

Model Debit Puncak Banjir Berdasarkan Faktor Bentuk DAS Untuk Sungai-Sungai di Sulawesi Selatan

Dandy Achmad Yani ¹⁾ dan Ery Suhartanto ²⁾

- ¹⁾ Doctoral Program on the Department of Water Resources, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Malang
²⁾ Department of Water Resources, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Malang
Email : herminddd@gmail.com

ABSTRAK

Kurangnya ketersediaan data hidrograf merupakan kendala bagi perencanaan bangunan air. Kendala ini menjadikan model-model HSS akan memberikan manfaat yang cukup besar. Idealnya setiap DAS mempunyai Hidrograf Satuan dengan ciri tertentu. Studi ini bertujuan untuk mengamati karakteristik hidrograf pengamatan di tiap DAS dan semua DAS di Propinsi Sulawesi Selatan. Tujuan utama studi ini adalah membuat rancangan Model Hidrograf Satuan Sintetis antara lain persamaan debit puncak banjir (Q_p) dan waktu mencapai puncak banjir (T_p) yang antara lain merupakan fungsi dari luas DAS (A), panjang sungai terpanjang (L), dan faktor bentuk DAS. Faktor bentuk DAS merupakan rasio dari keliling (K) dan luas area (A) DAS. Analisis model menggunakan regresi dengan berbagai alternatif. Hasilnya permodelan hidrograf satuan sintetis (HSS) dengan variabel luas DAS (A), panjang sungai terpanjang (L), dan faktor bentuk DAS (FD) dan tentunya sesuai dengan kriteria dari koefisien determinasi, diharapkan mempunyai sensitivitas yang cukup tinggi. Faktor bentuk DAS (FD) diharapkan mempunyai hubungan linear dengan parameter hidrograf satuan sintetis.

Kata kunci : debit puncak banjir; waktu mencapai puncak; luas DAS; faktor bentuk DAS

ABSTRACT

The lack of hydrograph data availability is an obstacle for water building planning. This constraint makes HSS models will provide considerable benefits. Ideally each watershed has a Hydrograph Unit with certain characteristics. This study aims to observe the hydrograph characteristics of observations in each watershed and all watersheds in South Sulawesi Province. The main objective of this study is to design a Synthetic Unit Hydrograph Model, including the peak flood discharge equation (Q_p) and the time to reach the flood peak (T_p), which among others is a function of the watershed area (A), longest river length (L), and form factor Watershed. The watershed form factor is the ratio of perimeter (K) and area (A) of the watershed. Model analysis uses regression with various alternatives. The result is synthetic unit hydrograph modeling (HSS) with a broad variable watershed (A), longest river length (L), and DAS (FD) form factor and of course according to the criteria of the coefficient of determination, it is expected to have a high enough sensitivity. The DAS (FD) form factor is expected to have a linear relationship with the parameters of synthetic unit hydrographs.

Keywords : peak flood discharge; peak reaching time; watershed area; watershed form factor

1. PENDAHULUAN

Kurangnya ketersediaan data hidrograf merupakan kendala bagi perencanaan bangunan air. Ketidakterediaan data tersebut dapat disebabkan antara lain karena alat pencatatnya rusak, kelalaian petugas, data rusak sehingga tidak terbaca atau hilang (Sobriyah *et al.*, 2001) atau memang belum terpasang alat pencatatnya. Kendala ini menjadikan model-model HSS akan memberikan manfaat yang cukup besar. HSS dapat memberikan informasi penting untuk keperluan evaluasi keamanan bangunan air (*hydraulic structures*) dan resiko yang didasarkan pada perencanaan (Tung *et al.*, 1995). Di kalangan praktisi, penerapan model tersebut dimaksudkan untuk menganalisis banjir rancangan (*design flood*) dengan masukan data hujan. Namun demikian, sejauh ini para praktisi di Indonesia masih sangat fanatik menggunakan HSS Nakayasu, karena dipandang paling praktis, padahal penerapan model tersebut untuk Pulau Jawa masih memerlukan kalibrasi beberapa parameter (Hoesein dan Montarcih, 1993a). Beberapa praktisi menggunakan HSS Gama I walaupun model tersebut memerlukan 10 jenis data fisik DAS dan tidak dapat diterapkan untuk DAS yang hanya mempunyai satu sungai. Sementara Limantara (2006) mencoba untuk membuat model HSS Limantara yang relatif sederhana dengan memasukkan faktor fisik DAS yang didefinisikan secara eksak antara lain panjang sungai utama: L, luas DAS: A, kemiringan rerata sungai: S, koefisien kekasaran DAS: n, panjang sungai dari titik berat DAS ke *outlet*: Lc. Namun demikian, HSS Limantara pun mempunyai keterbatasan tertentu. Mengingat model-model HSS diteliti dan dibentuk di daerah

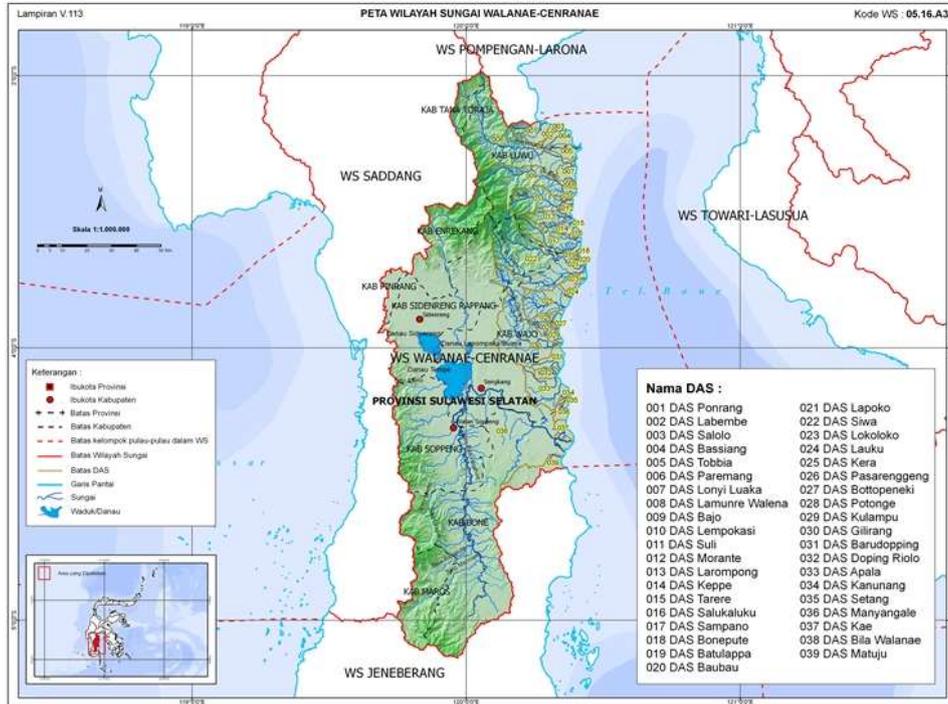
yang karakteristik DAS-nya jauh berbeda dengan DAS terapan, maka seringkali memberikan hasil analisis yang kurang akurat. Akibat lebih lanjut akan menimbulkan dampak ketidakefisienan dalam penentuan dimensi bangunan air. Kondisi hidrologi di setiap daerah adalah khas, sehingga tidak semua cara dan konsep yang ada dapat digunakan untuk memecahkan masalah hidrologi di setiap DAS (Sri Harto, 1993).

Faktor bentuk DAS (FD) memberikan harapan yang baik untuk digunakan dan dikembangkan lebih lanjut dalam permodelan HSS (Suwignyo, 2001). Faktor bentuk DAS merupakan karakteristik fisik DAS dan didefinisikan sebagai nilai banding antara keliling batas DAS (km) terhadap luas DAS (km²). Dengan mengamati faktor bentuk DAS, maka dapat dibuat model parameter HSS antara lain Debit Puncak (Qp) dan Waktu Puncak (Tp) yang merupakan fungsi dari faktor bentuk DAS dan beberapa parameter lain seperti panjang sungai terpanjang (L) dan luas DAS (A). Untuk kasus-kasus yang ideal perlu dilakukan kalibrasi parameter-parameter model berdasarkan karakteristik DAS yang bersangkutan (Nandakumar and Mein, 1997).

Studi ini akan dilakukan dengan rencana tahapan sebagai berikut: 1) Alihragam *stage hydrograph* menjadi *discharge hydrograph*; 2) Menganalisis distribusi hujan jam-jaman; 3) Melakukan pemisahan aliran dasar dari hidrograf diperlukan untuk memperoleh hidrograf aliran langsung; 4) Menganalisis kehilangan air. Jenis kehilangan air meliputi intersepsi, penguapan, infiltrasi, dan tampungan di cekungan dan yang terbesar adalah infiltrasi; 5) Menurunkan hidrograf satuan; 6) Memperhitungkan kriteria akurasi model.

2. METODE PENELITIAN

Studi ini dilakukan di wilayah sungai Walanae-Cenranae yang meliputi 39 DAS. Lokasi studi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Wilayah sungai Walanae-Cenranae

Masing-masing DAS dicari hidrograf satuan pengamatannya. Hidrograf satuan pengamatan untuk semua DAS, didapat dengan merata-rata ordinat hidrograf satuan pengamatan pada jam yang sama, debit puncak dan waktu untuk mencapai debit puncak, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung waktu puncak rata-rata dan debit puncak rata-rata.
2. Menghitung hidrograf satuan pengamatan tak berdimensi (t/TP dan Q/Q_p) untuk masing-masing DAS.
3. Menghitung hidrograf satuan pengamatan rata-rata tak berdimensi.
4. Menghitung hidrograf satuan pengamatan (hidrograf satuan observasi) rata-rata.

2.1. Permodelan debit puncak dan waktu untuk mencapai puncak banjir

Pembuatan model debit puncak dan waktu puncak pada studi ini didasarkan pada luas DAS (A), panjang sungai terpanjang (L), dan 2 (dua) karakteristik fisik DAS, yaitu rasio antara keliling DAS (K) dan luas DAS (A). Analisis pembuatan model menggunakan cara regresi dengan beberapa alternatif berdasarkan variabel bebas yang digunakan (lima, empat, tiga, dua dan satu variabel bebas). Dalam analisis ini, debit puncak (Q_p) merupakan variabel tetap, sedangkan karakteristik fisik DAS (A , L , dan FD) merupakan variabel bebas. Dengan demikian akan dihasilkan banyak alternatif. Pemilihan model

didasarkan pada model rasional dengan kriteria sebagai berikut (Soewarno, 1991):

1. Variabel bebas dan variabel tidak bebas mempunyai hubungan korelasi yang cukup kuat, dengan koefisien korelasi r antara 0,60 – 1,00 dan koefisien determinasi (R^2) terbesar.
2. Nilai perkiraan kesalahan standar (SEY) terkecil.
3. Terdapat pengaruh nyata antara variabel bebas dengan variabel tidak bebas, dalam model regresi digunakan Uji-F.
4. Tes penyimpangan pada model hidrograf terpilih berdasarkan hidrograf satuan pengamatan dengan tingkat penyimpangan cukup rendah.

Kriteria pemilihan sampel atau data untuk masing-masing DAS adalah sebagai berikut:

1. Tersedia stasiun hidrometri (AWLR) dan di dalam atau sekitar DAS terdapat stasiun hujan otomatis (ARR), luas DAS < 5000 km².
2. Faktor fisik DAS memiliki jenis tanah relatif homogen, demikian pula dengan karakteristik hidrologi bahwa hujan tahunan juga homogen. Dengan demikian bentuk hidrograf relatif serupa.
3. Hidrograf harus dipilih yang berpuncak tunggal, yang disebabkan oleh hujan jam-jaman. Waktu hujan dan hidrograf harus bersesuaian. Jika terdapat beberapa hidrograf yang memenuhi persyaratan tersebut, maka akan dilakukan perataan hidrograf dengan catatan hidrograf tersebut tetap mewakili puncak tertinggi untuk DAS yang bersangkutan.

Sedangkan data sekunder yang diperlukan adalah sebagai berikut:

1. Peta DAS dengan skala minimum 1 : 500.000.
2. *State Hydrograph* dari stasiun AWLR termasuk lengkung debit yang bersangkutan.
3. Hujan jam-jaman dari stasiun ARR dan hujan harian dari stasiun manual untuk DAS yang tidak tersedia stasiun ARR.
4. Data kemiringan sungai dan luas hutan yang disesuaikan dengan waktu pengambilan data hidrograf pengamatan dan data hujan.

2.2. Hidrograf Satuan Pengamatan

Hidrograf pengamatan yang dimaksud adalah hidrograf banjir yang merupakan hidrograf debit (*discharge hydrograph*), yaitu grafik hubungan antara debit terhadap waktu, yang didapat dari konversi hidrograf muka air dengan menggunakan persamaan umum sebagai berikut (Soewarno, 1991):

$$Q = c H^m \dots\dots\dots (1)$$

Dengan :

$$Q = \text{debit (m}^3/\text{dt)}$$

$$H = \text{tinggi muka air (m)}$$

c, m = konstanta yang diperoleh dari kalibrasi langsung di lokasi pos duga air

Hidrograf satuan mempunyai andaian pokok dan didasarkan pada landasan pemikiran, yaitu (Sri Harto, 1993):

1. Hidrograf satuan ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata di seluruh DAS (*evently spatial distribution*)
2. Hidrograf satuan ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata selama waktu yang telah ditetapkan (*constant intensity*).
3. Ordinat hidrograf satuan sebanding dengan volume hujan yang menimbulkannya (*linier system*).

4. Tanggapan DAS tidak bergantung dari waktu terjadinya masukan hujan (*time invariant*).
5. Waktu mulai puncak hidrograf satuan sampai akhir hidrograf limpasan langsung selalu tetap (tidak memandang besarnya tingkat intensitas hujan).

2.3. Permodelan Matematika

Dalam proses hidrologi banyak parameter yang terkait, sehingga dalam praktek sering dilakukan upaya untuk memperoleh hubungan fungsional antara satu parameter tak bebas (y) dengan beberapa parameter proses (x) berupa faktor-faktor fisik DAS. Untuk itu digunakan regresi berganda (Sri Harto, 1993) yaitu:

$$y = a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + \dots + a_i * x_i + error \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

y = variabel tak bebas

a₀, a₁ ... dst = koefisien

x = variabel bebas

error = kesalahan

Untuk mengantisipasi heteroskedasitas (variasi residual tidak sama untuk semua pengamatan), maka perlu dilakukan transformasi logaritma. Mulyantari (1993) menyatakan bahwa y harus bernilai nol jika parameter fisik DAS bernilai nol. Dengan demikian diperlukan transformasi logaritma (Y = ln y dan X = ln x), sehingga:

$$Y = e^{a_0} \cdot X_1^{a_1} \cdot X_2^{a_2} \cdot X_3^{a_3} \cdot \dots \cdot X_i^{a_i} \quad (3)$$

Persyaratan analisis regresi adalah (Soewarno, 1991):

- a. Tiap parameter adalah homogen, semua data diukur dengan cara yang sama.
- b. Nilai-nilai parameter diukur tanpa kesalahan, yang merupakan kejadian acak dan saling tidak berhubungan.

- c. Jumlah data minimal adalah (N+2) di mana N adalah jumlah parameter bebas.

Sedangkan pemilihan model regresi terbaik didasarkan pada kriteria sebagai berikut (Sri Harto, 1993 dan Soewarno, 1991):

- a. Koefisien korelasi gabungan atau koefisien determinasi terbesar.
- b. Tidak terjadi hubungan (korelasi) antara setiap parameter bebas.
- c. Terdapat pengaruh nyata antara parameter bebas dengan parameter tak bebas.
- d. Jika digambarkan hubungan antara sisa (residual) dengan salah satu parameter, maka tidak menunjukkan suatu kecenderungan (*trend*).
- e. Jika dilakukan rekalkulasi, maka diperoleh koefisien korelasi linier terbesar atau pencarian nilai-nilai observasi dan estimasi berada dalam kisaran garis lurus.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hidrograf Satuan Pengamatan

Berdasarkan hidrograf banjir pengamatan dianalisis hidrograf satuan pengamatan untuk masing-masing DAS dengan menggunakan metode Collins. Data hidrograf banjir (dari analisis AWLR) yang dipakai untuk menurunkan hidrograf satuan pengamatan dari masing-masing DAS dipilih yang tertinggi dan berpuncak tunggal. Periode waktu AWLR (data hidrograf banjir) harus sama dengan data ARR (data hujan jam-jaman) untuk tiap DAS. Namun demikian, tidak diperlukan waktu yang homogen antar DAS karena sasaran dari analisis hidrograf adalah untuk aliran tinggi. Oleh sebab itu, data untuk analisis harus mempunyai nilai ekstrim

seoptimal mungkin antara lain dengan mengambil hidrograf banjir dengan puncak tertinggi di tiap DAS.

3.2. Parameter fisik DAS yang berpengaruh pada model

Dengan debit puncak banjir (Q_p) dan waktu mencapai puncak banjir (T_p) sebagai variabel bebas dan luas DAS (A), panjang sungai terpanjang (L), dan faktor bentuk DAS yaitu rasio antara keliling DAS (K) dan luas DAS (A) sebagai variabel tergantung, akan dihasilkan beberapa alternatif persamaan regresi. Pemilihan model didasarkan pada rasionalisasi model dan kriteria seperti di atas. Asdak (1995) mengatakan bahwa semakin panjang sungai, maka jarak antara tempat jatuhnya hujan dengan *outlet* semakin besar, sehingga waktu yang diperlukan air hujan untuk mencapai *outlet* lebih lama dan dengan demikian akan menurunkan debit puncak. Hal ini disebabkan karena makin panjang sungai makin banyak memberikan kesempatan bagi air hujan untuk mengalir sebagai limpasan sehingga jumlah kehilangan air semakin besar. Berdasarkan pernyataan tersebut berarti makin panjang sungai akan menghasilkan debit puncak banjir makin kecil. Memang benar seperti yang dikatakan Asdak (1995) bahwa semakin panjang sungai akan menyebabkan kehilangan air makin besar, namun prosentase kehilangan air tersebut sangat kecil dibandingkan dengan besarnya debit puncak banjir, mengingat yang dibicarakan dalam kasus ini adalah aliran-aliran tinggi. Di samping itu, semakin panjang sungai akan memberikan kesempatan air hujan tetap berada pada badan sungai, dalam arti kemungkinan untuk meluap sangat kecil. Dengan demikian untuk sungai yang relatif panjang, sangat dimungkinkan hampir

semua air hujan yang jatuh ke sungai akan mencapai *outlet*, yang akan menaikkan debit puncak banjir.

Makin besar DAS akan menyebabkan makin lama pula limpasan mencapai *outlet*, sehingga lebar dasar hidrograf (lama limpasan) menjadi lebih panjang dan debit puncaknya akan berkurang (Sri Harto, 1995). Semakin luas suatu DAS akan menyebabkan distribusi hujan semakin tidak merata. Sifat ini bertentangan dengan konsep yang dikemukakan Sherman (1932) dalam Sri Harto (1993) bahwa hidrograf satuan merupakan hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif merata di DAS. Ukuran DAS menentukan patokan maksimum penggunaan hidrograf satuan. Sebenarnya ukuran yang pasti belum ada, namun menurut Soemarto (1995) diambil maksimum 5000 km², seperti yang sementara akan dilakukan pada penelitian ini. Dengan demikian jika terjadi hujan merata dalam suatu DAS, maka makin besar DAS, limpasan akan cepat mencapai *outlet* dan akan menaikkan debit puncak banjir.

3.3. Permodelan Debit Puncak Banjir (Q_p) and Waktu untuk Mencapai Puncak Banjir (T_p)

Faktor bentuk DAS (FD) didefinisikan sebagai rasio antara keliling DAS (K) dengan luas DAS (A) (km/km²). Faktor bentuk DAS bisa dipakai sebagai salah satu variabel dalam permodelan hidrograf satuan sintesis, di samping variabel luas DAS (A) dan panjang sungai terpanjang (L). Permodelan debit puncak (Q_p) dengan salah satu variabel tergantung faktor bentuk DAS (FD) disusun dengan menggunakan teknik statistik regresi berganda. Jika hasil awal dari permodelan

tidak memuaskan, selanjutnya dilakukan transformasi data ke logaritma dan data invers, dan jika hasilnya tetap tidak memuaskan, maka dilanjutkan dengan test homogenitas atau abnormalitas data yang mempunyai simpangan maksimum.

Proses permodelan waktu untuk mencapai puncak banjir adalah sama dengan tahapan permodelan debit puncak banjir. Parameter permodelan terbaik dari Hidrograf Satuan Sintetis terpilih tergantung pada kriteria dari koefisien determinasi tertinggi yang dikalibrasi terhadap data hidrograf pengamatan. Uji kalibrasi dimaksudkan untuk mengetahui tingkat reliabilitas dari model untuk

memprediksi harga parameter dari hidrograf satuan sintetis (HSS).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Permodelan hidrograf satuan sintetis (HSS) dengan variabel luas DAS (A), panjang sungai terpanjang (L), dan faktor bentuk DAS (FD) dan tentunya sesuai dengan kriteria dari koefisien determinasi, diharapkan mempunyai sensitivitas yang cukup tinggi.
2. Faktor bentuk DAS (FD) diharapkan mempunyai hubungan linear yang kuat dengan parameter hidrograf satuan sintetis (HSS)

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Suhartanto, E. dan S. Hardjomidjojo. 2001. Optimasi Pengelolaan DAS di Sub Daerah Aliran Sungai Cidanau Kabupaten Serang Propinsi Banten Menggunakan Model Hidrologi ANSWERS. *Proc. Kongres VII & Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XVIII HATHI*, Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Unibraw Malang, Vol. II, hal. 98-103.
- [2]. Soewignyo. 2001. Kajian Pengaruh Faktor Bentuk DAS Terhadap Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Sungai-Sungai di Jawa Timur. *Proc. Kongres VII & Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XVIII HATHI*, Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Unibraw Malang, Vol. II, hal. 98-103.
- [3]. Limantara, Lily Montarich. 2010. *Hidrologi Praktis*. CV Lubuk Agung Bandung.
- [4]. Pavoni, B; A. Voinov and N. Zhavora. 2001. Basin (Watershed) Approach As A Methodological Basis for Regional Decision Making And Management in the EX USSR. March 12, 2001.
- [5]. Sobriyah; Sudjarwadi; Sri Harto Br dan D. Legono. 2001. Input Data Hujan Dengan Sistem Grid Menggunakan Cara Pengisian dan Tanpa Pengisian Data Hilang pada Sistem Poligon Thiessen. *Proc. Kongres VII & Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XVIII HATHI*, Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Unibraw Malang, Vol. II, hal. 66-76.
- [6]. Holko, L. and A. Lepsito. 1997. Modelling the Hydrological Behaviour of Mountain Catchment Using TOPMODEL, *Journal Hydrology* 196: 361-377.

- [7]. Nandakumar, N and R.G. Mein.1997. Uncertainty in Rainfall-Runoff Model Simulations And The Implications for Predicting the Hydrologic Effect of Land-Use Change, *Journal of Hydrology* 192: 211-232
- [8]. Tung, B. Z.; Yeh, Y.K.; Chia, K. and Chuang, J. Y.. 1997. Storm Resampling for Uncertainty Analysis of a Multiple-Storm Unit-Hydrograph, *Journal Of Hydrology* 194: 366-384
- [9]. Blazkova, S. and K. Beven. 1997. Flood Frequency Prediction for Data Limited Catchments in the Czech Republic Using a Stochastic Rainfall Model and TOPMODEL, *Journal of Hydrology* 195: 256-278.
- [10]. Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan DAS*, University Press, Gajah Mada Yogyakarta.
- [11]. Hoesein, A.A. dan L. Montarcih. 1993a. Kalibrasi Parameter Hidrograf Satuan Sintetik
- [12]. Nakayasu di Sub DAS Lesti, Genteng, dan Amprong, Jawa Timur, *Laporan Penelitian*, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- [13]. Cordery, I. 1991. The Unit Hydrograph Method of Flood Estimation. *Australian Rainfall And Runoff*, The Institute of Engineers, Australia, p.153.
- [14]. Wilson, E.M. 1990. Engineering Hydrology. A. Marjuki (penterjemah). 1993. Hidrologi Teknik. Edisi Pertama. Erlangga. Jakarta.