

Peramalan Data Siri Masa Aliran Sungai di Dataran Banjir dengan Menggunakan Pendekatan Kalut (Predicting Time Series Data at Floodplain Area using Chaos Approach)

NUR HAMIZA ADENAN* & MOHD SALMI MD NOORANI

ABSTRAK

Bencana banjir boleh menjejaskan kehidupan dan harta benda. Risiko kejadian banjir boleh diminimumkan jika amaran awal dapat dikeluarkan. Di atas inisiatif ini, peramalan aliran sungai harian dijalankan di sebuah stesen aliran sungai di Sungai Muda, Malaysia yang terletak di dataran banjir. Peramalan dengan mengaplikasikan pendekatan kalut melibatkan dua langkah iaitu pembinaan semula ruang fasa dan peramalan. Pembinaan ruang fasa melibatkan satu pemboleh ubah iaitu data aliran sungai yang dibina semula kepada m -dimensi dengan menggunakan nilai optimum dimensi pembenaman daripada kaedah Cao dan variasi nilai dimensi pembenaman untuk pendekatan songsang. Hasil daripada pembinaan ruang fasa ini digunakan untuk meramal aliran sungai dengan menggunakan kaedah peramalan setempat. Hasil kajian menunjukkan data aliran Sungai Muda adalah bertelatah kalut berdasarkan analisis daripada kaedah Cao. Keseluruhan hasil peramalan bagi kedua-dua kaedah dapat memberikan peramalan yang baik berdasarkan pekali korelasi yang tinggi. Namun, kombinasi parameter asas bagi pendekatan songsang memberikan hasil peramalan yang lebih baik. Oleh itu, pendekatan songsang boleh dicadangkan bagi meramal data aliran sungai harian dengan tujuan memberikan maklumat penting mengenai sistem aliran sungai di dataran banjir terutamanya di Sungai Muda.

Kata kunci: Aliran sungai; dataran banjir; data siri masa; pendekatan kalut; peramalan

ABSTRACT

Floods are natural disaster that can cause substantial losses of lives and property. Flood risk can be minimized if an early warning can be issued. In this regard, daily river flow prediction was analyzed at a river flow station in Ladang Victoria, Malaysia which is located in a floodplain area. Prediction using chaotic approach that involves the reconstruction of phase space and prediction have been employed in this research. The reconstruction of phase space involves a single variable of river flow data to m -dimensional phase space in which the dimension (m) is based on the optimal values of method of Cao and the variation of m for inverse approach. The results from the reconstruction of phase space have been used in the prediction process using local linear approximation method. From our investigation, river flow at Muda River is chaotic based on the analysis from Cao method. Overall, prediction results for both methods can provide a good prediction based on a high correlation coefficient. However, the combination of the preliminary parameters for the inverse approach yields better prediction. Therefore, the inverse approach can be proposed for predicting daily river flow data for the purpose of providing important information about the flow of the river system in floodplain area especially in Sungai Muda.

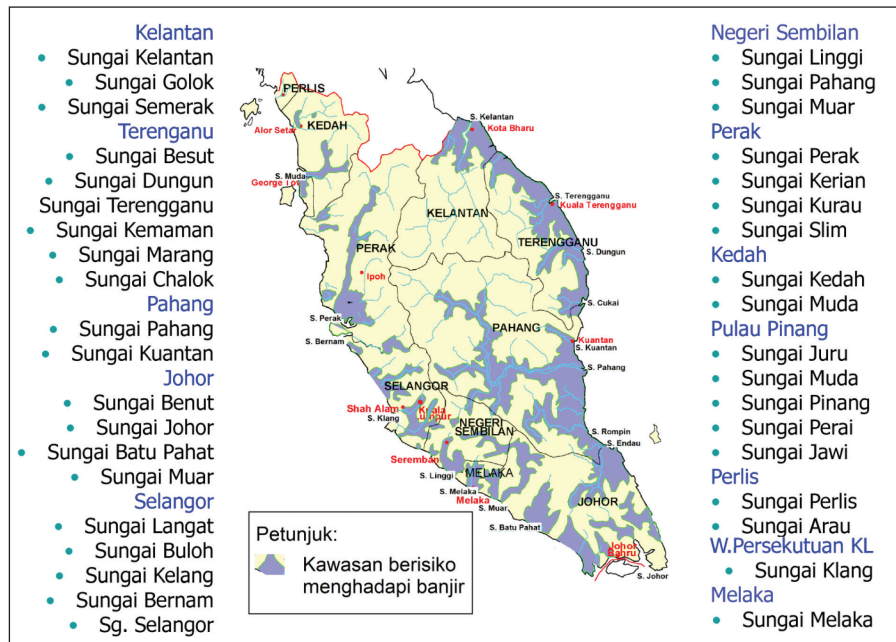
Keywords: Chaos approach; floodplain area; prediction; river flow; time series data

PENGENALAN

Banjir adalah salah satu bencana alam yang boleh menjejaskan pembangunan ekonomi dan kehidupan. Dianggarkan sebanyak 40% kerugian ekonomi adalah disebabkan bencana banjir (Feng & Lu 2010). Banjir berulang merupakan satu masalah di Malaysia yang menyebabkan kerugian ekonomi. Menurut Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 9% daripada tanah (29000 km²) dalam negara terdedah kepada banjir, 22% daripada penduduk (4.98 juta) terjejas akibat banjir seperti yang dapat dirujuk pada Rajah 1. Purata kerugian ekonomi di Malaysia akibat bencana banjir dianggarkan sebanyak RM915.12 juta sehingga tahun 2002 (Ghani et al. 2012). Oleh itu, analisis dan peramalan bagi sungai yang terletak

di kawasan dataran banjir seperti Sungai Muda perlu dijalankan.

Kawasan Sungai Muda di negeri Kedah merupakan salah satu kawasan yang menghadapi masalah banjir hampir setiap tahun (Bernama 2009, 2005). Jadual 1 menunjukkan kejadian banjir yang mencatatkan aliran sungai tertinggi di Ladang Victoria yang berlaku pada tahun 1996, 1998, 1999 dan 2003 (Julien et al. 2010). Menurut sumber daripada petikan akhbar, kejadian banjir di Kedah bukan saja menyebabkan kerugian ekonomi malah telah berlaku kehilangan nyawa (Bernama 2010). Oleh itu, amat penting kajian ini dijalankan di lembangan Sungai Muda bagi membantu dalam menganalisis dan meramal aliran sungai bagi tujuan pengawalan dan pencegahan banjir. Bahaya



RAJAH 1. Kawasan yang terlibat dengan bencana banjir (Zainab Hashim 2010)

JADUAL 1. Kejadian banjir Sungai Muda di Ladang Victoria (Julien et al. 2010)

Kedudukan	Tahun	m ³ /s	Kedudukan	Tahun	m ³ /s
1	2003	1,340	23	1977	542
2	1988	1,225	24	2001	539
3	1999	1,200	25	1963	516
4	1996	1,100	26	1984	500
5	1998	980	27	1980	480
6	1967	912	28	179	450
7	1965	861	29	1985	449
8	1971	789	30	1981	436
9	1973	781	31	1990	433
10	1973	706	32	1980	399
11	1966	661	33	1983	393
12	1964	640	34	1991	382
13	1997	626	35	1987	377
14	2000	626	36	1978	375
15	2002	612	37	1961	374
16	1970	602	38	2004	340
17	1960	572	39	1989	332
18	1968	572	40	1993	326
19	1975	565	41	1992	319
20	2005	565	42	1986	315
21	1976	549	43	1962	268
22	1969	546	44	1974	264

banjir boleh dielakkan atau diminimumkan risikonya jika amaran awal dapat dikeluarkan. Tambahan lagi, kejadian banjir boleh diramal jika dapat menghasilkan peramalan aliran sungai yang tepat (Warren Viesman & Lewis 2008). Di Malaysia, kajian mengenai peramalan aliran sungai semakin berkembang. Kaedah pengaturcaraan persamaan genetik (Azamathulla & Zahiri 2012), Mesin Sokongan Vektor (Shabri & Suhartono 2012) dan kaedah pelicinan eksponen (Musa & Wan Mohamed 2007) merupakan antara

kaedah yang digunakan untuk peramalan aliran sungai. Namun, peramalan proses hidrologi menggunakan teori kalut belum pernah diaplikasikan.

Perkembangan analisis dan peramalan terhadap sistem nyata semakin berkembang dengan hasil aplikasi pendekatan kalut terutamanya pada ketepatan hasil peramalan di dalam pelbagai bidang seperti aliran trafik (Lan et al. 2003), perubatan (Fojt & Holcik 1998; Kantz & Schreiber 2004), cuaca (Abarbanel 1996), ekonomi

(Peters 1996) dan termasuk peramalan tidak linear data siri masa hidrologi (Domenico et al. 2013; Jayawardena & Lai 1994; Sivakumar 2002). Oleh itu aplikasi terhadap pelbagai bidang sistem bertelatah kalut pada kehidupan sebenar penting bagi memberi peramalan yang tepat.

Pada masa dahulu, pendekatan stokastik seperti ARMA (purata bergerak auto regresi) telah digunakan secara meluas bagi tujuan tersebut. Perkembangan mengenai peramalan telah bermula sebelum tahun 1980 dengan ARMA (kaedah purata bergerak auto regresi) menjadi tumpuan penyelidik selepas diperkenalkan oleh Box et al. (1976). Kaedah ini menjadi popular untuk peramalan data siri masa namun model ini tidak mampu untuk meramal data siri masa tak linear, tidak seragam dan bertelatah kalut (Lau & Wu 2008; Regonda et al. 2005; Rojas et al. 2008). Tambahan lagi, andaian konsep linear terhadap sistem hidrologi yang kompleks adalah tidak sesuai diaplikasikan (Jayawardena & Gurung 2000).

Perkembangan kajian mengenai analisis data siri masa tak linear semakin berkembang dengan beberapa revolusi kaedah. Kebanyakan revolusi ini memberikan penemuan penting seperti '*science is chaos*'. Penemuan ini menerangkan bahawa satu sistem yang kompleks boleh dianalisis dengan menggunakan beberapa domain pemboleh ubah tak linear (Islam & Sivakumar 2002). Maka, perkembangan terhadap teori kalut ini dapat membantu membuktikan bahawa sistem nyata adalah mudah difahami dengan mengaplikasikan pendekatan kalut (Jayawardena & Lai 1994; Rodriguez-Iturbe et al. 1989). Oleh itu, aplikasi pendekatan kalut dipilih untuk diaplikasikan terhadap data aliran harian Sungai Muda bagi menguji ketepatan hasil peramalan terhadap data aliran sungai yang terletak di dataran banjir.

DATA

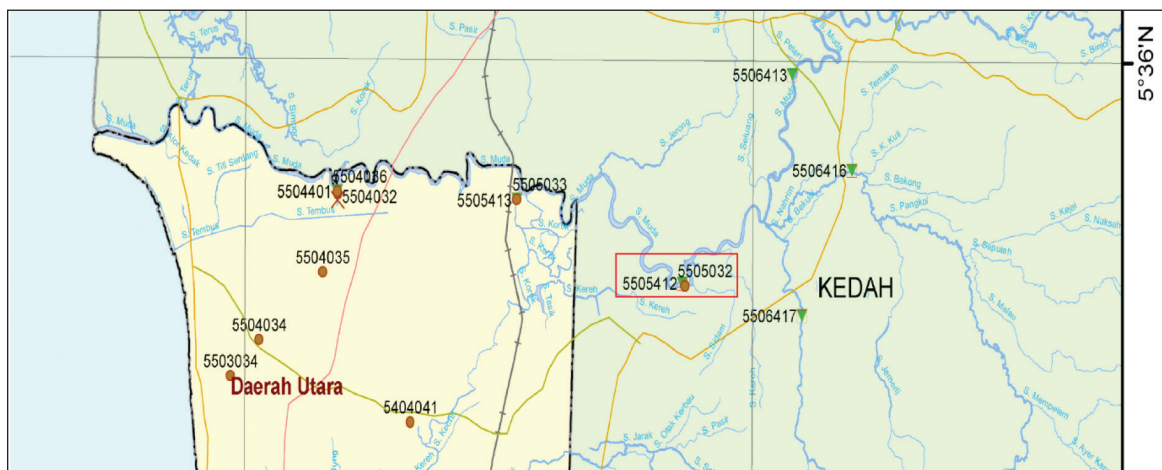
Sungai Muda merupakan sungai terpanjang di negeri Kedah yang terletak di utara Semenanjung Malaysia. Hulu aliran sungai datang daripada gunung yang terletak di

utara negeri. Panjang sungai ini adalah 180 km mengalir ke selatan negeri dengan kawasan tadahan seluas 4210 km². Terdapat tiga anak sungai yang menyumbang kepada sistem aliran Sungai Muda iaitu Sungai Sedim dengan 626 km², Sungai Ketil dengan 868 km² dan Sungai Chepir dengan 335 km². Manakala terdapat empat tempat rujukan bagi kawasan tadahan air hujan yang melibatkan stesen Jeniang (kawasan tadahan air bagi kawasan Nami), stesen Jambatan Syed Omar (kawasan tadahan air Sik dan Ketil) dan stesen Ladang Victoria (kawasan tadahan air bagi kawasan Sedim). Kawasan tadahan air di empangan Muda dikelilingi hutan. Namun begitu, hutan semula jadi sepanjang sungai adalah terhad. Tumbuh-tumbuhan dominan yang terdapat di sepanjang sungai lebih kepada penanaman getah dan kelapa sawit. Penanaman padi ditanam di sepanjang kawasan yang menghadapi ancaman banjir di lembangan sungai.

Sepanjang Sungai Muda, aliran sungai diukur pada beberapa buah stesen pengukuran dan stesen Ladang Victoria menunjukkan kejadian banjir di Sungai Muda berlaku hampir setiap tahun seperti yang diterangkan di dalam Rajah 2 & Jadual 2. Merujuk kepada perkara tersebut, stesen aliran sungai di Ladang Victoria dikaji. Lokasi stesen dapat ditunjukkan pada Rajah 2. Data aliran sungai di Malaysia dicerap Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia diperolehi dari tahun 1974. Namun, kajian ini hanya melibatkan data dari Januari 1999 hingga Disember 2009 iaitu sebanyak 4018 data harian. Data harian yang terlibat mempunyai 0.008% data yang hilang. Data yang hilang diisi dengan hasil pengiraan dengan menggunakan kaedah linear interpolasi.

KAEDAH

Pembinaan semula ruang fasa bagi tujuan peramalan memerlukan anggaran parameter ruangan fasa: Dimensi pembenaman (m), masa penanguhan (τ) dan bilangan jiran terdekat (k). Terdapat pelbagai perbincangan mengenai pemilihan parameter bagi pembinaan ruang fasa untuk



RAJAH 2. Lokasi stesen Ladang Victoria (nombor stesen: 5505412) di Sungai Muda

JADUAL 2. Statistik asas data siri masa aliran sungai harian di Sungai Muda

Statistik asas	Aliran sungai (m ³ /s)
Bilangan data	4018
Purata tahunan (m ³ /s)	118
Maksimum (m ³ /s)	1317.3
Minimum (m ³ /s)	2.5
Sisihan piawai	114.7
Pekali variasi	0.9720
Kepencongan	3.4
Kurtosis	20.9

peramalan. Pemilihan τ mempengaruhi sifat penarik yang membina ruang fasa dan seterusnya memberi kesan terhadap hasil peramalan (Liebert & Schuster 1989). Dalam kajian ini, nilai masa penangguhan (τ) ditentukan terlebih dahulu manakala nilai dimensi (m) dengan menggunakan beberapa kaedah yang berbeza. Pemilihan nilai τ yang sesuai penting semasa pembinaan semula ruang fasa. Nilai τ yang paling optimum dapat memberikan satu pemisah bagi jiran pada unjuran dalam sesuatu dimensi terbenam pada ruang fasa. Sekiranya nilai τ terlalu kecil, koordinat pada ruang fasa tidak dapat menggambarkan dinamik pada sistem. Daripada sudut matematik, pemilihan τ adalah sesuatu yang subjektif. Maka, kaedah yang terbaik untuk menganggar nilai optimum τ tidak dapat dikenal pasti kerana ciri-ciri optimum τ adalah tidak jelas (Kantz & Schreiber 2004). Walau bagaimanapun, terdapat beberapa kaedah popular untuk menganggar nilai optimum τ seperti kaedah auto korelasi dan kaedah purata maklumat saling. Namun begitu, tujuan pembinaan ruang fasa bagi kajian ini adalah untuk membuat peramalan terhadap data siri masa bertelatah kalut. Oleh itu, $\tau = 1$ akan digunakan di dalam kajian ini sebagai parameter tetap bagi pembinaan ruang fasa. Walaupun, penggunaan $\tau = 1$ membuatkan lebih maklumat semasa pembinaan ruang fasa tetapi kajian ini lebih mengutamakan lebih maklumat daripada kehilangan apa-apa maklumat berguna (Wang et al. 2006). Tambahan lagi, beberapa kajian lepas bagi peramalan data siri masa hidrologi menunjukkan apabila $\tau = 1$ digunakan dalam pembinaan ruang fasa, hasil peramalan adalah memuaskan (Sivakumar 2003, 2002). Oleh itu, $\tau = 1$ digunakan bagi memaksimumkan dan menggambarkan keseluruhan data di dalam ruang fasa bagi tujuan peramalan.

Nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) yang dibenamkan di dalam ruang fasa dapat menggambarkan tipologi penarik. Bilangan dimensi pada pembinaan ruang fasa adalah bersamaan dengan bilangan lajur dalam matriks yang terhasil daripada pembenaman parameter pada siri masa. Sekiranya bilangan lajur tidak mencukupi, ruang fasa tidak dapat mencerminkan dinamik pada sistem. Oleh itu, pemilihan nilai dimensi pembenaman (m) yang sesuai penting bagi menggambarkan dinamik pada ruang fasa. Dua pendekatan untuk menganggar nilai dimensi pembenaman (m) iaitu kaedah Cao dan pendekatan

songsang diaplikasikan dalam kajian ini. Dua pendekatan tersebut diterangkan di bahagian seterusnya.

Bilangan jiran terdekat (k) penting bagi peramalan dengan menggunakan kaedah peramalan setempat. Dalam kajian ini, formula $k = 2m$ digunakan dengan m adalah dimensi pembenaman bagi model yang terlibat seperti digunakan dalam kajian yang dilaporkan (Theiler et al. 1993). Sebagai contoh, jika nilai dimensi pembenaman yang digunakan ialah $m = 2$, maka, bilangan jiran terdekat (k) adalah $k = 4$.

Bahagian ini menerangkan kaedah piawai yang terlibat dalam kajian ini bagi menganggar nilai dimensi pembenaman (m). Kaedah pertama bagi menganggar nilai dimensi pembenaman (m) sebelum pembinaan ruang fasa dilaksanakan adalah dengan menggunakan kaedah Cao (1997). Kaedah ini tidak bergantung kepada bilangan data yang digunakan. Maka, kaedah ini sesuai diaplikasikan sekiranya data yang digunakan merupakan bilangan data yang sedikit. Kaedah ini melibatkan dua parameter Cao iaitu $E1(m)$ dan $E2(m)$. Parameter $E1(m)$ dapat memberikan nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) dan parameter $E2(m)$ dapat membuktikan data siri masa adalah bertelatah kalut.

Pembinaan ruang fasa dalam ruang dimensi m adalah seperti (8) iaitu dengan menggunakan nilai τ telah dicadangkan. Andaikan \mathbf{Y}_i mewakili vektor ke- i dengan dimensi pembenaman m mentakrifkan:

$$a(i, m) = \frac{\|\mathbf{Y}_i(m+1) - \mathbf{Y}_i^{NN}(m+1)\|}{\|\mathbf{Y}_i(m) - \mathbf{Y}_i^{NN}(m)\|} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N - m\tau, \quad (1)$$

dengan $\|\cdot\|$ adalah satu ukuran jarak Euklidan dan ditentukan seperti persamaan berikut:

$$\|\mathbf{Y}_i(m) - \mathbf{Y}_i^{NN}(m)\| = \max_{0 \leq j \leq m-1} |x_{i+j\tau} - x_{i+j\tau}^{NN}|, \quad (2)$$

dengan $\mathbf{Y}_i(m+1) = \{x_i, x_{i+\tau}, x_{i+2\tau}, \dots, x_{i+m\tau}\}$ pada dimensi $m+1$. Manakala $n(i, m)$ adalah satu integer yang memenuhi syarat supaya $\mathbf{Y}_i^{NN}(m)$ adalah jiran terdekat bagi $\mathbf{Y}_i(m)$ di dalam ruang fasa m -dimensi bagi jarak yang ditetapkan. Sekiranya $n(i, m)$ adalah sama untuk penyebut dan pengangka dalam (4), maka jiran terdekat kedua dipilih. Kemudian, nilai purata bagi $a(i, m)$ dikira seperti persamaan berikut:

$$E(m) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{i=1}^{N-m\tau} a(i, m), \quad (3)$$

iaitu $E(m)$ adalah bersandar dengan m -dimensi dan τ sahaja. Perubahan variasi daripada m -dimensi kepada $(m+1)$ -dimensi boleh dikaji dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E1(m) = \frac{E(m+1)}{E(m)}. \quad (4)$$

Sekiranya $E1(m)$ tepu pada sesuatu nilai m , siri masa tersebut adalah berketentuan dan $m + 1$ adalah nilai optimum bagi dimensi pembenaman (m). Manakala jika siri masa yang dikaji adalah rawak, $E1(m)$ tidak akan tepu pada sesuatu nilai m . Oleh itu, graf $E1(m)$ melawan m boleh digunakan untuk melihat perubahan variasi daripada m -dimensi kepada $(m + 1)$ -dimensi dan seterusnya, nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) dapat ditentukan. Kaedah Cao (1997) mempertimbangkan (5) bagi memastikan data yang digunakan berketentuan atau rawak dengan menggunakan kaedah ini. Persamaan yang digunakan adalah seperti berikut:

$$E2(m) = \frac{E^*(m+1)}{E^*(m)}, \quad (5)$$

iaitu nilai $E^*(m)$ dapat dikira dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E^*(m) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{i=1}^{N-m\tau} |x_{i+m\tau} - x_{i+m\tau}^{NN}|. \quad (6)$$

Sekiranya data siri masa adalah rawak, $E2(m)$ akan sentiasa bernilai 1 untuk sebarang nilai m . Manakala jika siri masa adalah berketentuan, $E2(m)$ tidak akan bernilai sama dengan 1 untuk semua nilai m iaitu dengan kata lain $E2(m) \neq 1$. Maka, keadaan ini dapat memastikan bahawa data yang digunakan adalah data berketentuan dan bertelatah kalut (Cao 1997). Nilai dimensi pembenaman (m) yang terhasil daripada pengiraan kaedah Cao digunakan untuk membina ruang fasa bagi peramalan dengan menggunakan kaedah peramalan setempat.

Kaedah kedua bagi menganggar nilai dimensi pembenaman (m) sebelum pembinaan ruang fasa dilakukan dengan menggunakan pendekatan songsang. Penentuan parameter bagi pembinaan ruang fasa menggunakan kaedah Cao tidak dapat memberikan satu jaminan mengenai kaedah yang sesuai untuk diaplikasikan terhadap data siri masa. Oleh itu, beberapa pengkaji telah mencadangkan kaedah songsang bagi menentukan parameter yang sesuai. Kaedah songsang ini melibatkan dua langkah dengan langkah pertama adalah pembinaan ruang fasa, manakala langkah kedua adalah peramalan iaitu dengan menggunakan kaedah peramalan setempat (Adenan & Noorani 2014, 2013).

Pembinaan semula ruang fasa dapat membuktikan dinamik bagi siri masa dengan melihat unjuran pada penarik di dalam ruang fasa. Telatah bagi sesuatu sistem dapat ditunjukkan dalam unjuran pada sesuatu sistem. Satu skala siri masa $x(t)$ membentuk satu dimensi siri masa seperti persamaan berikut:

$$\{x_i\} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}, \quad (7)$$

dengan N adalah jumlah bilangan siri masa. Daripada siri masa $x(t)$, pembinaan m -dimensi dilakukan. Pembinaan ruang fasa dalam ruang dimensi m dengan vektor adalah seperti persamaan berikut:

$$\mathbf{Y}_i = \{x_i, x_{i+\tau}, x_{i+2\tau}, \dots, x_{i+(m-1)\tau}\}, \quad (8)$$

dengan τ adalah nilai yang telah dicadangkan dan m adalah dimensi pembenaman. Dalam kajian ini, nilai masa penangguhan (τ) ditentukan terlebih dahulu manakala nilai dimensi pembenaman (m) akan dipelbagaikan dengan beberapa nilai yang berbeza. Nilai $\tau = 1$ digunakan dalam kaedah ini bagi menggambarkan keseluruhan data. Nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) pada pembenaman ruang fasa dapat menggambarkan topologi penarik. Di dalam kajian ini, m -dimensi diubah ($m = 2, 3, 4, \dots, 10$) bagi mencari nilai dimensi pembenaman (m) terbaik yang dapat memberikan hasil peramalan yang paling tepat.

Bahagian kedua bagi kaedah songsang adalah peramalan data siri masa. Dalam kajian ini, kaedah peramalan setempat digunakan bagi membuat peramalan. Kaedah peramalan setempat diterangkan pada bahagian peramalan kerana keseluruhan kajian ini melibatkan kaedah tersebut. Prestasi peramalan diukur dengan menggunakan nilai pekali korelasi CC yang paling tinggi bagi menentukan nilai dimensi pembenaman paling optimum (m_{opt}).

Peramalan dengan menggunakan kaedah peramalan setempat diterangkan di dalam bahagian ini. Pembinaan ruang fasa dengan m -dimensi boleh ditafsirkan pada asas dinamik dalam bentuk pemetaan m -dimensi f_T iaitu seperti persamaan berikut:

$$\mathbf{Y}_{i+T} = f_T(\mathbf{Y}_i), \quad (9)$$

dengan \mathbf{Y}_i dan \mathbf{Y}_{i+T} adalah vektor pada dimensi m yang menggambarkan keadaan pada masa i (waktu semasa) dan $i + T$ (waktu masa akan datang). Andaikan bahawa pembinaan ruang fasa dalam ruang m -dimensi dengan vektor adalah seperti (8) iaitu \mathbf{Y}_i . Seterusnya, untuk meramal \mathbf{Y}_{i+1} jiran terdekat bagi \mathbf{Y}_i perlu dicari. Maka, jarak Euclidean antara vektor pada waktu semasa \mathbf{Y}_i dan vektor sebelum \mathbf{Y}_w ($w = 1, 2, \dots, w-1$) dikira. Jarak yang paling minimum diambil untuk membentuk vektor bagi jiran terdekat. Andaikan k jiran terdekat adalah \mathbf{Y}_p . Vektor bagi imej jiran terdekat \mathbf{Y}_p adalah \mathbf{Y}_{p+1} bagi m -dimensi yang sama. Nilai bagi \mathbf{Y}_p dan \mathbf{Y}_{p+1} digunakan untuk memenuhi persamaan linear $\mathbf{Y}_{p+1} = A\mathbf{Y}_p + B$. Nilai pemalar bagi A dan B dikira dengan menggunakan kaedah punca kuasa dua terkecil. Oleh itu, nilai ramalan \mathbf{Y}_{i+1} boleh dikira dengan menggunakan $\mathbf{Y}_{i+1} = A\mathbf{Y}_i + B$.

HASIL DAN PERBINCANGAN

Peramalan aliran sungai di dataran banjir adalah melibatkan aliran Sungai Muda. Terdapat beberapa stesen aliran sungai di sepanjang sungai yang dikaji. Namun begitu, skop terhadap peramalan ini diperincikan terhadap data aliran sungai di stesen Ladang Victoria dan melibatkan skala masa harian. Hasil peramalan daripada nilai dimensi pembenaman (m) yang dianggarkan dengan dua kaedah berbeza dilaporkan dengan penuh teliti dalam bahagian seterusnya.

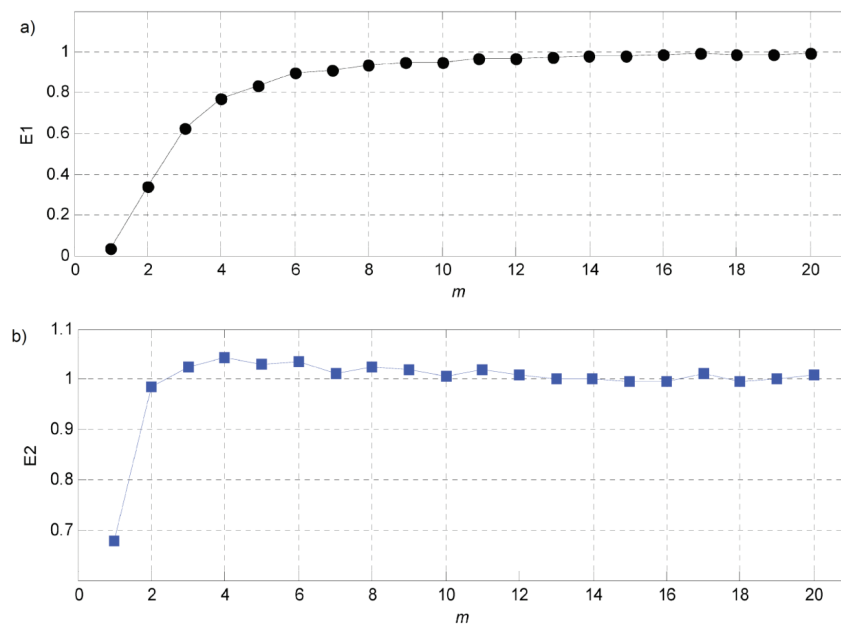
Hasil kajian bagi aplikasi kaedah Cao adalah untuk memastikan sistem yang dikaji adalah bertelatah kalut dan seterusnya menganggarkan nilai dimensi pembenaman (m) bagi pembinaan ruang fasa untuk peramalan. Maka, aplikasi kaedah Cao digunakan untuk memasti dan mengesahkan bahawa sistem aliran sungai yang dikaji adalah bertelatah kalut. Kaedah Cao ini telah diaplikasikan terhadap data aliran sungai harian. Kaedah Cao tidak bergantung kepada bilangan data. Maka, 4018 data aliran sungai harian digunakan untuk membuktikan sistem aliran sungai ini adalah bertelatah kalut.

Rajah 3 menunjukkan graf $E1(m)$ lawan m dan graf $E2(m)$ lawan m bagi satu sistem aliran sungai di kawasan dataran banjir dan diperincikan kepada data siri masa aliran sungai harian. Pola graf $E1(m)$ lawan m menunjukkan nilai $E1$ meningkat dengan perlahan sehingga mencapai satu nilai yang tepu. Merujuk kepada Rajah 3(a) didapati nilai $E1$ meningkat dengan mendadak sehingga nilai $E1$ tepu antara nilai 0.8 dan 1.0 iaitu bermula nilai $m = 9$ dengan nilai $E1(9) = 0.9495$. Maka, nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) yang terlibat bagi aliran harian Sungai Muda yang terletak di dataran banjir adalah masing-masing bernilai $m_{opt} = 10$. Dalam usaha memastikan sistem yang dikaji adalah bertelatah kalut, pengiraan bagi $E2(m)$ digunakan seperti yang diplotkan pada graf $E2(m)$ lawan m pada Rajah 3(b). Keseluruhan graf $E2(m)$ lawan m mendapati nilai $E2$ yang terlibat adalah tidak sama dengan nilai 1. Maka, dapat diberi kesimpulan bahawa sistem aliran sungai yang dikaji adalah bertelatah kalut.

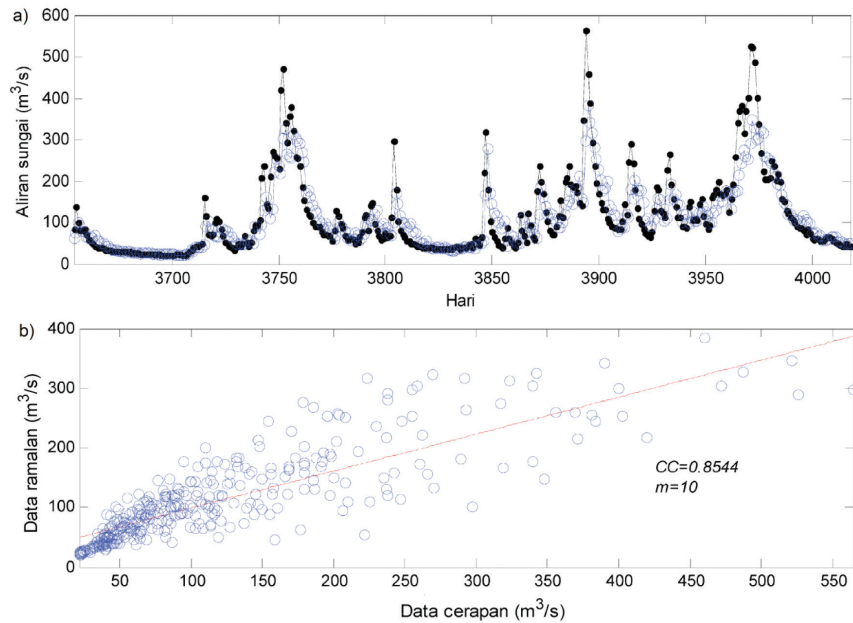
Setelah selesai memastikan bahawa data siri masa yang digunakan adalah bertelatah kalut, hasil analisis daripada graf $E1(m)$ lawan m yang memberi nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) digunakan untuk

membuat peramalan. Peramalan data siri masa dilakukan dengan menggunakan kombinasi parameter asas (τ, m) hasil daripada penelitian Rajah 3(a) bagi pembinaan ruang fasa untuk peramalan. Rajah 4 menunjukkan hasil peramalan yang melibatkan kombinasi parameter asas (τ, m). Peramalan bagi data aliran sungai harian dilakukan dengan membuat peramalan data aliran sungai harian selama 365 hari iaitu bermula dari hari ke-3654 hingga ke-4018 dengan menggunakan kombinasi parameter asas ($\tau = 1, m = 10$) daripada kaedah Cao dalam pembinaan ruang fasa untuk peramalan. Merujuk kepada Rajah 4(a), pola graf data cerapan aliran sungai dapat diramal dengan baik dengan membandingkan dengan graf data ramalan aliran sungai harian. Perbandingan bagi nilai data cerapan dan data ramalan bagi graf tersebut menunjukkan peramalan berjaya dilakukan untuk data yang agak rendah iaitu melibatkan nilai antara 0 sehingga 100 m^3/s . Hasil peramalan adalah kurang memberangsangkan untuk data yang bernilai tinggi iaitu melebihi 400 m^3/s . Merujuk kepada graf tersebut, data cerapan aliran sungai harian berjaya diramal apabila aliran sungai adalah antara nilai 0 sehingga 400 m^3/s . Rajah serakan yang positif dapat dilihat dengan merujuk kepada Rajah 4(b). Didapati apabila nilai data aliran sungai harian meningkat, hasil peramalan semakin mencapah dan tidak bertumpu pada garis linear. Namun begitu, nilai pekali korelasi CC yang menjadi penilai prestasi hasil peramalan menunjukkan nilai yang tinggi iaitu 0.8544.

Bahagian kedua melaporkan hasil peramalan dengan menggunakan kaedah songsang. Nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) ini dipilih dengan membuat peramalan menggunakan variasi dimensi pembenaman (m). Kaedah peramalan masih sama iaitu menggunakan



RAJAH 3. Analisis bagi aplikasi kaedah Cao terhadap data siri masa aliran sungai harian di Sungai Muda: (a) Graf $E1(m)$ lawan m dan (b) graf $E2(m)$ lawan m



RAJAH 4. Hasil peramalan bagi aplikasi kaedah Cao terhadap data siri masa aliran sungai harian di Sungai Muda: (a) perbandingan hasil peramalan dan (c) gambar rajah serakan

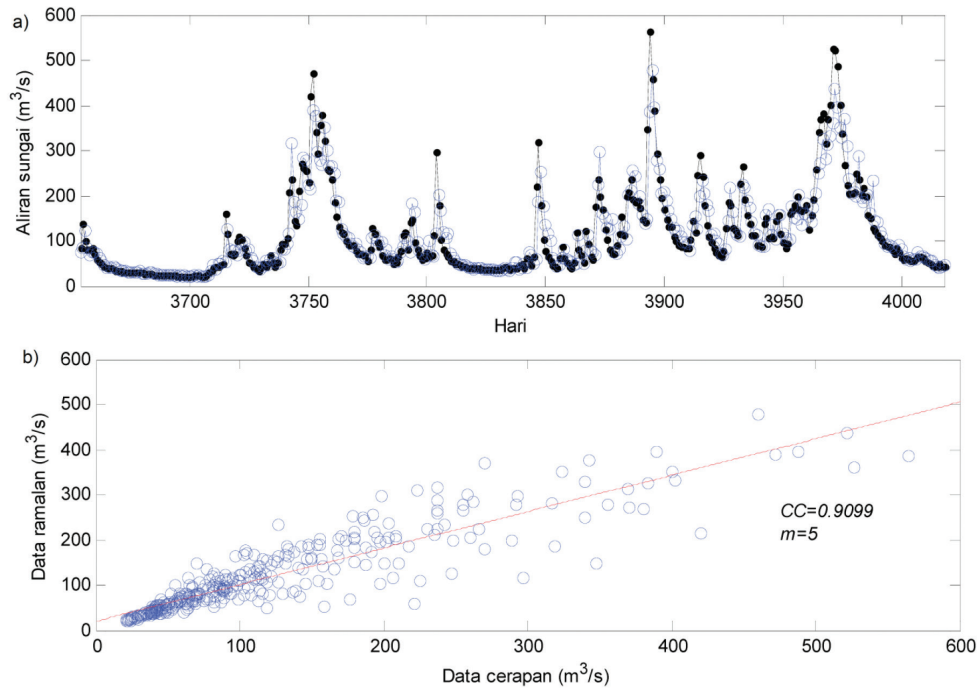
kaedah peramalan setempat. Data aliran sungai harian diramal selama 365 hari. Prestasi peramalan diukur dengan menggunakan pekali korelasi CC bagi menentukan peramalan yang terbaik. Nilai dimensi yang dapat memberikan nilai pekali korelasi CC yang paling tinggi diterima sebagai dimensi pembenaman paling optimum (m_{opt}) yang dapat memberikan hasil peramalan yang terbaik. Jadual 3 menunjukkan prestasi peramalan yang melibatkan pekali korelasi CC bagi dimensi pembenaman (m) yang berbeza dengan menggunakan pendekatan songsang pada data aliran sungai. Keseluruhan hasil peramalan terhadap data harian menunjukkan ramalan yang agak baik. Pekali korelasi CC menunjukkan peramalan bagi data aliran sungai harian memberikan hasil peramalan yang agak baik dengan pekali korelasi yang tinggi iaitu $CC > 0.85$ bagi keseluruhan dimensi yang dibenamkan. Merujuk kepada Jadual 3 bagi peramalan data aliran sungai harian, nilai pekali korelasi CC bermula dengan nilai yang tinggi iaitu 0.8861 pada $m = 2$ dan kemudiannya meningkat dengan nilai pekali korelasi CC yang tertinggi pada $m = 5$ iaitu dengan pekali korelasi 0.9099. Nilai pekali korelasi CC menurun selepas $m = 5$. Maka, nilai pekali korelasi CC paling tinggi adalah pada nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) iaitu $m = 5$. Perbandingan antara data cerapan dan data ramalan bagi peramalan data aliran sungai harian di Sungai Muda menunjukkan nilai turun naik pada pola graf data cerapan dapat diramal dengan hampir tepat

menggunakan kombinasi parameter asas ($\tau = 1, m = 5$) seperti yang ditunjukkan pada Rajah 5(a). Selain itu, nilai data cerapan yang paling rendah iaitu kurang daripada $100 \text{ m}^3/\text{s}$ masih dapat diramal dengan baik dan begitu juga pada nilai yang paling tinggi iaitu hampir $600 \text{ m}^3/\text{s}$ masih dapat diramal dan mempunyai perbezaan nilai yang rendah. Manakala rajah serakan bagi hasil peramalan data aliran sungai harian di dataran banjir menunjukkan kesesuaian kombinasi parameter asas (τ, m) yang digunakan bagi pembinaan ruang fasa untuk peramalan seperti yang ditunjukkan pada Rajah 5(b). Maka, data harian bagi aliran Sungai Muda berjaya diramal dengan baik menggunakan pendekatan songsang.

Perbandingan terhadap hasil peramalan data aliran sungai di dataran banjir adalah merujuk kepada Jadual 4. Dalam jadual tersebut, keseluruhan hasil peramalan terhadap data aliran sungai harian memberikan nilai pekali korelasi CC yang agak tinggi iaitu $CC > 0.84$ dengan melibatkan kedua-dua kaedah yang digunakan untuk menganggarkan nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}). Perbandingan hasil peramalan terhadap peramalan data aliran sungai harian di kawasan dataran banjir menunjukkan pendekatan songsang dengan menggunakan kombinasi parameter asas ($\tau = 1, m = 5$) memberikan hasil peramalan yang lebih baik daripada kombinasi parameter asas ($\tau = 1, m = 10$) daripada kaedah Cao yang merujuk kepada nilai pekali korelasi CC yang hampir dengan nilai

JADUAL 3. Penilaian prestasi peramalan bagi dimensi pembenaman yang berbeza dengan menggunakan pendekatan songsang pada data aliran sungai di dataran banjir

Sungai	Jenis data	m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sungai Muda	Harian	CC	0.8861	0.9077	0.8950	0.9099	0.8861	0.8849	0.8667	0.8788	0.8544



RAJAH 5. Hasil peramalan bagi aplikasi pendekatan songsang terhadap data siri masa aliran sungai harian di Sungai Muda: (a) perbandingan hasil peramalan dan (c) gambar rajah serakan

JADUAL 4. Penilaian prestasi peramalan dengan mengambil hasil pengiraan kaedah Cao dan pendekatan songsang untuk mencari nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) bagi aliran sungai di dataran banjir

Sungai	Jenis data	Kaedah untuk penganggaran nilai dimensi pembenaman (m)	m	CC	RMSE	MAE
Sungai Muda	Harian	Kaedah Cao	10	0.8544	52.07	31.77
		Pendekatan songsang	5	0.9099	40.81	23.79

satu dan nilai RMSE serta MAE adalah yang terendah. Maka, pendekatan songsang adalah paling sesuai digunakan untuk meramal data harian aliran sungai di dataran banjir selain daripada menggunakan nilai dimensi pembenaman (m) daripada kaedah Cao untuk kombinasi parameter asas (τ , m) untuk peramalan.

KESIMPULAN

Kesimpulannya, aliran Sungai Muda adalah bertelatah kalut berdasarkan analisis daripada kaedah Cao. Data harian aliran sungai di dataran banjir dapat diramal dengan agak baik menggunakan nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) daripada kaedah Cao dan pendekatan songsang untuk digunakan sebagai kombinasi parameter asas (τ , m) bagi pembinaan ruang fasa peramalan. Namun begitu, peramalan data aliran sungai di dataran banjir adalah lebih tepat diramal dengan nilai dimensi pembenaman optimum (m_{opt}) daripada pendekatan songsang berbanding kaedah piawai. Oleh itu, pendekatan songsang boleh dicadangkan untuk meramal data aliran sungai harian bagi tujuan memberikan maklumat penting mengenai sistem

aliran sungai supaya maklumat boleh disalurkan kepada pihak bertanggungjawab bagi kawasan yang memerlukan pengawalan terhadap musibah banjir.

RUJUKAN

Abarbanel, H. 1996. *Analysis of Observed Chaotic Data*. New York: Springer. hlm. 272.
 Adenan, N.H. & Noorani, M.S.M. 2014. Nonlinear prediction of river flow in different watershed acreage. *KSCE Journal of Civil Engineering* 18(7): 2268-2274.
 Adenan, N.H. & Noorani, M.S.M. 2013. Monthly river flow prediction using a nonlinear prediction method. *International Journal of Mathematical, Computational Science and Engineering* 7(11): 62-66.
 Azamathulla, H.M. & Zahiri, A. 2012. Flow discharge prediction in compound channels using linear genetic programming. *Journal of Hydrology* 454-455: 203-207.
 Bernama. 2010, November 3. Floods claim 2 lives; over 36,000 evacuated. *The Sun Daily*, <http://www.thesundaily.my/node/136603>.
 Bernama. 2009, November 16. Floods in Kedah and Perak worsen. *The Sun Daily*, <http://www.thesundaily.my/node/149157>.

- Bernama. 2005, December 21. Alor Star airport close due to flood. *The Sun Daily*, <http://www.thesundaily.my/node/175577>.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M. & Reinsel, G.C. 1976. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Chichester: Wiley. hlm.784.
- Cao, L. 1997. Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series. *Physica D: Nonlinear Phenomena* 110(1-2): 43-50.
- Domenico, M.D., Ghorbani, M.A., Makarynskyy, O., Makarynska, D. & Asadi, H. 2013. Chaos and reproduction in sea level. *Applied Mathematical Modelling* 37(6): 3687-3697.
- Feng, L.H. & Lu, J. 2010. The practical research on flood forecasting based on artificial neural networks. *Expert Systems with Applications* 37(4): 2974-2977.
- Fojt, O. & Holcik, J. 1998. Applying nonlinear dynamics to ECG signal processing. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 17(2): 96-101.
- Ghani, A.A., Chang, C.K., Leow, C.S. & Zakaria, N.A. 2012. Sungai Pahang digital flood mapping: 2007 flood. *International Journal of River Basin Management* 10(2): 139-148.
- Islam, M. & Sivakumar, B. 2002. Characterization and prediction of runoff dynamics: A nonlinear dynamical view. *Advances in Water Resources* 25(2): 179-190.
- Jayawardena, A.W. & Gurung, A.B. 2000. Noise reduction and prediction of hydrometeorological time series: Dynamical systems approach vs. stochastic approach. *Journal of Hydrology* 228(3-4): 242-264.
- Jayawardena, A.W. & Lai, F. 1994. Analysis and prediction of chaos in rainfall and stream flow time series. *Journal of Hydrology* 153(1-4): 23-52.
- Julien, P.Y., Ghani, A.A., Zakaria, N.A., Abdullah, R., Chang, C.K. & Asce, M. 2010. Case study: Flood mitigation of the Muda River, Malaysia. *Journal of Hydraulic Engineering* 136(4): 251-261.
- Kantz, H. & Schreiber, T. 2004. *Nonlinear Time Series Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press. hlm. 369.
- Lan, L.W., Kuo, A.Y. & Lin, F. 2003. Testing and prediction of traffic flow dynamics with chaos. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 5: 1975-1990.
- Lau, K.W. & Wu, Q.H. 2008. Local prediction of non-linear time series using support vector regression. *Pattern Recognition* 41(5): 1539-1547.
- Liebert, W. & Schuster, H. 1989. Proper choice of the time delay for the analysis of chaotic time series. *Physics Letters A* 142(2): 107-111.
- Rojas, I., Valenzuela, O., Rojas, F., Guillen, A., Herrera, L.J., Pomares, H., Marquez, L. & Pasadas, M. 2008. Soft-computing techniques and ARMA model for time series prediction. *Neurocomputing* 71(4-6): 519-537.
- Musa, S. & Wan Mohamed, W.A. 2007. Peramalan kadaralir sungai bermusim dan tidak bermusim dengan kaedah pelicinan eksponen. *Prosiding Kebangsaan Awam* 07: 682-692.
- Peters, E.E. 1996. *Chaos and Order in the Capital Markets: A New View of Cycles, Prices, and Market Volatility*. Volume 1. New York: John Wiley & Sons. hlm. 274.
- Regonda, S.K., Rajagopalan, B., Lall, U., Clark, M. & Moon, Y.I. 2005. Local polynomial method for ensemble forecast of time series. *Nonlinear Processes in Geophysics* 12(3): 397-406.
- Rodriguez-Iturbe, I., Febres De Power, B., Sharifi, M.B. & Georgakakos, K.P. 1989. Chaos in rainfall. *Water Resources Research* 25(7): 1667-1675.
- Shabri, A. & Suhartono. 2012. Streamflow forecasting using least-squares support vector machines. *Hydrological Sciences Journal* 57(7): 1275-1293.
- Sivakumar, B. 2003. Forecasting monthly streamflow dynamics in the western United States: A nonlinear dynamical approach. *Environmental Modelling & Software* 18(8-9): 721-728.
- Sivakumar, B. 2002. A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers. *Journal of Hydrology* 258(1-4): 149-162.
- Theiler, J., Eubank, S., Alamos, L., Trail, O.P. & Fe, S. 1993. Don't bleach chaotic data. *Chaos* 4(1): 1-12.
- Wang, W., van Gelder, P.H.A.J.M., Vrijling, J.K. & Ma, J. 2006. Forecasting daily streamflow using hybrid ANN models. *Journal of Hydrology* 324(1-4): 383-399.
- Warren Viesman, J. & Lewis, G.L. 2008. *Introduction to Hydrology*. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall. hlm.1-599.
- Zainab Hashim. 2010. *Development of Atmospheric Based Flood Forecasting and Warning System for Selected River Basins in Malaysia*. http://www.met.gov.my/index.php?option=com_content&task=view&id=2935&Itemid=2329.

Nur Hamiza Adenan*

Jabatan Matematik, Fakulti Sains dan Matematik
Universiti Pendidikan Sultan Idris
35900 Tanjong Malim, Perak Darul Ridzuan
Malaysia

Mohd Salmi Md Noorani
Pusat Pengajian Sains Matematik
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat;
email: nurhamiza.adenan@gmail.com

Diserahkan: 22 Mei 2014
Diterima: 18 Ogos 2014