

# PENURUNAN HUJAN EFEKTIF DARI DATA HIDROGRAF

UNIADI MANGIDI

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Haluoleo  
Jl. HEA.Mokodompit,Kampus Hijau Bumi Tridharma Anduonohu Kendari 93721

## ABSTRACT

*Effective rainfalls has an important role in predicting accurately the design of floods by using unit hydrograph. Conventionally, it can be gained from observed rainfall data which separated into two main components, namely effective rainfall and losses. The effective rainfall gives largest contribution to the stream flow. But in practice, getting observed rainfall data is not an easy task. A number of problem arises such as the availability and the quality of observed data. To overcome those problems, an analysis of effective rainfall from hydrograph data (IER) has been conducted.*

*This study was done in six selected sub river basin of Cimanuk with various area of catchments. It located in west java province. The selection of catchments mainly considers its completed data. This work begins with separating baseflow from hydrograph data which produces direct runoff, computing autoregressive coefficient from recession of direct runoff hydrograph (DRH). The relationship of both autoregressive coefficient and the rising side of DRH will produce effective rainfall. For testing the performance of the result, the calculation of effective rainfall from observed ones was also done in two common methods, i.e.  $\Phi$ -indeks (ARR- $\Phi$ ) and coefficient runoff (ARR-f)*

*The result of this study showed that effective rainfall from hydrograph data gives a more similar characteristic with ARR-f than ARR- $\Phi$ . It is due to assumption of losses used both IER and ARR-f. but effective rainfall from both IER and ARR-f is more plausible because they consider the real process of losses as it is seen in Horton's infiltration curve.*

**Key words :** hujan efektif, hidrograf, koefisien autoregresif

## PENDAHULUAN

Sistem daerah aliran sungai (DAS) terdiri atas tiga bagian penting yaitu masukan (*input*), operator/sistem (*transfer function*) dan keluaran (*output*). Masukan utama ke dalam sistem DAS adalah hujan, keluaran dari sistem tersebut berupa debit aliran sedangkan operator adalah sistem DAS itu sendiri. Debit aliran yang keluar dari sistem sangat bervariasi sepanjang tahun, tergantung pada hujan dan karakteristik DAS. Hujan merupakan faktor utama yang mempengaruhi besarnya debit aliran di sungai. Berbagai fenomena banjir dan kekeringan sering terjadi mengikuti kejadian hujan. Mengingat pentingnya hujan dalam berbagai analisis hidrologi maka diperlukan ketersediaan data hujan terukur dengan kualitas dan kuantitas yang baik. Umumnya Data hujan terukur diperoleh dari stasiun pengukur curah hujan

Hujan yang jatuh di DAS dapat dibagi menjadi dua bagian penting, yaitu hujan efektif dan kehilangan (*losses*). Hujan efektif menempuh sungai dengan cara melimpas dipermukaan tanah sedangkan *losses* akan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebagian menjadi air tanah sebagian lain menuju ke sungai sebagai *baseflow*. Dalam analisis aliran puncak, Hujan efektif mempunyai peranan yang signifikan dalam memprediksi debit banjir rancangan dengan menggunakan metode hidrograf satuan. Upaya untuk memperoleh hujan efektif yang teliti terus dikembangkan, mulai dari yang sederhana sampai yang kompleks.

Dalam praktek, prakiraan hujan efektif terukur dengan menggunakan metode konvensional tidak selalu dapat diperoleh dengan mudah. Sejumlah masalah muncul, antara lain ketersediaan data hujan, variabilitas hujan dalam ruang dan waktu serta kondisi kelengkapan DAS. Kekeliruan dalam menetapkan hujan efektif akan menyebabkan kekeliruan akan hasil yang diperoleh. Yue dan Hashino (2000) mengatakan bahwa salah satu penyebab ketidaktepatan hasil analisis banjir rancangan dengan menggunakan hidrograf satuan adalah pendefinisian hujan efektif.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan suatu metode prakiraan hujan efektif yang tidak mengandalkan pada data hujan terukur tetapi dengan menggunakan data hidrograf. Penggunaan data hidrograf didasarkan kenyataan bahwa data ini merupakan hasil akhir dari keseluruhan proses yang terjadi di DAS, termasuk hujan efektif DAS.

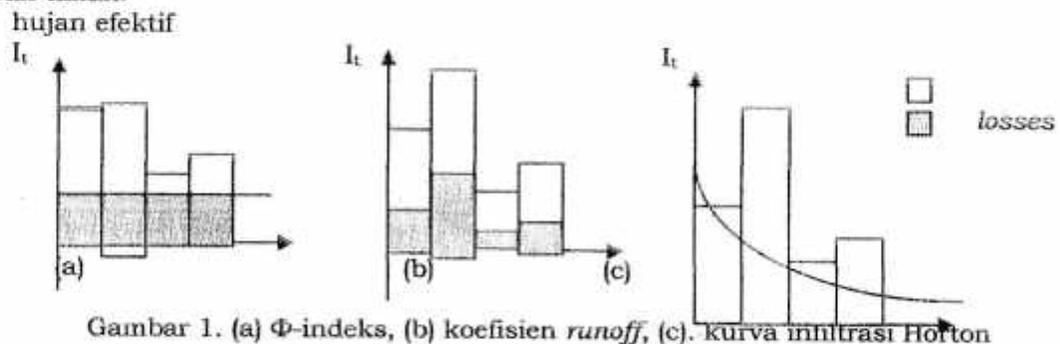
Hino dan Hasebe (1981,1984,1986a) juga telah mengembangkan suatu metode untuk memperoleh hujan efektif tanpa menggunakan hujan terukur yang disebut metode prakiraan balik (*inversely estimated rainfall*). Pada metode ini, komponen hujan efektif dapat dihitung dari data hidrograf. Hasil unjuk kerja metode ini telah dilakukan pada sungai Omono dan Kanna di Jepang, dan terbukti memberikan hasil yang mirip dengan hujan efektif terukur.

## HUJAN EFEKTIF TERUKUR

Hujan efektif didefinisikan sebagian hujan yang tidak tertahan baik di permukaan lahan maupun terinfiltrasi ke dalam tanah, hujan ini memberikan kontribusi menjadi limpasan langsung (*direct runoff*) pada suatu DAS (Chow dkk., 1988). Pengertian hujan efektif terukur dapat diartikan sebagai hujan efektif yang diperoleh dari hasil pemisahan terhadap data hujan terukur yaitu dengan mengurangkannya dengan *losses*. *Losses* itu sendiri menggambarkan kemampuan dari suatu DAS untuk menahan air, dimana komponen utamanya adalah infiltrasi dari hujan ke dalam tanah (*soil storage*).

Berbagai metode pemisahan hujan efektif yang telah dikembangkan dan sering digunakan dalam analisis antara lain metode  $\Phi$ -indeks, koefisien *runoff* ( $f$ ), kurva kapasitas infiltrasi Horton (McCuen, 1998). Metode  $\Phi$ -indeks didefinisikan sebagai laju *losses* konstan yang akan menghasilkan sebuah *hyetograph* hujan efektif dengan kedalaman hujan efektif total sama dengan kedalaman limpasan langsung (Gambar 1a).

Koefisien *runoff* didefinisikan sebagai rasio antara hujan terukur total dengan kedalaman limpasan langsung terkait. Hujan efektif terukur diperoleh dengan menggalikan koefisien *runoff* dengan hujan terukur (Gambar 1b). Gambar 1c merupakan kurva infiltrasi Horton, dimana *losses* tertinggi terjadi di awal hujan saat kondisi tanah masih relatif kering, selanjutnya semakin menurun akibat mulai terisinya butiran tanah.



Gambar 1. (a)  $\Phi$ -indeks, (b) koefisien *runoff*, (c). Kurva infiltrasi Horton

## HUJAN EFEKTIF DARI DATA HIDROGRAF

Hidrograf aliran secara umum terdiri dari tiga komponen utama yaitu komponen limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow*) dan aliran dasar (*baseflow*). Pada beberapa model hujan-aliran, ketiga komponen tersebut disederhanakan menjadi dua komponen saja, dimana aliran antara digabungkan dengan limpasan permukaan menjadi limpasan langsung (*direct runoff*). Penyederhanaan ini didasari pada andaian bahwa keduanya masih tergolong dalam 'quick response' DAS terhadap masukan hujan (Sri Harto, 2000).

Proses untuk mendapatkan hujan efektif dari data hidrograf bukanlah hal yang mudah. Hal ini diakibatkan oleh proses infiltrasi sebenarnya merupakan proses yang sangat kompleks dan bervariasi menurut waktu. Hino dan Hasebe (1984), menjelaskan bahwa hubungan masukan dan keluaran pada sistem DAS dapat dianggap linier sedangkan penyebab utama ketidaklinearan dari keseluruhan sistem hidrologi

diakibatkan oleh proses pemisahan hujan ke dalam subsistem-subsistemnya. Oleh karena itu, komponen hujan dapat dihitung balik (*inversely estimated rainfall*) dari data hidrograf.

Hino dan Hasebe (1981, 1984, 1986a) telah melakukan analisis untuk memperoleh hujan efektif dari data hidrograf dengan metode *inversely estimated rainfall*. Metode ini telah diaplikasikan pada dua sungai di Jepang yaitu sungai Omono dan Kanna. Dari hasil analisis tersebut terlihat adanya kemiripan pada karakteristik hujan efektif yang dihasilkan jika dibandingkan dengan hujan efektif terukurnya.

Metode untuk memperoleh *inversely estimated effective rainfall (IER)* dapat dilakukan dengan menggunakan model ARX (Hino dan Hasebe, 1984a). Rumusan dari model ARX diberikan pada persamaan berikut:

$$x_i = \frac{1}{\lambda b^{(i)}} (q_i^{(i)} - a_1^{(i)} q_{i-1}^{(i)} - a_2^{(i)} q_{i-2}^{(i)} - \dots - a_p^{(i)} q_{i-p}^{(i)}) \quad (1)$$

dimana :

- $b^{(i)}$  =  $1 - a_1^{(i)} - a_2^{(i)} - a_3^{(i)} - \dots - a_p^{(i)}$
- $\lambda$  = faktor konversi satuan, ( $\lambda = A/3.6$ ),
- $a_i^{(i)}$  = koefisien autoregresif,
- $x_i$  = *inversely estimated rainfall* (mm/jam),
- $q_i$  = limpasan langsung ( $m^3/detik$ ),
- $p$  = orde autoregresif.
- $A$  = luas DAS.

### **FILTER SEPARATION AUTOREGRESSIVE METHOD**

Menurut Hino dan Hasebe, (1986a) *Filter separation autoregressive (FSA)* dapat digunakan untuk memisahkan hidrograf aliran menjadi dua komponen, yaitu komponen aliran periode pendek (limpasan langsung) dan komponen aliran periode panjang (aliran dasar).

Pemisahan komponen aliran tersebut memerlukan parameter *cutoff frequency (fc)* yang dapat ditentukan dengan menggunakan grafik semi-logaritmik pada kurva resesi (Sujono, 2003). Untuk memperoleh *cutoff frequency* terlebih dahulu menentukan kemiringan kurva resesi, sebagaimana yang telah diusulkan Linsley dkk (1982) pada Persamaan 2 berikut.

$$Q_t = Q_0 K^t \quad (2)$$

Persamaan 1 ini dapat disederhanakan sehingga diperoleh hubungan  $f_c$  dan konstanta resesi ( $K$ ) sebagaimana tertera pada Persaman 3 dan 4 berikut ini.

$$K = e^{-f_c} \quad (3)$$

$$f_c = -\ln(K) \quad (4)$$

Apabila nilai  $f_c$  telah didapat maka parameter *cutoff frequency (c0 dan c1)* dapat diperoleh melalui Persamaan 5 dan 6 berikut (Hino dan Hasebe, 1984, 1986a dan 1986b).

$$c_0 = (\delta / T_c)^2 \quad (5)$$

$$c_1 = (\delta^2 / T_c) \quad (6)$$

Dengan :  $\delta$  = faktor damping ( $\delta > 2$ ), maka  $T_c = 1/f_c$ ,  
 $T_c$  = waktu resesi.

Selanjutnya dari parameter *cutoff frequency* yang telah didapat, maka aliran dasar  $q^{(i)}(t)$  dapat dihitung menggunakan Persamaan 7, 8 dan 9 berikut ini (Hino dan Hasebe, 1984, 1986a dan 1986b).

$$q^{(i)}(t) = \omega \sum_{k=1}^N w_k q_{(t-k)} \quad (7)$$

dengan  $w_k = h(k \Delta t)$ , ( $k = 0, 1, 2, \dots, N$ ),  
 $w_k$  = low-frequency pass filter,

$\omega$  = faktor pembobot (*weighting factor*).

$$\text{untuk } \tau \geq 0, \quad h(\tau) = c_0 \exp(-0,5.c_1.\tau) \sinh\left[\frac{(0,25.c_1^2 - c_0)^{0,5}.\tau}{(0,25.c_1^2 - c_0)^{0,5}}\right] \quad (8)$$

$$\text{untuk } \tau < 0, \quad h(\tau) = 0 \quad (9)$$

Jika aliran dasar  $q^{(1)}(t)$  telah diketahui maka limpasan langsung  $q^{(2)}(t)$  dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 10 berikut (Hino dan Hasebe, 1984, 1986a dan 1986b).

$$q^{(2)}(t) = q(t) - q^{(1)}(t), \quad q^{(2)}(t) \geq 0 \quad (10)$$

## CARA PENELITIAN

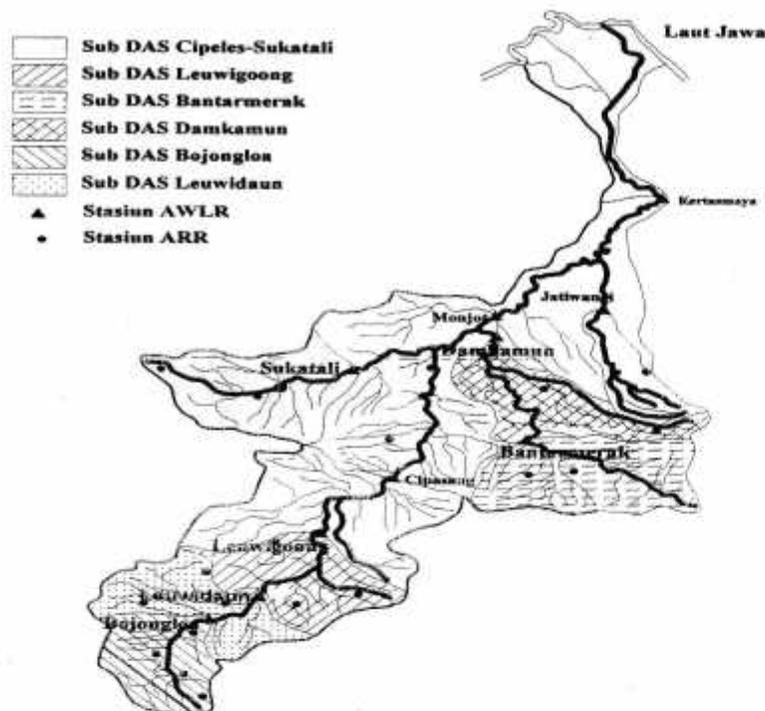
Penelitian ini dilakukan pada beberapa sub DAS Cimanuk (Gambar 2) di Prop. Jawa Barat meliputi sub DAS Cipeles-Sukatali ( $A = 286 \text{ km}^2$ ), sub DAS Bantarmerak ( $A = 340 \text{ km}^2$ ), sub DAS Leuwidaun ( $A = 452,6 \text{ km}^2$ ), sub DAS Leuwigoong ( $A = 771,75 \text{ km}^2$ ), sub DAS Damkamun ( $A = 620,5 \text{ km}^2$ ) dan sub DAS Bojongloa ( $A = 182,93 \text{ km}^2$ ). Pemilihan sub DAS Cimanuk di atas didasarkan pada ketersediaan dan kelengkapan data yang diperlukan.

Penelitian dimulai dengan mengumpulkan dan memilih data hidrograf banjir yang memenuhi kriteria. Selanjutnya memisahkan aliran dasar dari hidrograf aliran dengan menggunakan *filter separation autoregressive method* hingga diperoleh hidrograf limpasan langsung, kemudian berdasarkan ordinat sisi naik dari limpasan langsung dilakukan analisis dengan menggunakan persamaan model ARX sehingga diperoleh hujan efektif. Beberapa kriteria yang harus dipenuhi meliputi:

1. memilih hidrograf banjir berpuncak tunggal, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam analisis,
2. dipilih kasus banjir dengan debit puncak yang relatif cukup besar, minimal dengan kala ulang lebih besar 1 tahun. Persyaratan ini diambil karena dalam keperluan praktis besarnya kala ulang untuk perancangan bangunan hidraulik pada umumnya lebih besar dari 1 tahunan.

Prosedur perhitungan untuk memperoleh hujan efektif dari data hidrograf dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut:

1. menggambarkan sisi resesi dari hidrograf banjir di atas kertas semi-logaritmik, dimana ordinat (debit) dalam skala logaritma, kemudian membuat garis lurus yang melalui titik-titik resesi tersebut,
2. berdasarkan garis lurus yang terbentuk, dihitung nilai konstanta resesi, *cutoff frequency* dan waktu resesi dengan menggunakan Persamaan 2, 3 dan 4,
3. dengan menggunakan *cutoff frequency* yang telah didapat maka parameter *cutoff frequency* ( $c_0$  dan  $c_1$ ) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5 dan 6,
4. berdasarkan  $c_0$  dan  $c_1$  tersebut diatas, maka aliran dasar dan limpasan langsung dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7 dan 10,
5. menghitung koefisien korelasi dan autoregresif dengan menggunakan sisi resesi dari hidrograf limpasan langsung yang telah diperoleh,
6. selanjutnya dengan menggunakan koefisien autoregresif di atas dan ordinat sisi naik dari limpasan langsung, maka hujan efektif dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 1. Hasil hujan efektif tersebut, kemudian dibandingkan dengan hujan efektif terukur dengan menggunakan metode koefisien *runoff* (ARR-f) dan  $\Phi$ -indeks (ARR- $\Phi$ ),



Gambar 2. Lokasi penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil analisis hujan efektif dari data hidrograf yang dilakukan pada setiap kasus banjir memberikan karakteristik hujan (intensitas, durasi dan distribusi) sebagaimana tertera pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hujan efektif dari data hidrograf (IER)

No	Sungai	Stasiun	Kejadian banjir (tgl.blk.thn)	Hujan efektif dari data hidrograf (mm)						
				Jam - ke						
				1	2	3	4	5	6	7
1	Cipeles	Sukatali	15.02.1994	0.28	1.39	2.03	4.02	-	-	-
			10.03.1994	0.16	0.76	2.49	4.68	9.90	-	-
2	Cilutung	Bantarmarak	08.06.1995	0.17	0.45	0.32	0.87	1.66	-	-
			15.03.1976	0.78	2.45	-	-	-	-	-
			20.03.1976	0.06	3.13	-	-	-	-	-
			28.03.1976	0.01	0.02	0.02	0.03	0.73	2.64	-
			13.03.1977	0.59	1.98	-	-	-	-	-
			14.03.1977	0.61	-	-	-	-	-	-
3	Cimanuk	Leuwidaun	03.04.1977	0.02	0.68	1.04	-	-	-	-
			12.08.1990	0.03	0.12	0.15	1.42	4.50	2.26	2.87
			30.12.1990	0.36	3.03	6.89	-	-	-	-
			14.04.1991	0.06	0.15	0.35	1.67	3.23	2.68	-
			02.01.1993	1.55	1.16	7.10	-	-	-	-
4	Cimanuk	Leuwigoong	14.01.1993	2.38	4.77	-	-	-	-	-
			21.12.1978	0.45	1.82	1.99	1.41	1.60	2.37	-
			09.01.1979	0.02	0.51	1.93	2.17	-	-	-
			15.12.1979	0.17	3.13	2.47	-	-	-	-
			12.01.1980	0.18	0.06	2.06	1.40	-	-	-
			22.03.1981	0.17	0.15	0.31	1.91	-	-	-
		<b>Hilir</b>	13.11.1981	0.03	1.41	0.44	1.17	2.91	2.53	2.24



Pada  $ARR-\Phi$  hujan efektif yang memberikan kontribusi pada limpasan langsung hanyalah hujan dengan intensitas yang lebih besar dari nilai  $\Phi$ -indeks, sedangkan hujan dengan intensitas lebih kecil dari  $\Phi$ -indeks dianggap sebagai *losses*, dimana *losses* ditetapkan terjadi secara konstan sepanjang terjadinya hujan. Hal ini tentu saja bertentangan dengan kondisi lapangan sebagaimana ditunjukkan pada hasil penelitian Horton.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan diperoleh beberapa kesimpulan berikut ini.

1. Hujan efektif dapat diperoleh dari data hidrograf sehingga berbagai kendala yang sering dihadapi dalam menurunkan hidrograf satuan suatu DAS seperti ketersediaan dan kualitas data hujan terukur, dapat diatasi,
2. Karakteristik hujan dari data hidrograf seperti intensitas, durasi dan distribusi lebih mirip dengan karakteristik hujan efektif terukur dengan metode koefisien *runoff* ( $ARR-f$ ) daripada dengan metode  $\Phi$ -indeks ( $ARR-\Phi$ ). Hal ini disebabkan oleh interpretasi terhadap *losses* yang terjadi di DAS.
3. Pada  $ARR-f$ , seluruh hujan yang jatuh di DAS dianggap ikut memberikan kontribusi pada limpasan langsung dengan intensitas yang berbeda-beda tergantung pada persentase tetap dari hujan, sedangkan pada  $ARR-\Phi$  hanya hujan dengan intensitas yang lebih besar dari  $\Phi$ -indeks yang akan memberikan kontribusi pada limpasan langsung dan hujan yang lebih kecil dengan nilai  $\Phi$ -indeks dianggap tidak memberikan kontribusi pada limpasan langsung,

## SARAN

1. Analisis hujan efektif terukur dari data hidrograf perlu terus dilakukan dan diterapkan pada DAS lain sehingga dapat diperoleh suatu dengan membandingkan hasil banjir rancangannya dengan banjir rancangan hasil analisis frekuensi debit,
2. Penggunaan metode yang lain untuk memperoleh hujan efektif dari data hidrograf perlu dilakukan sehingga diperoleh pembandingan keakuratan dalam analisis, seperti *least square* dan *linear programming*.
3. Perlu dilakukan kajian tentang *losses* sehingga diperoleh suatu kurva pemisahan hujan terukur yang dapat digunakan untuk menghitung debit rancangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., 1988, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- Cryer, D.J., 1986, *Times Series Analysis*, Duxury Press, Boston.
- Haan, C., 1979, *Statistical Methods in Hydrology*, The Iowa State University Press/Ames.
- Hino, M., and Hasebe, M., 1981, Analysis of Hydrologic Characteristics from Runoff Data - a Hydrologic Inversely Problem, *Journal of Hydrology*, 49 : 287 - 313.
- Hino, M., and Hasebe, M., 1984, Improvement in the Inversely Estimation Method of Effective Rainfall from Runoff, *Journal of Hydrology*, 83:137 -147.
- Hino, M., and Hasebe, M., 1986, Separation of a Storm Hydrograph into Run off Component by both Filter-Separation AR Method and Enviromental Isotope Tracers, *Journal of Hydrology*, 85 : 251 - 264.

- Hino, M., and Hasebe, M., 1986, Identification and Prediction of Nonlinear Hydrologic System by the Filter – Separation Autoregressive (AR) Method : Extension to Hourly Hydrologic Data, *Journal of Hydrology*, 68 :181 – 210.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A., and Paulus, J.L.H., 1982, *Hydrology for Engineer*, McGraw-Hill, New York.
- McCuen, R., 1998, *Hydrologic Analysis and Design*, second edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Sri Harto Br., 2000, *Hidrologi : Teori, Masalah, Penyelesaian*, Nafiri, Yogyakarta.
- Sujono, J., 2003, *Parameter Identification and Regionalization of Unit Hydrograph and Storage Function Model in Tropical River Basins*, Disertasi, Kyushu University, Japan.
- Sujono, J., 1998, Penurunan Hidrograf Satuan dengan Data Harian, *Jurnal Media Teknik* no.1 Tahun XX Edisi Februari, Fak. Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Yue, S., and Hashino, M., 2000, Unit Hydrograph to Model Quick and Slow Runoff Component of Streamflow, *Journal of Hydrology*, 227:195-206.