

ESTIMASI HUBUNGAN HUJAN DAN DEBIT SUNGAI MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Budi I. Setiawan dan Rudiyanto

Departemen Teknik Pertanian, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680
e-mail: budindra@ipb.ac.id, lupusae@yahoo.com

ABSTRAK

Masalah banjir dan kekeringan selalu berkaitan langsung dengan debit air sungai dan kondisi daerah aliran sungai (DAS) di sebelah hulunya. Telah banyak studi yang berupaya menjelaskan relasi antara hujan dan debit air dalam satuan DAS dengan berbagai kelebihan dan kelemahannya. Makalah ini membahas jaringan syaraf tiruan (JST) untuk mengestimasi debit dalam satuan DAS berdasarkan pada kejadian-kejadian hujan yang berfluktuasi secara temporal. Di sini, dicari struktur JST yang memberikan hasil estimasi optimum dengan data hujan dan debit dari dua buah DAS, yaitu satu di Jepang dan satu lagi di Indonesia. Diperoleh bahwa struktur JST 3-5-1 (3 input: evapotranspirasi, hujan hari ini dan sehari sebelumnya; 5 titik pada lapisan tertutup dan 1 output, yaitu debit) memberikan hasil yang optimum untuk kedua DAS tersebut, yang diperlihatkan oleh nilai R dan RMSE pada saat pembelajaran maupun pada saat verifikasi. Algoritma JST ini dikemas dalam bentuk program aplikasi sehingga mudah digunakan untuk mengestimasi sungai-sungai lainnya.

Kata kunci : Hujan, Debit air sungai, Estimasi, Jaringan syaraf tiruan, Algoritma propagasi balik

Makalah diterima [7 Agustus 2003]. Revisi akhir [26 September 2003].

1. PENDAHULUAN

Pemodelan hidrologi dalam daerah aliran sungai (DAS) yang mencari hubungan hujan dan debit sungai sangat penting untuk kegiatan perencanaan dan pengelolaan sumberdaya air tersebut. Dewasa ini, telah banyak dikembangkan berbagai model hidrologi di antaranya dengan mempertimbangkan kompleksitas variabel dalam DAS dan keterkaitan di antaranya serta fluktuasinya baik secara geografis maupun temporal. Di antaranya dikenal model-model deterministik klasik seperti *Anwers*, *WEPP*, *Tank Model*, demikian juga model empiris[1]. Di awal tahun 1990 mulai pula

diaplikasikan jaringan syaraf tiruan (JST) yang hampir mirip dengan model empiris tetapi membuka peluang untuk mengakomodasi non-linieritas di antara variabel dan perubahan baik secara spasial maupun secara temporal [2]. Walaupun model JST ini tidak memberikan landasan fisik-matematis untuk tujuan praktis pengkajian mampu memberikan informasi yang memadai. Makalah ini bertujuan untuk mempelajari aplikabilitas JST, khususnya dengan melakukan perancangan struktur JST dan mengujinya terhadap dua sungai, satu di Indonesia dan satunya lagi di Jepang.

2. RANCANGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Rancangan JST yang dibuat terdiri dari 3 lapisan, yaitu 1 lapisan input, 1 lapisan tertutup dan 1 lapisan output. Lapisan input mempunyai n node (variabel), lapisan tertutup mempunyai h node dan lapisan output mempunyai m node (variable) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pada intinya variabel pada lapisan input adalah evapotranspirasi dan hujan harian serta debit pada hari sebelumnya. Penambahan node dilakukan dengan memasukkan variabel debit pada hari-hari sebelumnya. Walaupun lapisan output dapat mengakomodasikan variabel lebih dari satu, disini variabel outputnya hanya satu, yaitu debit harian. Jumlah node pada lapisan tertutup bersifat terbuka, yaitu dapat diberikan di awal proses pembelajaran. Di sini, digunakan proses pembelajaran propagasi balik dengan tahapan sebagai berikut [3]:

Inisialisasi pembobot

Pemberian pembobot secara acak yang berkisar berkisar $(-1 \sim 1)$ atau $(0 \sim 1)$.

Perhitungan nilai aktivasi

Perhitungan umpan maju dimulai dengan menjumlahkan hasil perkalian input x_i dengan pembobot v_{ji} dan menghitung H_j yang merupakan input ke fungsi aktivasi lapisan tertutup. Kemudian, dihitung output y_j di lapisan tertutup pada unit j yang merupakan fungsi

aktivasi f dengan input H_j . Formulasinya adalah sebagai berikut:

$$H_j = \sum_i v_{ji} x_i \quad (1)$$

$$y_j = f(H_j) \quad (2)$$

Nilai output dari lapisan tertutup kemudian dikalikan dengan pembobot w_{kj} dan menghasilkan nilai I_k yang merupakan nilai input fungsi aktivasi lapisan output:

$$I_k = \sum_j w_{kj} y_j \quad (3)$$

Nilai output z_k pada lapisan output dihitung dengan menggunakan fungsi aktivasi f dengan masukan I_k :

$$z_k = f(I_k) \quad (4)$$

Fungsi aktivasinya berupa fungsi sigmoid:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}} \quad (5)$$

dimana β adalah konstanta.

Pembelajaran (perolehan pembobot)

Pembelajaran untuk memperoleh nilai pembobot dilakukan dengan menggunakan *Gradient Descent Method*:

$$\Delta W(s+1) = -\eta \partial E^p / \partial W(s) \quad (6)$$

dimana η adalah konstanta laju pembelajaran ($0 < \eta < 1$).

Pengkoreksian nilai pembobot antara lapisan output dan lapisan tertutup:

$$-\eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} = \Delta w_{kj} = \eta \delta_k y_j = \eta (t_k - t_z) f'(I_k) y_j \quad (7)$$

dimana

$$\delta_k = (t_k - t_z) f'(I_k) \quad (8)$$

Pengkoreksian nilai pembobot antara lapisan tertutup dan lapisan input layer:

$$-\eta \frac{\partial E}{\partial v_{ji}} = \Delta v_{ji} = \eta \delta_j x_i = \eta x_i f'(H_j) \sum_k \delta_k w_{kj} \quad (9)$$

dimana

$$\delta_j = f'(H_j) \sum_k \delta_k w_{kj} \quad (10)$$

Untuk mempercepat konvergensi, dilakukan pengkoreksian nilai pembobot pada lapisan output-lapisan tertutup dan lapisan tertutup-lapisan input, masing-masing menggunakan:

$$\Delta w_{kj}(t+1) = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} + \alpha \Delta w_{kj}(t) \quad (11)$$

$$\Delta v_{ji}(t+1) = -\eta \frac{\partial E}{\partial v_{ji}} + \alpha \Delta v_{ji}(t) \quad (12)$$

dimana α adalah momentum (konstanta $0 < \alpha < 1$).

Untuk memperbaharui nilai pembobot pada lapisan output-lapisan tertutup dan lapisan tertutup-lapisan input, masing-masing dihitung:

$$w_{kj}^{new} = w_{kj}^{old} + \Delta w_{kj}(t+1) \quad (13)$$

$$v_{ji}^{new} = v_{ji}^{old} + \Delta v_{ji}(t+1) \quad (14)$$

Iterasi

Proses ini dilakukan pada setiap pemberian pasangan input-output sampai akhirnya diperoleh selisih absolut antara nilai pembobot pada dua iterasi yang berurutan lebih kecil dari toleransi selisih yang dikehendaki.

3. BAHAN DAN METODE

Data curah hujan dan debit sungai diambil dari dua DAS, yaitu DAS Terauchi dan DAS Cidanau. Terauchi berada di Fukuoka Jepang mencakup luasan sekitar 5.055 ha. Data harian curah hujan, evapotranspirasi dan debit aliran sungai tercatat dengan baik selama 4 tahun, mulai 1986 sampai 1990 [4]. Di sini, data tahun 1986-1987 digunakan untuk proses pembelajaran dan data tahun 1988-1989 untuk verifikasi. Cidanau berada di Banten, Indonesia mencakup luasan sekitar 22.620 ha. Diperoleh data tahun 1996 sampai 1999 [5]. Data tahun 1996-1997 digunakan untuk proses pembelajaran dan data tahun 1998-1999 untuk verifikasi.

Seperti terlihat pada Gambar 1 [6], berikut ini tiga Model IST yang diuji-cobakan:

Model 1 (3 - 5 - 1): 3 titik input, yaitu hujan pada waktu t ($R[t]$), evapotranspirasi $E[t]$, debit $Q[t-1]$; 5 titik pada lapisan tertutup dan 1 titik pada lapisan output, yaitu debit $Q[t]$.

Model 2 (4 - 5 - 1): 4 titik input, yaitu $R[t]$, $E[t]$, $Q[t-1]$, dan $Q[t-2]$; dengan lapisan tertutup dan lapisan output sama dengan Model 1;

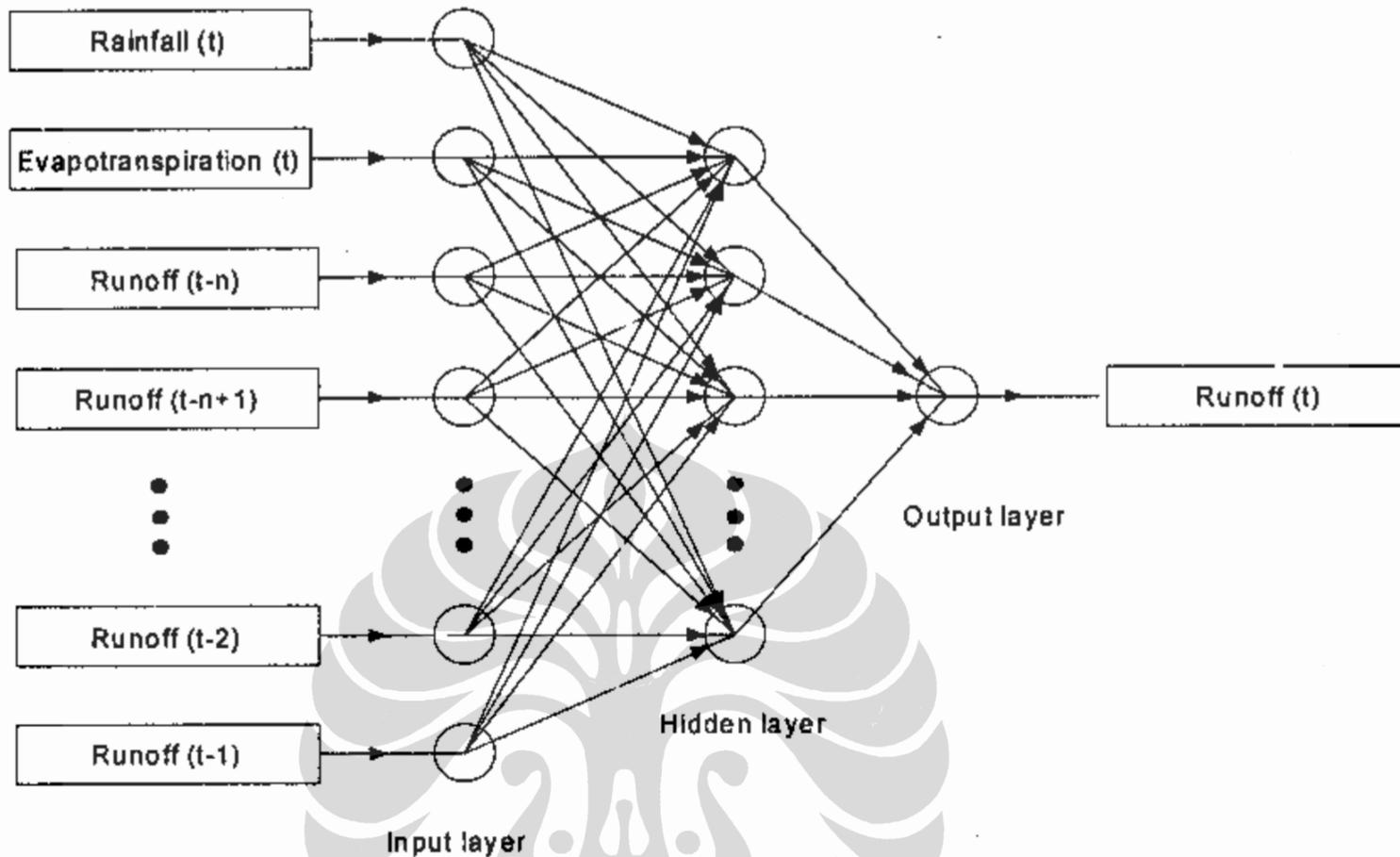
Model 3 (5 - 5 - 1): 5 titik input, yaitu $R[t]$, $E[t]$, $Q[t-1]$, dan $Q[t-2]$; dengan lapisan tertutup dan lapisan output sama dengan Model 1 dan Model 2;

Laju pembelajaran, konstanta momentum dan gain fungsi sigmoid diberi nilai sama, masing-masing yaitu

0.9. Kinerja model JST dilihat dari koefisien korelasi R dan RMSE (*Root Mean Square Error*) antara data observasi dan hasil perhitungan. Untuk keperluan perhitungan dibuat program aplikasi khusus yang diberi nama Backpro2N dalam bahasa Borland Delphi 5.

Program Backpro2N dilengkapi berbagai fasilitas yang mampu mengakomodir berbagai macam keinginan atau keperluan pengguna. Jumlah lapis dan titik pada

lapis bisa dengan mudah diset sesuai keperluan. Struktur JST juga ditampilkan dalam interface. Parameter pembobot hasil training bisa dengan mudah disimpan dalam bentuk file sehingga akan mudah digunakan kembali. File input dan output program Backpro2N ditulis dalam bentuk text file. Selain bisa digunakan untuk struktur time delay, Backpro2N juga bisa digunakan untuk struktur yang bersifat statik.



Gambar 1. Struktur Model JST untuk Estimasi Debit Sungai

Tabel 1. Kinerja 3 Model JST dalam Estimasi Debit Sungai

	DAS Terauchi				DAS Cidanau			
	Pembelajaran 1986-1987		Verifikasi 1988-1989		Pembelajaran 1996-1997		Verifikasi 1998-1999	
	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE
Model 1	0.902	3.987	0.881	2.467	0.962	0.959	0.783	2.381
Model 2	0.839	5.015	0.862	2.059	0.952	1.076	0.767	2.522
Model 3	0.897	4.075	0.891	2.032	0.932	1.277	0.701	2.673

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menyajikan kinerja masing-masing model untuk kedua DAS pada proses pembelajaran dan verifikasi. Secara umum, terlihat Model 1 memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan dua Model lainnya. Hasil pembelajaran Model 3 untuk DAS Terauchi selain memberikan nilai R dan RMSE yang lebih baik juga cukup konsisten dengan hasil verifikasinya. Secara

keseluruhan, untuk DAS Terauchi, hampir tidak ada perbedaan R dan RMSE yang signifikan pada kedua proses pembelajaran dan verifikasi. Hal ini menggambarkan bahwa selama kurun waktu tersebut lingkungan DAS Terauchi cukup stabil.

Sementara, perubahan R dan RMSE pada proses pembelajaran dan verifikasi nyata terjadi pada DAS Cidanau. Hal ini mengindikasikan lingkungan DAS Cidanau sedang atau masih berubah. Perubahan ini bisa

PERPUSTAKAAN PUSAT
 UNWIR

disebabkan karena adanya perubahan tata guna lahan yang berkontribusi pada perubahan debit sungai.

Hidrograf DAS Cidanau 1996-1997 hasil pembelajaran Model 1 disajikan pada Gambar 2 dan hasil verifikasinya pada tahun 1998-1999 Model 1 disajikan pada Gambar 3. Pada saat pembelajaran untuk debit tinggi dapat didekati dengan baik demikian pula debit yang rendahnya. Tetapi pada saat verifikasi hanya debit rendah yang dapat dicapai dengan baik oleh Model 1 sementara debit yang tingginya sulit terjangkau. Fenomena ini memperkuat dugaan sebelumnya bahwa terjadi perubahan lingkungan di DAS Cidanau.

Untuk DAS Terauchi, hasil pembelajaran Model 1 pada tahun 1986-1987 disajikan pada Gambar 4 dan hasil verifikasi untuk tahun 1988-1989 pada Gambar 5. Di sini terlihat adanya konsistensi antara hasil pembelajaran dan verifikasi. Dimana, debit tinggi dan debit rendah dapat dicapai dengan cukup baik.

Korelasi data dan hasil estimasi baik pada saat pembelajaran dan verifikasi untuk DAS Cidanau dan Terauchi memperlihatkan sebaran yang terkonsentrasi pada garis 45 derajat dengan kemiringan mendekati 1 dan intercept mendekati 0. Hal ini memberikan gambaran kelayakan Model 1 JST yang dirancang sebagai estimator debit sungai yang cukup baik.

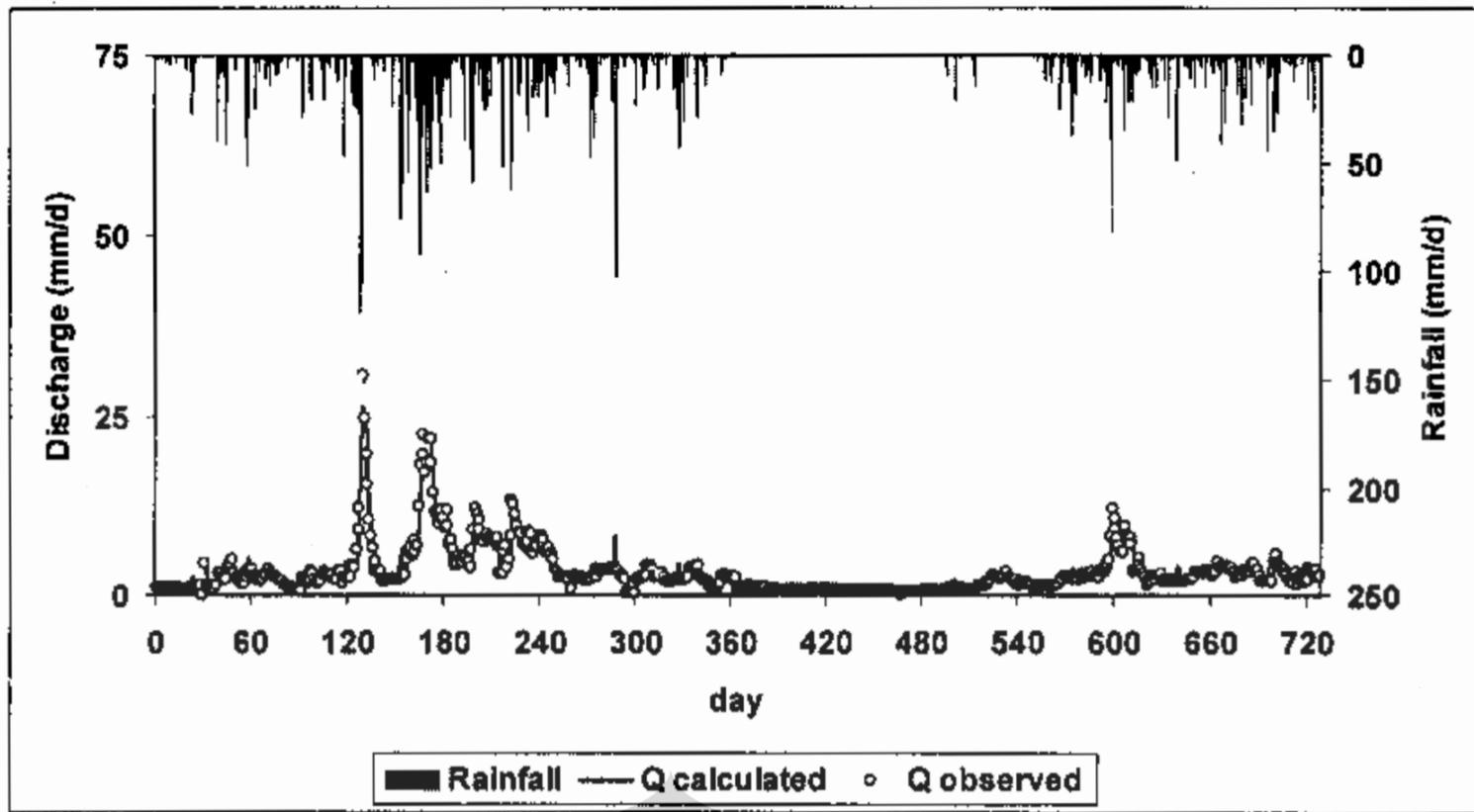
5. KESIMPULAN

Telah dirancang Model JST untuk mengestimasi hubungan debit sungai dan curah hujan di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Struktur Model JST (3 - 5 - 1) memberikan hasil estimasi yang terbaik, dimana Hujan pada saat t , Evapotranspirasi pada saat t , dan Debit pada saat $t-1$ menjadi variabel masukan pada lapisan inputnya. Hasil pembelajaran dan verifikasi pada dua DAS, yaitu

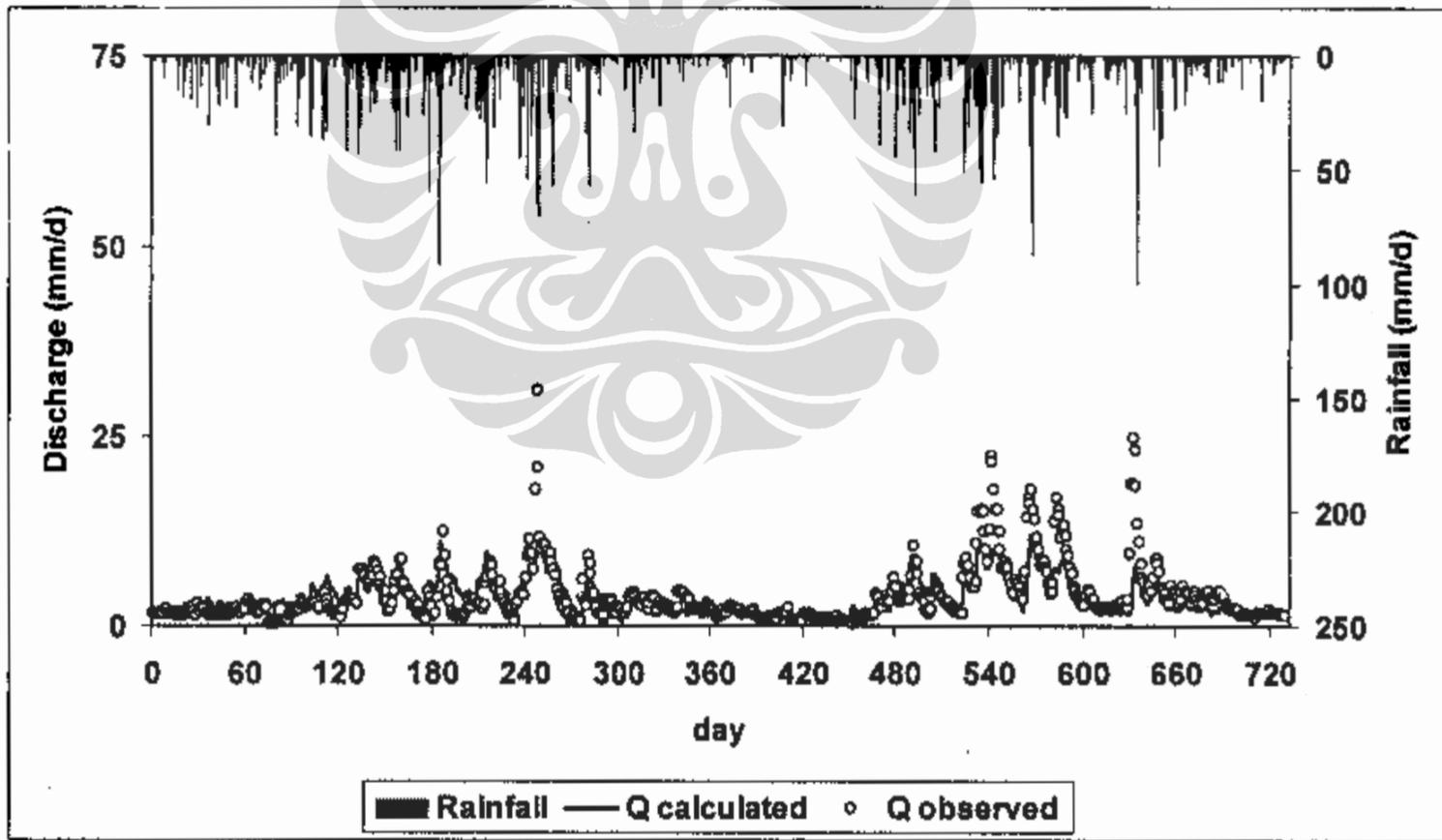
Terauchi dan Cidanau cukup memberi gambaran keberhasilan Model ini sebagai estimator yang dapat dipakai pula sebagai alat yang layak untuk mengkaji perubahan lingkungan yang terjadi dalam satu Daerah Aliran Sungai.

REFERENSI

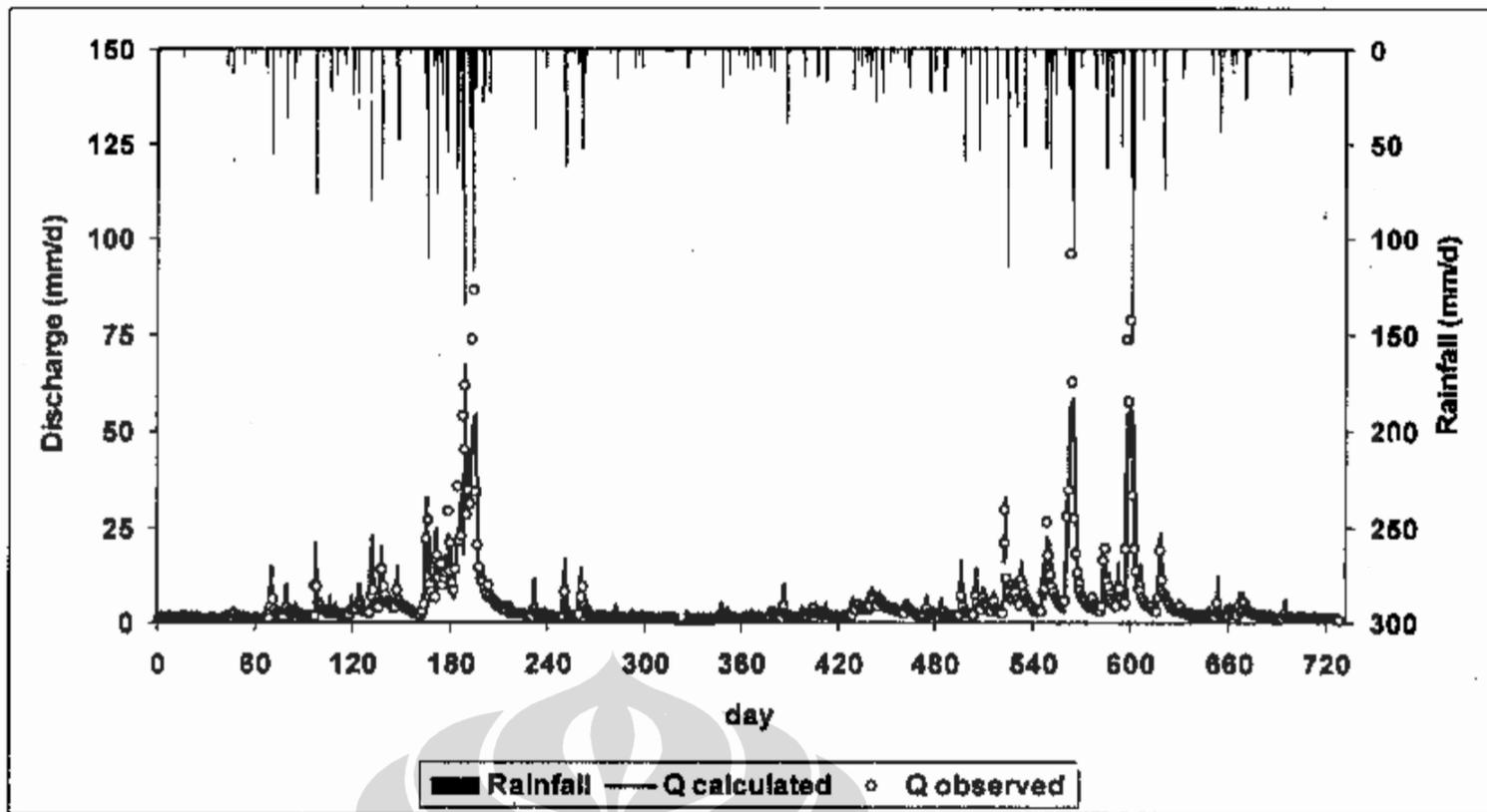
- [1] Tingsanchali, T. Application Combined Tank Model and AR Model in Flood Forecasting. <http://dhissoftware.com/uc2001/papers01/057/057.htm> [21 August, 2003]: 13p. 2001.
- [2] Sing, V. P. and D. A. Woolhiser. Mathematical and Modeling of Watershed Hydrology. *Journal of Hydrologic Engineering*. Vol. 7, no. 4. July 21. 2002.
- [3] Patterson, D. W. *Artificial Neural Networks Theory and Application*. Printice Hall. New York. 1996.
- [4] Fukuda, T. And Y. Nakano. Collections Of Hydrologic Data For Terauchi Watershed. Laboratory Of Irrigation And Water Utilization, Kyushu University, Japan. (*Unpublished*). 2001.
- [5] Heryansyah, A., M. Y. J. Purwanto and A. Goto. Runoff Modelling in Cidanau Watershed, Banten Province, Indonesia. Proceedings of the 2nd Seminar Toward Harmonization Between Development and Environmental Conservation in Biological Production. JSPS-DGHE Core University Program in Applied Biosciences. The University of Tokyo, Japan. 2003.
- [6] Fu, L. *Neural Networks In Computer Intelligence*. McGraw-Hill, Inc. Singapore. 1994.



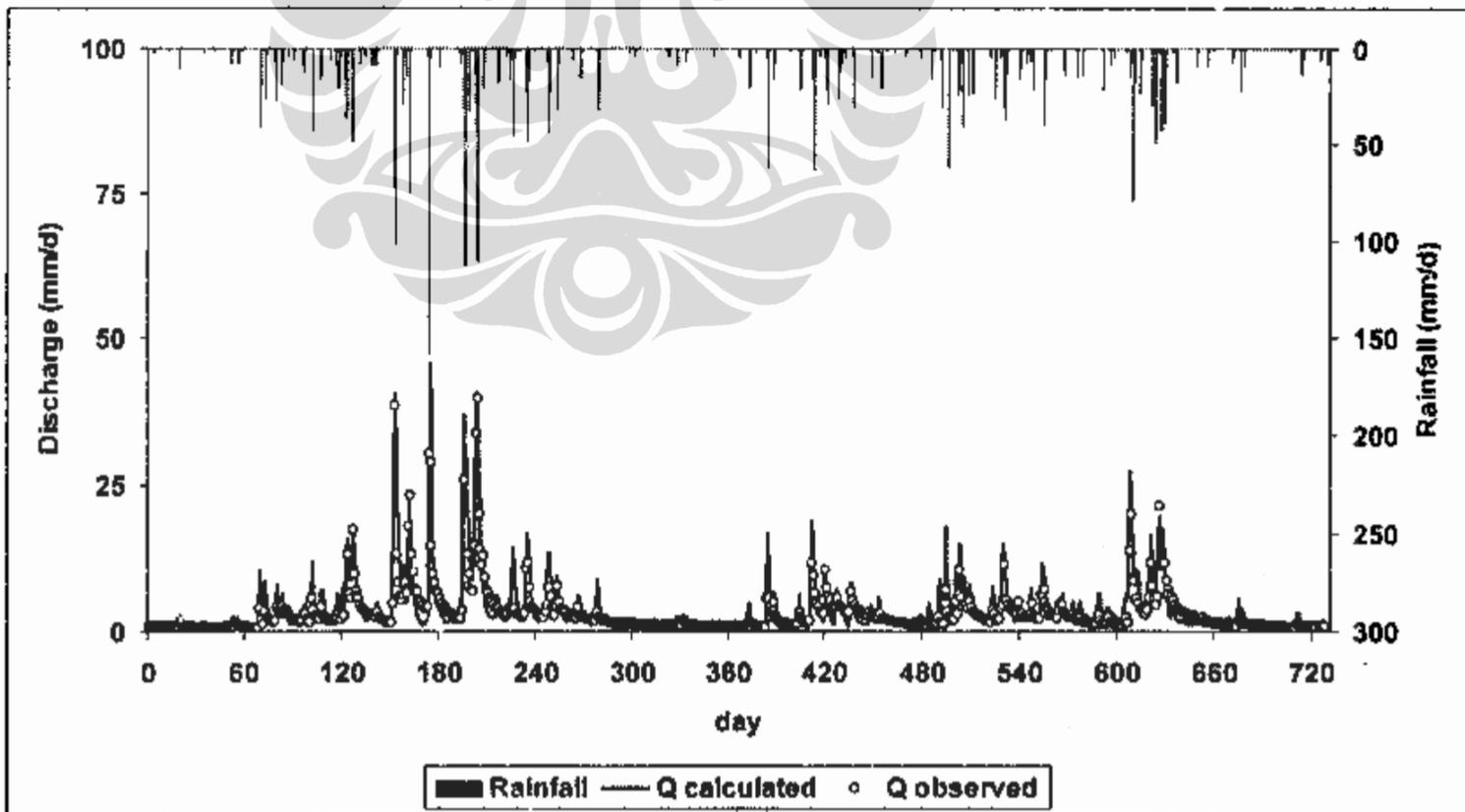
Gambar 2. Hidrograf DAS Cidanau 1996-1997 Hasil Pembelajaran Model JST [3-5-1]



Gambar 3. Hydrograf DAS Cidanau 1998-1999 Hasil Verifikasi Model JST [3-5-1]



Gambar 4. Hidrograf DAS Terauchi 1986-1987 Hasil Pembelajaran Model JST [3-5-1]



Gambar 5. Hydrograf DAS Terauchi 1988-1989 Hasil Verifikasi Model JST [3-5-1]