang digunakan adalah min $\hat{\mu}(1)$, varians $\hat{\sigma}(1), \hat{\sigma}(6), \hat{\sigma}(24)$, autokorelasi lat-1 $\hat{\rho}(1,1)$ dan kebarangkalian kering pada 24 jam $\hat{\phi}(24)$. Anggaran parameter diperoleh dengan meminimumkan jumlah ralat kuasa dua, perbezaan antara statistik model yang dipilih dan statistik data sebenar. Beliau juga mencadangkan penggunaan set momen sampel yang lebih besar (contohnya min, varian dan auto korelasi pada lat yang berlainan, kebarangkalian kering dan kebarangkalian peralihan) dengan memberikan pemberat yang berbeza. Walau bagaimanapun, pada kajian ini 6 set model sahaja yang diguna untuk penganggaran parameter NSRP.

Berikut adalah langkah-langkah yang telah diambil semasa menggunakan kaedah momen:

Dapatkan senarai amoun hujan dalam selang τ ;

Dapatkan nilai statistik daripada sampel yang diperlukan iaitu,

$$S = \left\{ Z_j(\tilde{\theta}, Y_i^{(\tau)}); \tau=1,6,12,24; j=1,2,\dots,5 \right\},$$

τ adalah selang tempoh dan j masing-masing adalah 5 statistik yang telah dipilih, min, varians, korelasi, kebarangkalian tak hujan dan kepencongan $(\hat{\mu}, \hat{\sigma}, \hat{\rho}, \hat{\phi}, \hat{\gamma})$;

Gunakan persamaan (1) hingga (5) untuk mendapatkan $Z_j(\tilde{\theta}, Y_i^{(\tau)})$ dan daripada data hitung $\tilde{Z}_j(\tilde{\theta}, Y_i^{(\tau)})$ dan

Minimumkan persamaan objektif berikut dengan menggunakan kaedah kuasa dua kecil yang penyelesaiannya dilakukan secara berangka,

$$\sum_{j,\tau \in S} \left(1 - \frac{Z_j(\tilde{\theta}, Y_i^{(\tau)})}{\tilde{Z}_j(\tilde{\theta}, Y_i^{(\tau)})} \right)^2, \tag{6}$$

dengan Z_j ialah statistik model, \hat{Z}_j ialah nilai sampel statistik, $\tilde{\theta}$ dan ialah $(\lambda, \beta, E(C), E(X), \eta)$ dan $Y_i^{(\tau)}$ amaun hujan selang τ .

PENILAIAN MODEL

Nilai min ralat mutlak (MRM) digunakan untuk menilai kesesuaian model. Nilai MRM dibentangkan secara bergraf untuk mengenal pasti set yang menghasilkan pepadanan model NSRP terbaik. Nilai MRM diperolehi dengan langkah berikut:

Dapatkan statistik (cerapan dan teori) untuk setiap set seperti yang dibentangkan pada Jadual 2 bagi setiap stesen; Bagi mewakili statistik yang dihasilkan oleh setiap set dan setiap stesen hujan, maka dapatkan min statistik yang sama untuk setiap set daripada setiap stesen hujan dan hitung nilai MRM dengan menggunakan formula berikut:

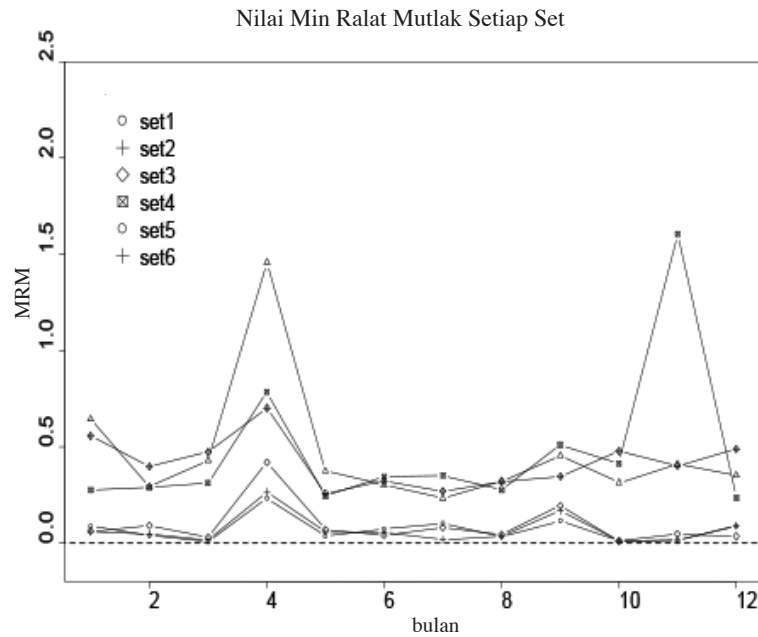
$$MRM = \frac{1}{n} \sum_s \sum_k \sum_\tau \left| 1 - \frac{\omega_{s,k,\tau}(\hat{\theta})}{\hat{\omega}_{s,k,\tau}} \right|,$$

dengan $\omega_{s,k,\tau}(\hat{\theta})$ nilai statistik teori dan $\hat{\omega}_{s,k,\tau}$ nilai statistik cerapan dengan s adalah bilangan stesen hujan, k dan τ adalah bilangan $(\hat{\mu}, \hat{\sigma}, \hat{\rho}, \hat{\phi}, \hat{\gamma})$ dan selang tempoh statistik yang digunakan, bergantung pada set yang digunakan.

HASIL KAJIAN

Pemodelan NSRP dijalankan terhadap data hujan setiap jam untuk 9 stesen hujan yang terletak di kawasan Semenanjung Malaysia. Sembilan stesen tersebut adalah S1 (Stesen Alor Setar), S2 (Batu Hampar), S3 (Baling), S4 (Dungun), S5 (Kepasing), S6 (Ladang Bikam), S7 (Machang), S8 (Simpang Ampat) dan S9 (Telok Intan). Apa yang telah dilakukan ialah mendapatkan statistik cerapan dan statistik teori untuk set masing-masing seperti yang tersenarai pada Jadual 3. Seterusnya nilai MRM dihitung dan dibentangkan secara bergraf pada Rajah 2. Didapati set 4, 5 dan 6 memiliki nilai MRM yang lebih tinggi daripada set yang lainnya, oleh itu diputuskan set tersebut tidak sesuai digunakan untuk pemodelan NSRP. Hal ini juga menyimpulkan yang statistik kepencongan hujan 1 jam kurang berupaya memberikan kejayaan pepadanan model.

Seterusnya kajian lanjut telah dilakukan untuk mengkaji keupayaan set 1, 2 dan 3 dalam menghampiri statistik cerapan, terutama bagi statistik yang dianggap



RAJAH 2. Nilai MRM bagi setiap set

penting bagi kajian tentang hujan seperti min hujan 1, kebarangkalian hujan 1 dan 24 jam. Bagi tujuan ini setiap set tersebut disesuaikan dengan 4 taburan yang berbeza untuk kelembatan sel hujan. Hasil pepadanan yang diperoleh melalui Rajah dan ujian kebolehan model melalui nilai MRM ditunjukkan dalam Rajah 3 dan Jadual 4. Daripada rajah tersebut didapati bahawa taburan eksponen memberikan pepadanan NSRP terbaik untuk hujan pada semua, hal ini dapat dilihat berdasarkan keupayaan taburan tersebut menghampiri statistik penting bagi hujan, manakala daripada Jadual 4 didapati sebahagian besar taburan eksponen memiliki nilai MRM terkecil, oleh itu taburan eksponen adalah yang paling sesuai bagi taburan kelembatan sel hujan untuk set 1, 2 dan 3. Seterusnya kepelbagaian selang variasi juga didapati tidak memberikan pengaruh yang bererti dalam kejayaan model. Berasaskan prinsip parsimoni dan mengelakkan kehilangan maklumat penting variasi hujan 1 jam dan 24 jam maka set 2 dengan kelembatan sel tertabur secara eksponen adalah yang paling baik untuk model NSRP di Semenanjung Malaysia.

ANALISIS PARAMETER NSRP PADA SEMBILAN STESEN HUJAN KAJIAN

Analisis model NSRP bagi setiap stesen yang digunakan telah dilakukan dengan Set 2 dan model eksponen. Hasil pepadanan ini ditunjukkan dalam Jadual 5.

Daripada Jadual 2 didapati bahawa bagi stesen hujan yang terletak di Rantau Barat Laut Semenanjung Malaysia seperti S1 dan S3, kelembatan sel hujan yang maksimum berlaku pada bulan April, manakala pada bulan Disember kelembatan sel menjadi minimum. Untuk stesen Rantau Timur Semenanjung Malaysia seperti S2,

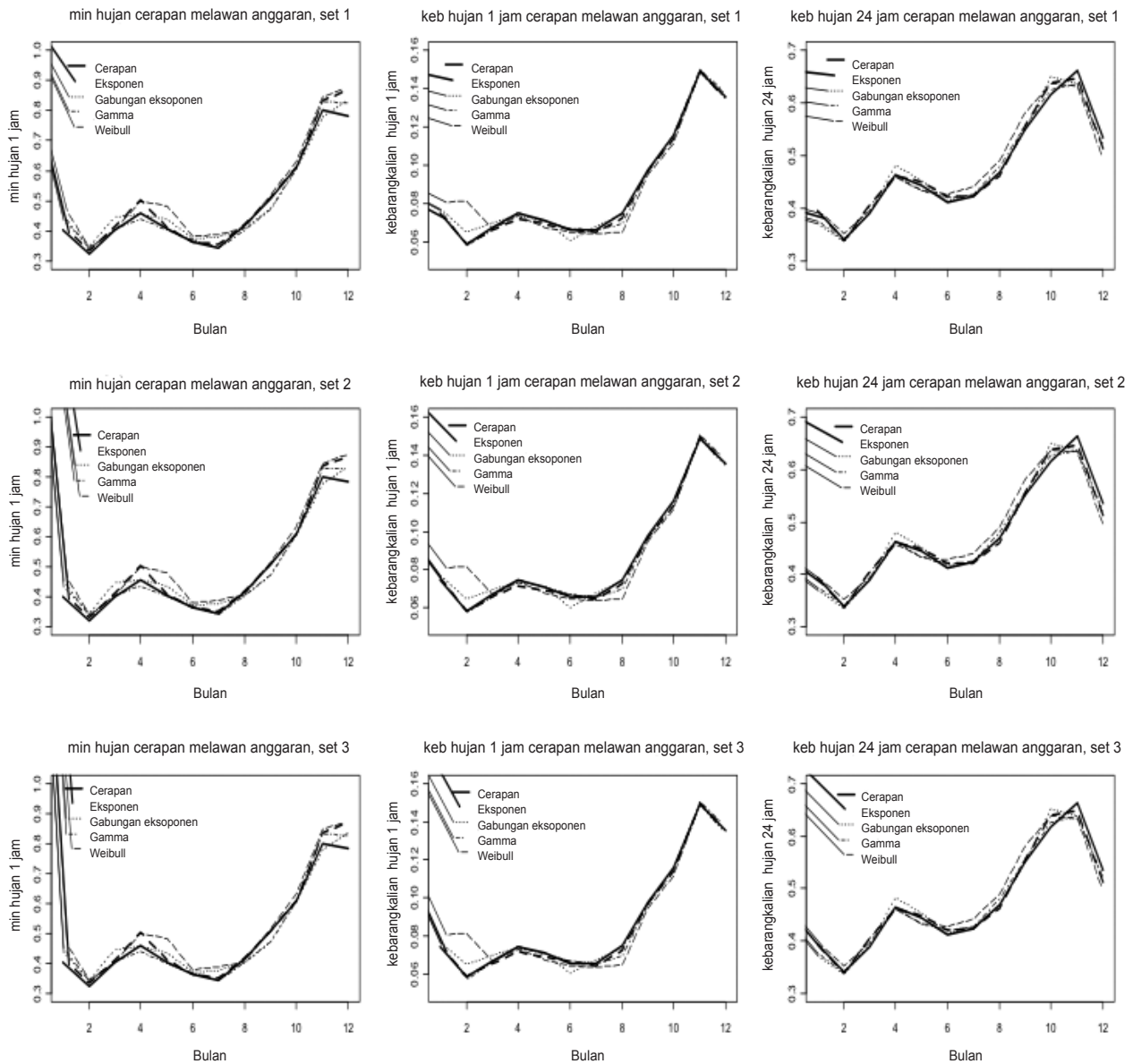
S4, S5 dan S7 didapati hujan pada November hingga Januari memiliki min bilangan sel yang sangat tinggi serta diikuti dengan min kelembatan sel yang juga tinggi. Ini bermakna Rantau Timur Semenanjung Malaysia adalah kawasan yang sering berlaku hujan dan sangat berpotensi mengalami bencana banjir, terutama stesen S5 yang memiliki kelembatan dan bilangan sel hujan yang tinggi pada bulan Disember dan Januari. Seterusnya, Rantau Barat Semenanjung Malaysia (S6, S8 dan S9) pula merupakan kawasan dengan min kelembatan dan bilangan sel yang sederhana, oleh itu kawasan ini kurang berisiko mengalami banjir.

KESIMPULAN

Pemodelan stokastik NSRP sesuai digunakan untuk siri hujan selang 1 jam bagi tempoh susulan masa yang panjang. Model ini ternyata berjaya dipadankan dengan hujan sembilan stesen hujan di Semenanjung Malaysia. Keputusan ini membolehkan kajian lanjut dilakukan untuk stesen lain yang mempunyai data hujan satu jam. Untuk tujuan ini gabungan statistik min, varians dan autokorelasi perlu diberikan keutamaan. Statistik tersebut terhadap kepada hujan satu, enam dan 24 jam. Taburan eksponen mampu memberikan pepadanan yang mencukupi. Statistik momen ketiga tidak sesuai digunakan kerana anggaran parameter yang diperoleh tidak menjamin kecukupan pepadanan.

PENGHARGAAN

Terima kasih diucapkan kepada Pusat Pengajian Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia. Penyelidikan ini dibiayai dengan geran penyelidikan UKM-DLP-2012-015 dan 06-01-02-SF0953.



RAJAH 3. Statistik penting cerapan melawan anggaran dengan 4 taburan pada keamatan sel Set 1, 2 dan 3

JADUAL 4. Nilai MRM bagi 4 taburan keamatan sel yang berbeza pada set 1, 2 dan 3

	Set 1				Set 2				Set 3			
	E	GE	G	W	E	GE	G	W	E	GE	G	W
Jan	0.072	0.079	0.075	0.117	0.073	0.036	0.063	0.06	0.015	0.089	0.061	0.074
Feb	0.037	0.05	0.037	0.033	0.042	0.051	0.043	0.046	0.013	0.177	0.044	0.122
Mac	0.010	0.004	0.004	0.009	0.007	0.027	0.005	0.026	0.010	0.086	0.009	0.009
Apr	0.344	0.208	0.027	0.350	0.380	0.024	0.021	0.627	0.581	0.016	0.445	0.632
Mai	0.009	0.115	0.007	0.012	0.012	0.136	0.062	0.018	0.011	0.12	0.059	0.083
Jun	0.013	0.247	0.023	0.003	0.022	0.138	0.024	0.026	0.031	0.026	0.027	0.069
Jul	0.005	0.005	0.337	0.058	0.011	0.01	0.014	0.028	0.008	0.244	0.013	0.052
Ogos	0.014	0.043	0.033	0.039	0.019	0.021	0.021	0.079	0.025	0.068	0.022	0.053
Sep	0.070	0.149	0.108	0.13	0.217	0.134	0.145	0.171	0.038	0.359	0.184	0.192
Okt	0.002	0.019	0.016	0.004	0.003	0.019	0.008	0.011	0.007	0.012	0.006	0.010
Nov	0.015	0.015	0.016	0.015	0.012	0.019	0.016	0.014	0.014	0.131	0.017	0.017
Dis	0.041	0.237	0.038	0.026	0.028	0.283	0.027	0.026	0.033	0.045	0.023	0.035

E = Eksponen, GE = Gabungan eksponen, G = Gamma dan W = Weibull dan tandaan hitam tebal adalah taburan terbaik

JADUAL 5. Anggaran parameter NSRP untuk sembilan stesen hujan

	Jan	Feb	Mac	Apr	Mei	Jun	Jul	Ogos	Sep	Okt	Nov	Dis
Alor Setar												
λ	0.005	0.007	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.008
$E(X)$	7.23	10.18	8.73	10.36	8.46	8.92	7.21	7.99	7.54	7.4	8.01	4.92
$E(C)$	1.72	3.07	3.45	2.37	2.97	3.88	3.88	5.65	4.75	3.67	3.36	4.42
β	0.16	0.23	0.24	0.12	0.11	0.11	0.09	0.08	0.09	0.09	0.17	0.1
η	1.97	2.63	2.68	2.3	2.03	1.97	1.66	1.76	2.15	1.9	2.38	1.68
Batu Hampar												
λ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01
$E(X)$	5.51	3.97	6.13	5.04	18.28	7.27	9.71	9.09	7.36	7.53	6.09	4.13
$E(C)$	19.11	12.96	9.46	8.13	1.20	3.32	2.28	2.68	3.66	3.35	15.87	20.83
β	0.11	0.09	0.10	0.12	0.56	0.30	0.25	0.21	0.16	0.11	0.06	0.06
η	3.36	1.92	1.74	2.13	1.67	2.29	2.39	2.24	2.13	1.68	1.27	1.04
Baling												
λ	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01
$E(X)$	7.44	14.11	10.04	24.43	11.97	15.67	6.75	8.74	7.57	6.85	6.16	5.36
$E(C)$	4.01	1.39	2.47	1.06	2.38	1.69	3.46	2.63	3.15	4.43	3.23	4.47
β	0.08	0.03	0.17	0.04	0.20	0.05	0.12	0.20	0.14	0.08	0.07	0.09
η	2.03	1.62	2.18	2.11	2.47	1.76	1.71	1.87	1.84	1.85	1.69	1.69
Dungun												
λ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01
$E(X)$	4.91	7.3	6.69	6.53	8.43	5.81	3.9	5.72	7.04	6.1	5.17	3.86
$E(C)$	14.03	9.11	9.11	6.12	3.31	4.53	6.49	4.74	2.9	3.18	11.08	14.21
β	0.09	0.09	0.10	0.20	0.10	0.17	0.10	0.15	0.17	0.12	0.05	0.04
η	1.72	2.75	1.74	2.44	2.05	2.46	2.00	2.00	1.77	1.79	1.08	0.71
Kepasing												
λ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01
$E(X)$	103	97.6	133.6	133.6	162.1	209.4	148.1	169.7	285.7	114.8	95.3	69.4
$E(C)$	7.30	4.70	3.62	3.62	1.75	1.81	1.92	1.63	1.22	2.04	2.67	7.45
β	0.13	0.09	0.15	0.15	0.17	0.26	0.19	0.2	0.01	0.21	0.13	0.05
η	3.31	2.37	3.34	3.34	3.26	4.53	3.75	3.39	3.01	2.63	2.31	1.67
Ladang Bikam												
λ	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
$E(X)$	10.94	10.25	8.79	10.96	7.27	9.59	7.08	8.69	7.64	7.87	8.78	11.58
$E(C)$	2.89	3.18	4.49	3.35	5.10	3.39	3.98	4.05	5.14	3.8	3.26	2.8
β	0.09	0.29	0.07	0.52	0.25	0.27	0.11	0.09	0.07	0.09	0.08	0.80
η	3.06	2.90	2.81	3.53	2.66	2.47	1.92	2.58	2.14	2.29	2.18	3.23
Machang												
λ	0.004	0.004	0.004	0.008	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.008
$E(X)$	3.93	3.76	9.01	6.91	5.63	6.8	9.11	7.51	8.3	6.38	4.71	3.65
$E(C)$	27.2	15.3	19.7	5.10	5.80	3.70	4.60	3.60	2.90	4.30	14.2	94.5
β	0.05	0.08	0.10	0.07	0.09	0.22	0.03	0.10	0.38	0.11	0.10	0.10
η	1.80	1.60	3.69	2.46	2.27	2.47	2.18	1.98	2.49	2.02	1.72	3.23
Simpang Ampat												
λ	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02
$E(X)$	8.90	7.03	7.30	8.10	6.97	10.05	9.40	7.42	8.97	7.79	6.78	6.77
$E(C)$	3.17	4.13	3.91	3.6	2.82	2.90	2.71	3.30	3.7	2.47	3.2	3.19
β	0.07	0.08	0.05	0.05	0.14	0.61	0.12	0.08	0.03	0.13	0.10	0.12
η	1.8	1.67	1.82	1.83	1.89	2.55	1.57	1.41	0.94	1.41	1.65	1.79
Telok Intan												
λ	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
$E(X)$	9.69	8.88	9.33	9.28	8.86	6.82	6.26	9.67	6.5	7.13	7.64	8.67
$E(C)$	3.12	3.26	3.86	2.79	3.54	3.16	4.02	3.5	4.62	4.11	3.38	3.10
β	0.11	0.17	0.06	0.24	0.26	0.23	0.17	0.12	0.10	0.06	0.19	0.18
η	2.38	2.63	2.12	2.59	2.73	1.85	2.09	2.98	2.16	2.00	2.19	2.01

RUJUKAN

- Calenda, G. & Napolitano, F. 1999. Parameter estimation of Neyman-Scott process for temporal point rainfall simulation. *Journal of Hydrology* 225: 45-66.
- Cowpertwait, P.S.P. 1991. Further development of the Neyman-Scott clustered point process for modeling rainfall. *Water Resources Research* 27: 1431-1438.
- Cowpertwait, P.S.P., O'Connell, P.E., Metcalfe, A.V. & Mawdsley, J.A. 1996a. Stochastic point process modeling of rainfall. I. Single site fitting and validation. *Journal of Hydrology* 175: 17-46.
- Cowpertwait, P.S.P., O'Connell, P.E., Metcalfe, A.V. & Mawdsley, J.A. 1996b. Stochastic point process modeling of rainfall. II. Regionalisation and disaggregation. *Journal of Hydrology* 175: 47-65.
- Cowpertwait, P.S.P. 1998. A poisson-cluster model of rainfall: Some high-order moments and extreme values. *Proc. R. Lond. A* 454: 885-898.
- Deni, S.M., Suhaila, J., Wan Zin, W.Z. & Jemain, A.A. 2008. Tracing trends in the sequences of dry and wet days over Peninsular Malaysia. *Journal of Environmental Science and Technology* 1(3): 97-110.
- Deni, S.M., Jemain, A.A. & Ibrahim, K. 2010. The best probability models for dry and wet spells in Peninsular Malaysia during moonson seasons. *International Journal of Climatology* 30: 1194-1205.
- Entekhabi, D., Rodriguez-Iturbe, I. & Eagleson, P.S. 1989. Probabilistic representation of the temporal rainfall process by a modified Neyman-Scott rectangular pulses model: Parameter estimation and validation. *Water Resources Research* 25: 295-302.
- Favre, A-C., Musy, A. & Morgenthaler, S. 2004. Unbiased parameter estimation of the Neyman-Scott model for rainfall simulation with related confidence interval. *Journal of Hydrology* 286: 168-178.
- Mondonedo, C.A., Tachikawa, Y. & Takara, K. 2010. Improvement of monthly and seasonal synthetic extreme values of the Neyman-Scott rainfall model. *Hydrol. Process* 24: 654-663.
- Rodriguez-Iturbe, I., Cox, D.R. & Isham, V. 1987a. Some models for rainfall based on stochastic point processes. *Proceedings of Royal Society of London Series A* 410 (1839): 269-288.
- Rodriguez-Iturbe, I., Febres De Power, B. & Valdes, J. 1987b. Rectangular pulses point process models for rainfall: Analysis of empirical data. *Journal Geophysical Research* 92(D8): 9645-9656.
- Suhaila, J. & Jemain, A.A. 2009. Investigating the impacts of adjoining wet days on the distribution of daily rainfall amounts in Peninsular Malaysia. *Journal of Hydrology* 368(1-4): 17-25.
- Velghe, T., Troch, P.A., De Troch, F.P. & Van de Velde, J. 1994. Evaluation of cluster-based rectangular pulses point process model for rainfall. *Water Resour. Res* 30(10): 2847-2857.
- 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.
- 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.

Rado Yendra*

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

Wan Zawiah Wan Zin & Abdul Aziz Jemain
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: 7 Februari 2013

Diterima: 12 Julai 2013