

PENGEMBANGAN MODEL HIDROGRAF SATUAN SINTETIS SNYDER UNTUK DAERAH ALIRAN SUNGAI DI JAWA TIMUR

Hari Siswoyo

Jurusan Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
e-mail : hari_siswoyo@ub.ac.id

ABSTRAK

Model hidrograf satuan sintetis (HSS) telah banyak dikembangkan oleh para pakar, antara lain HSS Snyder yang dikembangkan berdasarkan karakteristik sejumlah Daerah Aliran Sungai (DAS) di kawasan pegunungan Appalachian Amerika Serikat. Dalam Model HSS Snyder tersebut terdapat 2 parameter non fisik yang merupakan fungsi dari karakteristik DAS yaitu C_t dan C_p . Penggunaan metode ini untuk kondisi di Jawa Timur sangatlah sulit karena penentuan besarnya koefisien tersebut memerlukan proses kalibrasi untuk tiap daerah yang berbeda. Untuk mengatasi masalah tersebut HSS Snyder perlu dikembangkan dengan karakteristik, kondisi, dan pola hujan pada DAS-DAS di Jawa Timur. Pemodelan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model statistika regresi yang mencari hubungan antara unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik DAS yang diteliti. Dari hasil pemodelan diperoleh Model HSS Snyder dengan menggunakan koefisien-koefisien regresi yang sesuai dan lebih mendekati karakteristik hidrograf satuan untuk DAS di Jawa Timur.

Kata Kunci : Hidrograf Satuan Sintetis, Karakteristik DAS

ABSTRACT

Many Synthetic Unit Hydrograph methods have been developed by hydrologist. One of them is Snyder's Synthetic Unit Hydrograph which was developed based on the characteristics of some watershed in the area of Appalachian Highlands of the United States. In the Snyder's equation, there are two non-physical parameters, which are the function of watershed characteristic, i.e. C_t and C_p . It is difficult to apply this method to East Java condition since deciding the coefficient need calibration process for every different area. To solve the problem, Snyder's Synthetic Unit Hydrograph must be developed to meet the characteristic, condition, and modes of rainfall of the watersheds in East Java. Modeling in this research was done using statistical regression analysis to find the relationship between the components of unit hydrograph and the characteristic of the watershed being studied. The modeling resulted in an model of Snyder's Synthetic Unit Hydrograph using regression coefficient suitable with and close to unit hydrograph characteristics for the rivers in East Java.

Key Words : Synthetic Unit Hydrograph, Watershed Characteristic

PENDAHULUAN

Penentuan banjir rancangan akan memberikan hasil lebih bermanfaat bila disajikan dalam bentuk hidrograf banjir. Banyak informasi yang bisa diberikan

dari hasil pengalihragaman hujan menjadi hidrograf limpasan tersebut. Sejauh ini penurunan hidrograf satuan dari hidrograf banjir pengamatan merupakan salah satu cara yang dianggap akurat. Meskipun demikian kendala yang sering ditemui

adalah sulitnya memperoleh data hidrograf banjir pengamatan.

Tidak semua sungai mempunyai data pengukuran debit yang dapat digunakan sebagai dasar untuk menurunkan hidrograf satuan, hanya sungai-sungai yang DAS-nya telah dikembangkan mempunyai data pengukuran debit yang cukup. Dengan demikian berkembang penurunan hidrograf satuan sintetis yang yang didasarkan atas karakteristik fisik dari suatu DAS.

Model hidrograf satuan sintetis telah banyak dikembangkan oleh para pakar, antara lain Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Snyder yang dikembangkan berdasarkan karakteristik DAS-DAS di dataran tinggi Appalachian Amerika Serikat oleh F.F. Snyder pada tahun 1938. Model HSS Snyder bila diterapkan pada suatu DAS di Indonesia belum tentu sesuai. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan karakteristik, kondisi, dan pola hujan antara DAS-DAS di Indonesia (khususnya di Jawa Timur) dengan daerah dimana model ini dikembangkan.

Dalam model HSS Snyder termuat 2 parameter non fisik yaitu C_t dan C_p dimana merupakan koefisien-koefisien yang bergantung pada satuan dan ciri DAS (Wilson, 1993). Besaran nilai C_t dan C_p tersebut diperoleh Snyder dari sejumlah DAS di dataran tinggi Appalachian Amerika Serikat. Koefisien-koefisien C_t dan C_p harus ditentukan secara empirik, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Dengan demikian maka terjadi kesulitan dalam pemakaian metode tersebut, khususnya untuk pemakaian pada sungai-sungai di Jawa Timur.

Untuk lebih dapat diterima di daerah penelitian (Jawa Timur), maka model HSS Snyder harus disesuaikan dengan karakteristik dan kondisi setempat. Penelitian ini menggunakan sejumlah DAS di Jawa Timur yang dianggap memenuhi syarat untuk diteliti dan mewakili kondisi yang ada, sehingga

diharapkan memperoleh suatu perumusan banjir yang memadai.

TINJAUAN PUSTAKA

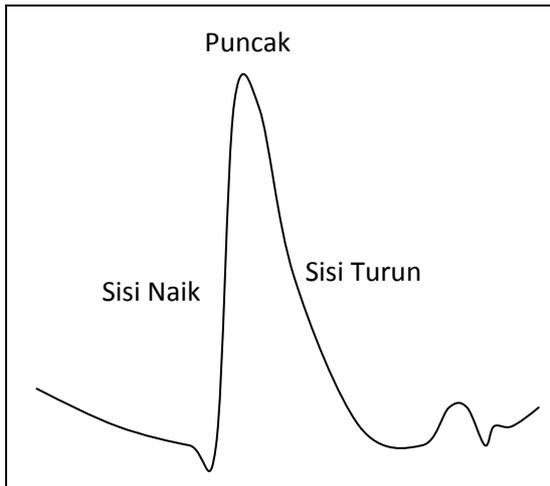
Hidrograf dapat digambarkan sebagai penyajian grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu. Hidrograf ini menunjukkan tanggapan menyeluruh DAS terhadap masukan tertentu. Sesuai dengan sifat dan perilaku DAS yang bersangkutan, hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadinya masukan. Beberapa macam hidrograf yang dikenal (Sri Harto, 1993):

1. Hidrograf muka air (*stage hydrograph*), yaitu hubungan antara perubahan tinggi muka air dengan waktu. Hidrograf ini tidak lain adalah merupakan hasil rekaman *Automatic Water Level Record* (AWLR).
2. Hidrograf debit (*discharge hydrograph*), yaitu hubungan antara debit dengan waktu. Dalam pengertian sehari-hari, bila tidak disebut lain, hidrograf debit ini sering disebut sebagai 'hidrograf'. Hidrograf ini dapat diperoleh dari hidrograf muka air dan *rating curve*.
3. Hidrograf sedimen (*sediment hydrograph*), yaitu hubungan antara kandungan sedimen dengan waktu.

Hidrograf terdiri dari tiga bagian (Sri Harto, 1993), yaitu sisi naik (*rising limb*), puncak (*crest*), dan sisi resesi (*recession limb*). Bentuk hidrograf dapat ditandai dengan tiga sifat pokoknya, yaitu waktu naik (*time of rise*), debit puncak (*peak discharge*), dan waktu dasar (*base time*).

Waktu naik (TR) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu terjadinya debit puncak. Debit puncak adalah debit maksimum yang terjadi pada suatu kasus tertentu. Waktu dasar adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu dimana debit kembali pada suatu besaran yang ditetapkan. Besaran-besaran tersebut dapat digunakan sebagai petunjuk tentang kepekaan sistem DAS terhadap pengaruh masukan hujan.

Bentuk hidrograf pada umumnya sangat dipengaruhi oleh sifat hujan yang terjadi, akan tetapi juga dapat dipengaruhi oleh sifat DAS yang lain. Menurut Kennedy dan Watt pada tahun 1967 (dalam Sri Harto, 1993) sifat hujan yang sangat mempengaruhi bentuk hidrograf ada 3 macam, yaitu intensitas hujan, lama hujan, dan arah gerak hujan.



Gambar 1 Hidrograf (Sumber: Sri Harto, 1993)

Hidrograf Satuan

Teori klasik hidrograf satuan berasal dari hubungan antara hujan efektif dengan limpasan langsung. Hubungan tersebut merupakan salah satu komponen model *watershed* yang umum. Teori hidrograf satuan merupakan penerapan pertama teori sistem linier dalam hidrologi (Soemarto, 1987).

Sherman pada tahun 1932 (dalam Sri Harto, 1993) mengemukakan bahwa dalam suatu sistem DAS terdapat suatu sifat khas yang menunjukkan sifat tanggapan DAS terhadap suatu masukan tertentu. Tanggapan ini diandaikan tetap untuk masukan dengan besaran dan penyebaran tertentu. Tanggapan yang demikian dalam konsep model hidrologi dikenal dengan hidrograf satuan. Hidrograf satuan suatu DAS (Soemarto, 1995) adalah suatu limpasan langsung yang diakibatkan oleh satu satuan volume hujan yang efektif yang terbagi rata dalam waktu dan ruang.

Untuk memperoleh hidrograf satuan dalam suatu kasus banjir, maka diperlukan data sebagai berikut:

1. rekaman AWLR
2. pengukuran debit yang cukup
3. data hujan biasa (manual)
4. data hujan otomatis

Selanjutnya perlu dipilih kasus yang menguntungkan dalam analisis, yaitu dipilih hidrograf yang terpisah dan mempunyai satu puncak dan hujan yang cukup serta distribusi jam-jamannya. Syarat di atas sebenarnya bukan merupakan keharusan, kecuali untuk mempermudah hitungan yang dilakukan. Analisis numerik untuk memisahkan hidrograf satuan dari banjir pengamatan dapat dilakukan dengan Metode Collins.

Hidrograf Satuan Sintetis Snyder

Untuk mendapatkan suatu hidrograf satuan seperti diuraikan dengan prosedur di atas perlu tersedia data yang baik, yaitu data AWLR, data pengukuran debit, data hujan harian, dan data hujan jam-jaman. Yang menjadi masalah adalah bahwa karena berbagai sebab data ini sangat sulit diperoleh atau tidak tersedia. Untuk mengatasi hal ini maka dikembangkan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf satuan tanpa mempergunakan data tersebut di atas (Sri Harto, 1993). Salah satu cara tersebut dikembangkan oleh F.F. Snyder dari Amerika Serikat pada tahun 1938 yang memanfaatkan parameter DAS untuk memperoleh hidrograf satuan sintetis. Sejumlah DAS yang diteliti oleh Snyder berada di dataran tinggi Appalachian dengan luas DAS berkisar antara 30 sampai 30.000 km² (Chow, *et al*, 1988).

Snyder mengembangkan model dengan koefisien-koefisien empirik yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik DAS. Hal tersebut didasarkan pada pemikiran bahwa pengalihragaman hujan menjadi aliran baik pengaruh translasi maupun tampungannya dapat dijelaskan dipengaruhi oleh sistem DAS-nya (Sri

Harto, 1993). Hidrograf satuan tersebut ditentukan dengan unsur yang antara lain Q_p ($m^3/detik$), T_b (jam), dan t_p (jam) dan t_r (jam). Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan:

A = luas DAS (km^2)

L = panjang aliran sungai utama (km)

L_c = panjang sungai utama diukur dari tempat pengukuran (pelepasan) sampai titik di sungai utama yang terdekat dengan titik berat DAS (km)

Dengan unsur-unsur tersebut di atas Snyder membuat model hidrograf satuan sintesis sebagai berikut (Gray, 1970; Chow, *et al*, 1988; Bedient and Huber, 1992):

$$t_p = 0,75 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_c)^{0,3} \quad (1)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \quad (2)$$

$$Q_p = 2,75 \cdot \frac{C_p \cdot A}{t_p} \quad (3)$$

$$T_b = 72 + 3 \cdot t_p \text{ atau } T_b = \frac{5,56}{q_{pR}} \quad (4)$$

dimana :

t_p = waktu kelambatan (*time lag*) (jam)

Q_p = debit puncak ($m^3/detik$)

T_b = waktu dasar (jam)

q_{pR} = debit per satuan luas ($m^3/detik/km^2$)

C_t dan C_p adalah koefisien-koefisien yang bergantung pada satuan dan ciri DAS (Wilson, 1993). Koefisien-koefisien C_t dan C_p harus ditentukan secara empirik, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Dalam sistem metrik besarnya C_t antara 0,75 sampai 3,00, sedangkan C_p berada antara 0,90 sampai 1,40 (Soemarto, 1995). Besaran nilai C_t dan C_p tersebut diperoleh Snyder untuk sejumlah DAS di dataran tinggi Appalachian Amerika Serikat, dimana bila nilai C_p mendekati nilai terbesar maka nilai C_t akan mendekati nilai terkecil, demikian pula sebaliknya (Wilson 1993).

Menurut hasil penelitian Hoffmeister dan Weisman pada tahun 1977 (dalam Sri Harto, 1985), bahwa pemakaian parameter L_c oleh Snyder disebabkan karena bagian hulu suatu DAS dianggap tidak berpengaruh terhadap debit puncak suatu hidrograf. Mengenai unsur debit puncak, penelitian yang telah dilakukan Morgan dan Johnson pada tahun 1962 (Sri Harto, 1985) dan Sri Harto (1993) menyatakan bahwa persamaan Snyder memberikan debit puncak paling kecil dibandingkan dengan cara lain seperti US SCS, Common, Mitchell, Nakayasu, & Gama I.

Pemakaian cara Snyder ini dibatasi hanya untuk dataran tinggi Appalachian Amerika Serikat. Pemakaian cara tersebut untuk daerah lain diperlukan ralat dan penyesuaian (Sri Harto, 1985).

Snyder hanya membuat model untuk untuk menghitung debit puncak dan waktu yang diperlukan untuk mencapai puncak dari suatu hidrograf saja, sehingga untuk mendapatkan lengkung hidrografnya memerlukan waktu untuk menghitung parameter-parameternya.

Untuk mempercepat pekerjaan tersebut diberikan rumus *Alexejev*, yang memberikan bentuk hidrograf satuannya. Persamaan *Alexejev* adalah sebagai berikut (Soemarto, 1995):

$$1. Q = f(t) \quad (5)$$

$$2. Y = \frac{Q}{Q_p} \quad (6)$$

$$\text{dan } X = \frac{t}{T_p} \quad (7)$$

$$3. Y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}} \quad (8)$$

dengan a diperoleh dari persamaan berikut:

$$\lambda = \frac{Q_p \cdot T_p}{h \cdot A} \quad (9)$$

h = tinggi hujan = 1 mm

$$a = 1,32 \cdot \lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \quad (10)$$

Sebuah pembaharuan (*inovation*) pernah dilakukan di Amerika Serikat juga, yaitu dalam penggunaan metode

Snyder dengan parameter (karakteristik) hidrograf satuan pada suatu daerah. Espey, Altman, dan Graves pada tahun 1977 (dalam Chow, *et al*, 1988) mengembangkan satu set persamaan umum untuk menyusun hidrograf satuan dengan meneliti 41 DAS dengan luasan berkisar antara 0,014 – 15 mil². Lokasi dari 41 DAS yang diteliti meliputi 16 lokasi di Texas, 9 lokasi di North Carolina, 6 lokasi di Kentucky, 4 lokasi di Indiana, 2 lokasi masing-masing di Colorado dan Mississippi, dan 1 lokasi masing-masing di Tennessee dan Pennsylvania. Persamaan yang dihasilkan:

$$T_p = 3,1 \cdot L^{0,23} \cdot S^{-0,25} \cdot I^{-0,18} \cdot \Phi^{1,57} \quad (11)$$

$$Q_p = 31,62 \times 10^3 \cdot A^{0,96} \cdot T_p^{-1,07} \quad (12)$$

$$T_b = 125,89 \times 10^3 \cdot A \cdot Q_p^{-0,95} \quad (13)$$

$$W_{50} = 16,22 \times 10^3 \cdot A^{0,93} \cdot Q_p^{-0,92} \quad (14)$$

$$W_{75} = 3,24 \times 10^3 \cdot A^{0,79} \cdot Q_p^{-0,78} \quad (15)$$

dimana:

L = panjang total sungai utama (*feet*)

S = kemiringan sungai utama, didefinisikan sebagai $H/0,8L$, dimana H adalah perbedaan elevasi A dan B. A adalah titik pada dasar sungai di bagian hulu yang berjarak $0,2L$ dari ujung sungai. B adalah titik pada dasar sungai di bagian hilir di tempat pengukuran (*feet per foot*)

I = prosentase daerah kedap air di dalam suatu DAS (%), diasumsi sama dengan 5% dari luasan DAS yang belum dikembangkan.

ϕ = dimensi faktor pengangkutan, dimana merupakan fungsi dari prosentase daerah kedap air dan kekasaran. (tanpa satuan)

T_p = waktu naik yang diukur dari permulaan limpasan sampai puncak hidrograf satuan (menit)

Q_p = debit puncak hidrograf satuan (cfs/menit)

T_b = waktu dasar hidrograf satuan (menit)

W_{50} = lebar hidrograf pada saat 50% tercapainya debit puncak (menit)

W_{75} = lebar hidrograf pada saat 75% tercapainya debit puncak (menit)

United States Corps of Engineers (USCE) menetapkan kembali hubungan waktu kelambatan (*time lag*). Persamaan yang diberikan adalah sebagai berikut (Schulz, 1978):

$$t_c = C_t \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0,38} \quad (16)$$

Untuk persamaan tersebut, USCE memberikan nilai koefisien waktu (C_t) dari persamaan Snyder sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai C_t Persamaan Snyder

Tipe DAS (kondisi)	C_t
Daerah Pegunungan	1,20
Daerah Perbukitan (kaki bukit)	0,72
Daerah Lembah	0,35
Daerah Perkotaan	0,08

Sumber: (Schulz, 1978)

Gole, Das, dan Hussain (dalam Mutreja, 1986) melakukan penelitian terhadap sejumlah DAS di India dengan luasan di atas 570 km². Dari penelitian tersebut diperoleh model waktu kelambatan (t_p) dan debit puncak (Q_b) sebagai berikut:

$$t_p = 1,13 \cdot \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0,2769} \quad (17)$$

$$Q_p = 0,315 \cdot A^{0,93} \cdot S^{0,53} \quad (18)$$

Hasil pengembangan model HSS Snyder yang dibuat oleh Gole, Das, dan Hussain baik pada persamaan t_p maupun Q_p telah mereduksi parameter C_t dan C_p . Sehingga dengan adanya bentuk modifikasi ini pemakaian persamaan Snyder lebih mudah dan sederhana (untuk daerah setempat).

Belakangan ini banyak pula digunakan model HSS Snyder yang telah diubah, dan telah banyak digunakan di Indonesia (Soemarto, 1995). Perubahan tersebut terletak pada:

1. Pangkat 0,3 pada rumus (1) diganti dengan n, sehingga menjadi

$$t_p = C_t \cdot (L \cdot L_c)^n \quad (19)$$

2. t_r pada rumus (2) diganti dengan t_e yang merupakan durasi curah hujan efektif, sedangkan $t_r = 1$ jam

$$t_e = \frac{t_p}{5,5} \quad (20)$$

3. Hubungan t_e , t_p , t_r , dan T_p adalah sebagai berikut :

❖ Bila $t_e > t_r$ maka $t_p' = t_p + 0,25 (t_r - t_e)$, sehingga

$$T_p = t_p' + 0,5 \quad (21)$$

❖ Bila $t_e < t_r$

$$T_p = t_p + 0,5 \quad (22)$$

4. $q_p = 0,278 \cdot \frac{C_p}{T_p}$ (23)

dan $Q_p = q_p \cdot A$ untuk hujan 1 mm/jam

dimana:

q_p = puncak hidrograf satuan ($m^3/det/mm/km^2$)

Q_p = debit puncak ($m^3/detik/mm$)

t_p = waktu antara titik berat curah hujan hingga puncak hidrograf (jam)

T_p = waktu yang diperlukan antara permulaan hujan hingga mencapai puncak hidrograf (jam)

Dari tinjauan pustaka terhadap teori-teori yang ada, maka model HSS Snyder perlu dikembangkan untuk mempermudah pemakaiannya (khususnya untuk karakteristik DAS pada sungai-sungai di Jawa Timur). Penentuan nilai C_t dan C_p dalam bentuk pendekatan persamaan dengan menggunakan model regresi dianggap penting. Hal ini mengingat nilai-nilai tersebut akan berbeda antara DAS yang satu dengan yang lain, sehingga dalam setiap penggunaan (aplikasi) model ini selalu dilakukan kalibrasi untuk tiap daerah yang berbeda.

TUJUAN PENELITIAN

1. Mengembangkan model HSS Snyder yang mendekati bentuk hidrograf satuan yang diturunkan dari kasus-

kasus banjir pengamatan di lokasi penelitian.

2. Mengetahui tingkat keandalan model yang dikembangkan di lokasi penelitian.

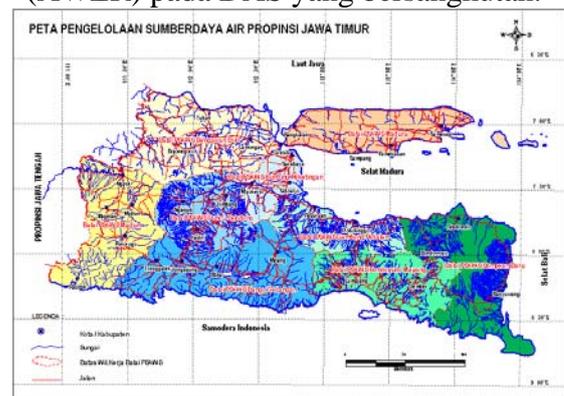
METODOLOGI

1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada 17 DAS yang ada di Provinsi Jawa Timur, dimana 14 DAS digunakan untuk membangun model dan 3 DAS untuk uji keandalan model. DAS yang diteliti memiliki kisaran luas antara 53,19 – 696,16 km^2 .

Pemilihan lokasi penelitian didasarkan atas ketersediaan dan kelengkapan data yang dapat menunjang akurasi dari hasil penelitian. Pada masing-masing DAS disyaratkan:

- Terdapat data pengukuran debit (AWLR)
- Terdapat data pencatatan hujan dari alat penakar hujan otomatis
- Terdapat data pencatatan hujan dari alat penakar hujan manual
- Tidak terdapat waduk/tampungan di bagian hulu dari stasiun hidrometri (AWLR) pada DAS yang bersangkutan.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

2. Tahapan Penelitian

Secara garis besar penelitian ini terdiri dari 6 tahapan, yaitu:

i. Analisis data karakteristik DAS, data curah hujan, dan data pengukuran AWLR

Analisis data karakteristik DAS berdasarkan peta topografi dilakukan untuk menentukan karakteristik fisik

DAS yang digunakan dalam penelitian.

Analisis data hujan dilakukan dengan menghitung hujan rerata daerah dan penentuan hujan efektif pada masing-masing DAS yang diteliti.

Analisis data pengukuran AWLR dilakukan untuk mengalihragamkan hidrograf muka air yaitu hubungan antara perubahan tinggi muka air dengan waktu (yang dicatat oleh AWLR) menjadi hidrograf debit yaitu hubungan antara debit sungai dengan waktu.

ii. Analisis Hidrograf Satuan dari tiap-tiap DAS yang diteliti

Analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk memisahkan hidrograf satuan dari hidrograf banjir pengamatan (yang telah dihitung pada tahapan sebelumnya). Analisis numerik dilakukan dengan untuk Metode Collins.

iii. Penyesuaian model HSS Snyder di daerah penelitian

Untuk menyesuaikan dengan karakteristik di lokasi penelitian, parameter-parameter yang dipakai mengacu pada parameter yang digunakan oleh Snyder untuk membuat model HSS Snyder. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan model statistika regresi yang mencari hubungan antara unsur-unsur hidrograf satuan (waktu puncak, debit puncak, dan waktu dasar) dengan karakteristik dari DAS yang diteliti (A , L , L_c , S , dan karakteristik lain yang diduga berhubungan erat dengan unsur-unsur hidrograf satuan). Tahapan analisis di atas diselesaikan dengan bantuan Paket Program *SPSS for Windows*.

iv. Uji keandalan hasil penelitian

Setelah dilakukan pemodelan regresi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis sensitivitas, pemilihan model terbaik, uji statistika regresi, dan uji asumsi.

Kalibrasi model dilakukan dengan tujuan untuk memeriksa ketepatan-ketepatan parameter hidrograf satuan sintetis yang dimodelkan. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan tolok ukur ketelitian NASH (KN).

Verifikasi model dilakukan untuk mengetahui apakah model yang dibuat layak digunakan atau tidak. Verifikasi model ini dilakukan terhadap data yang tidak dipakai dalam pembuatan model.

v. Menentukan parameter C_t dan C_p dalam bentuk persamaan

C_t dan C_p ditentukan dari persamaan-persamaan waktu puncak dan debit puncak hasil pemodelan dengan menyesuaikan pada persamaan asli HSS Snyder. Parameter-parameter yang ada pada model dan tidak terdapat pada persamaan asli HSS Snyder dituliskan dalam suatu persamaan yang menyatakan besarnya C_t dan C_p .

vi. Membuat kesimpulan penelitian

Pembuatan kesimpulan hasil penelitian dengan cara menampilkan hasil pemodelan HSS Snyder yang telah sesuai dengan karakteristik DAS di daerah penelitian dan tingkat ketelitiannya. Model ini dibuat dengan sederhana, efisien, dan seoptimal mungkin.

HASIL PENELITIAN

1. Pemodelan Waktu Puncak (T_p)

Model waktu puncak dalam HSS Snyder dirumuskan dengan parameter L dan L_c . Untuk menyesuaikan dengan karakteristik DAS pada sungai-sungai di Jawa Timur, penulis mengkombinasikan dengan parameter S (kemiringan rata-rata sungai utama), L_b (panjang maksimum DAS sepanjang aliran sungai utama), W_r (lebar rata-rata DAS sepanjang aliran sungai utama), dan FD (faktor bentuk DAS). Keempat parameter tersebut diduga atau berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu dapat membentuk

model waktu puncak dengan tingkat hubungan yang tinggi.

Untuk memperoleh suatu model yang lebih mendekati kondisi yang sebenarnya dilakukan pemilihan model terbaik. Pemilihan ini dilakukan dengan melihat besarnya R^2 , dari berbagai alternatif atau kemungkinan transformasi parameter dan uji abnormalitas terhadap model regresi awal. Transformasi parameter merupakan proses perubahan data natural menjadi bentuk logaritma, invers, eksponen, dan yang lainnya guna menjajagi kemungkinan adanya hubungan linier setelah proses transformasi. Pengujian abnormalitas dimaksudkan untuk menentukan data yang mempunyai simpangan yang sangat besar terhadap garis regresi, sehingga menghasilkan kemampuan penjajagan model yang rendah atau koefisien determinasi yang rendah. Model terbaik yang dipilih adalah model yang memiliki koefisien determinasi terkoreksi yang terbaik (terbesar).

Dari hasil analisis statistik diperoleh model regresi terbaik untuk Waktu Puncak (T_p):

$$T_p = 0,2857 \cdot L^{-2,7939} \cdot L_c^{0,4040} \cdot (\sqrt{S})^{-0,6910} \cdot L_b^{2,6078} \cdot W_r^{0,3494} \quad (24)$$

dengan $R = 98,1\%$, $R^2 = 94,0\%$, $R^{2*} = 93,7\%$ dan kesalahan standar dari perkiraan ($SE \ln T_p$) = 0,1306 jam. Pada model ini semua variabel mempunyai angka signifikan di bawah 0,05, sehingga semua variabel dalam model tersebut cukup signifikan mempengaruhi besarnya waktu puncak untuk $\alpha = 5\%$.

Pengujian statistika regresi pada model terpilih dalam studi ini dilakukan dengan 2 uji yaitu :

- Pengujian Koefisien Determinasi
Tujuan dari uji ini adalah untuk menguji derajat kepercayaan koefisien determinasi regresi berganda. Uji yang digunakan adalah uji-F. Dari hasil pengujian ini dapat dinyatakan bahwa terdapat hubungan nyata antara variabel yang digunakan dalam analisis model regresi T_p .

- Pengujian Koefisien Regresi
Pengujian koefisien regresi secara individual digunakan untuk membuktikan apakah koefisien regresi $\beta_i = 0$ atau tidak. Uji yang digunakan adalah uji-t. Dari hasil pengujian ini dapat dinyatakan bahwa masing-masing variabel prediktor dapat mempengaruhi besarnya waktu puncak (T_p) pada model regresi.

Pengujian asumsi pada model regresi terpilih dalam studi ini dilakukan dengan 3 uji yaitu:

- Uji Asumsi Heteroskedastisitas
Tujuan dari uji ini adalah untuk menguji apakah dalam model waktu puncak (T_p), terjadi ketidaksamaan varians dari residual dari satu pengamatan ke pengamatan yang lain.
- Uji Asumsi Normalitas
Tujuan dari uji ini adalah untuk menguji apakah dalam model waktu puncak (T_p), variabel dependent, variabel independent, atau keduanya mempunyai distribusi normal atau tidak.
- Uji Asumsi Autokorelasi
Tujuan dari uji ini adalah untuk menguji apakah dalam model waktu puncak (T_p) ada korelasi antara kesalahan pengganggu pada periode t dan periode t-1 (sebelumnya).

Dari hasil pengujian ini dapat dinyatakan bahwa: model regresi T_p tidak terjadi heteroskedastisitas, mempunyai distribusi data normal, dan tidak terdapat masalah autokorelasi.

2. Pemodelan Debit Puncak (Q_p)

Model debit puncak dalam HSS Snyder dirumuskan dengan parameter A dan t_p . Untuk menyesuaikan dengan karakteristik DAS di lokasi penelitian, penulis mengkombinasikan dengan parameter A_i (luas DAS sebelah hilir), L (panjang sungai utama), dan K (keliling DAS). Ketiga parameter tersebut diduga atau berdasarkan penelitian terdahulu dapat membentuk model debit puncak dengan tingkat hubungan yang tinggi.

Dari hasil analisis statistik dan prosedur pengujian model regresi seperti yang dilakukan pada pemodelan waktu puncak (T_p), diperoleh model regresi terbaik untuk Debit Puncak (Q_p): (25)

$$Q_p = 0,0878 \cdot (A \cdot A_i)^{0,5194} \cdot (L \cdot T_p)^{-0,8327} \cdot K^{0,8300}$$

dengan $R = 96,2\%$, $R^2 = 92,6\%$, $R^{2'} = 90,1\%$ dan kesalahan standar dari perkiraan ($SE \ln Q_p$) = $0,2690 \text{ m}^3/\text{detik}$.

3. Pemodelan Waktu Dasar (T_b)

Model waktu dasar dalam HSS Snyder dirumuskan dengan parameter T_p saja. Untuk menyesuaikan dengan karakteristik DAS di lokasi penelitian, penulis mengkombinasikan dengan parameter A (luas DAS), Q_p (debit puncak), L (panjang sungai utama), dan S (kemiringan rata-rata sungai utama). Keempat parameter tersebut diduga atau berdasarkan penelitian terdahulu dapat membentuk model waktu dasar dengan tingkat hubungan yang tinggi.

Dari hasil analisis statistik dan prosedur pengujian model regresi seperti yang dilakukan pada pemodelan waktu puncak (T_p), diperoleh model regresi terbaik untuk Waktu Dasar (T_b):

$$T_b = 2,7832 \cdot A^{0,3750} \cdot Q_p^{-0,5699} \cdot L^{0,4364} \quad (26)$$

dengan $R = 91,0\%$, $R^2 = 82,2\%$, $R^{2'} = 77,1\%$ dan kesalahan standar dari perkiraan ($SE \ln T_b$) = $\pm 0,1411 \text{ jam}$.

4. Kalibrasi Model

Setelah diperoleh model regresi terpilih dari waktu puncak (T_p), debit puncak (Q_p), dan waktu dasar (T_b) tahapan selanjutnya adalah dilakukan kalibrasi model. Tujuan kalibrasi model ini adalah untuk memeriksa ketepatan-ketepatan parameter hidrograf satuan yang dimodelkan. Dari proses kalibrasi yang dilakukan berdasarkan Kriteria NASH (KN), diperoleh nilai ketelitian untuk :

- Model waktu puncak (T_p), KN = 96,90%
- Model debit puncak (Q_p), KN = 82,72%
- Model waktu dasar (T_b), KN = 85,44%

5. Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk mengetahui apakah model HSS Snyder yang sudah disesuaikan/dikembangkan berdasarkan karakteristik DAS pada lokasi penelitian layak digunakan atau tidak. Verifikasi model ini dilakukan pada DAS Klero, DAS Pekalen dan DAS Setail. Ketiga DAS ini tidak dipakai dalam pembuatan model regresi.

Dengan menggunakan persamaan dari model regresi terpilih, komponen hidrograf satuan untuk ketiga DAS tersebut dapat ditentukan. Hasil perhitungan dan tingkat keandalan model pada tiga DAS tersebut :

-DAS Klero

$T_{p \text{ model}} = 4,95 \text{ jam}$; $T_{p \text{ terukur}} = 4,00 \text{ jam}$;
dengan ketelitian = 76,17%

$Q_{p \text{ model}} = 4,10 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{p \text{ terukur}} = 4,21 \text{ m}^3/\text{detik}$;
dengan ketelitian = 97,43%

$T_{b \text{ model}} = 19,42 \text{ jam}$; $T_{b \text{ terukur}} = 25,00 \text{ jam}$;
dengan ketelitian = 77,70%

-DAS Pekalen

$T_{p \text{ model}} = 1,83 \text{ jam}$; $T_{p \text{ terukur}} = 2,75 \text{ jam}$;
dengan ketelitian = 66,47%

$Q_{p \text{ model}} = 10,65 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{p \text{ terukur}} = 10,60 \text{ m}^3/\text{detik}$;
dengan ketelitian = 99,55%

$T_{b \text{ model}} = 20,17 \text{ jam}$; $T_{b \text{ terukur}} = 19,00 \text{ jam}$;
dengan ketelitian = 93,84%

-DAS Setail

$T_{p \text{ model}} = 1,59 \text{ jam}$; $T_{p \text{ terukur}} = 2,00 \text{ jam}$;
dengan ketelitian = 79,34%

$Q_{p \text{ model}} = 8,88 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{p \text{ terukur}} = 7,89 \text{ m}^3/\text{detik}$;
dengan ketelitian = 87,51%

$T_{b \text{ model}} = 21,21 \text{ jam}$; $T_{b \text{ terukur}} = 17,00 \text{ jam}$;
dengan ketelitian = 75,23%

PEMBAHASAN

Faktor-faktor penting yang menentukan besarnya waktu puncak untuk model HSS Snyder pada lokasi penelitian adalah S, L_b , dan W_r . Parameter tersebut dikombinasikan dengan parameter utama L dan L_c . Keberadaan parameter L dikarenakan bahwa waktu pengaliran di sungai ditentukan oleh panjang sungai dan kecepatan aliran. Jika aliran di sungai mengalir dengan kecepatan tertentu maka sungai yang lebih panjang dalam

pencapaian debit puncak (terkumpulnya air di stasiun pengukuran) akan lebih lama, untuk sungai yang pendek sebaliknya. Dengan demikian sangat besar pengaruh L terhadap lamanya waktu untuk mencapai debit puncak suatu banjir. Parameter khas yang digunakan oleh Snyder dalam model hidrografnya adalah L_c . Berdasarkan penelitian, menurut Hoffmeister dan Weisman pada tahun 1977 (dalam Sri Harto, 1985) pemakaian parameter L_c oleh Snyder disebabkan karena bagian hulu suatu DAS dianggap tidak berpengaruh terhadap terjadinya debit puncak suatu hidrograf.

Pemakaian 2 parameter dari Snyder tidak cukup akurat untuk dimodelkan di lokasi penelitian, sehingga untuk menyesuaikan model hidrograf tersebut dikombinasikan dengan 3 karakteristik DAS yang diduga berpengaruh terhadap waktu tercapainya debit puncak, yaitu S , L_b , dan W_r . Pemakaian parameter S didasarkan atas keterkaitan antara waktu pengaliran dengan kecepatan aliran. Semakin cepat aliran maka waktu pengaliran akan semakin singkat. Dengan kemiringan dasar saluran yang besar (curam) maka aliran akan lebih cepat. Untuk parameter L_b , penulis mengkaitkan dengan sumbu panjang DAS dimana turunnya hujan merupakan masukan utama dalam proses hidrologi maka parameter panjang DAS (sumbu panjang elips) yang menurut Melchior berpengaruh dalam perhitungan hujan rerata DAS dianggap cukup penting untuk mempengaruhi puncak suatu banjir. Untuk parameter W_r , dapat dinyatakan bahwa proses masuknya limpasan permukaan juga dimungkinkan berasal dari arah kiri dan kanan sungai. Parameter W_r yang merupakan jarak tempuh limpasan langsung akibat hujan dari arah melintang sungai dianggap cukup berpengaruh terhadap besaran waktu puncak.

Dari kombinasi parameter yang dikemukakan oleh Snyder dengan 3

parameter yang dinyatakan oleh penulis maka dihasilkan suatu model regresi terbaik untuk perkiraan waktu puncak seperti dituliskan dalam persamaan (24). Persamaan ini dapat juga dinyatakan dalam bentuk:

$$T_p = C_t' \cdot (L^{-9,3130} \cdot L_c^{1,3467})^{0,3} \quad (27)$$

dimana:

C_t' = fungsi dari karakteristik DAS (S , L_b , dan W_r) pada sungai-sungai di lokasi penelitian yang berpengaruh terhadap akurasi pemakaian model waktu puncak HSS Snyder

$$= \frac{0,2854 \times L_b^{2,6078} \times W_r^{0,3494}}{(\sqrt{S})^{0,6910}}$$

Faktor-faktor penting yang menentukan besarnya debit puncak untuk model HSS Snyder pada lokasi penelitian adalah A_i , L , dan K . Parameter tersebut dikombinasikan dengan parameter utama A dan T_p . Luas DAS (A) merupakan sifat DAS yang paling berpengaruh terhadap bentuk hidrograf. Hampir setiap peneliti memasukkan luas DAS ke dalam persamaan debit puncak hidrograf satuan sintetis yang ditelitinya. Model-model hidrograf yang ada dan dalam penggunaan telah diakui keandalannya (Nakayasu, US SCS, FSR, Gama I, dan lain-lain) pada persamaan Q_p selalu memuat parameter A dan T_p . Hasil analisis statistika menyatakan bahwa 2 parameter ini cukup signifikan terhadap terjadinya debit puncak.

Untuk menyesuaikan model debit puncak hidrograf satuan di lokasi penelitian, 2 parameter tersebut di atas, dikombinasikan dengan 3 karakteristik DAS yang diduga berpengaruh terhadap tercapainya debit puncak, yaitu A_i , L , dan keliling DAS yang merupakan penentu dari faktor bentuk DAS (K). Penentuan parameter A_i didasari dugaan bahwa bagian hilir dari DAS yang merupakan kawasan urban memberikan kontribusi limpasan yang lebih besar terhadap tercapainya debit puncak suatu banjir. Hipotesis ini juga diperkuat oleh

pernyataan Hoffmeister dan Weisman pada tahun 1977 (dalam Sri Harto, 1985) tentang pemakaian parameter L_c . Penggunaan parameter L didasari bahwa volume air yang mengalir melalui tempat pengukuran merupakan air yang dikuras dari suatu DAS (sungai sebagai *main drainage*). Pada model debit puncak peranan panjang sungai bukan sebagai variabel jarak tempuh sebagaimana disebutkan dalam model waktu puncak. Panjang sungai di sini berperan sebagai faktor pembawa (mengalirkan) volume air/banjir yang dikuras dari suatu DAS. Sementara itu, penggunaan parameter K sebagai penentu bentuk DAS berlandaskan bahwa bentuk suatu DAS akan mempengaruhi puncak suatu hidrograf banjir (Seyhan, 1990).

Dari kombinasi parameter yang dikemukakan oleh Snyder dengan 3 parameter yang dinyatakan oleh penulis maka dihasilkan suatu model regresi terbaik untuk perkiraan debit puncak seperti dituliskan dalam persamaan (25). Persamaan ini dapat juga dinyatakan dalam bentuk:

$$Q_p = C_p \cdot \left(\frac{A}{T_p^{1,6032}} \right)^{0,5194} \quad (28)$$

dimana:

C_p = fungsi dari karakteristik DAS (A_i , L , dan K) pada sungai-sungai di lokasi penelitian yang berpengaruh terhadap akurasi pemakaian model debit puncak HSS Snyder.

$$= \frac{0,0878 \times A_i^{0,5194} \times K^{0,8300}}{L^{0,8327}}$$

Faktor-faktor penting yang menentukan besarnya waktu dasar untuk model HSS Snyder pada DAS di lokasi penelitian adalah A , Q_p , dan L . Hasil pemilihan model waktu dasar terbaik menyerupai hasil penelitian Espey, Altman, dan Graves pada tahun 1977 (dalam Chow, et al, 1988) yang meneliti 41 DAS di Amerika Serikat dengan luas yang berkisar antara 0,014 sampai 15 mil² (rumus 13). Perbedaan persamaan

tersebut dengan persamaan ini adalah pada keberadaan parameter L .

Pada persamaan waktu dasar ini parameter L sebagai variabel jarak masih sangat dominan. Hal ini dikarenakan banjir terakhir yang tercatat di AWLR yang berasal dari DAS bagian hulu akan mengalami proses perjalanan sejauh L . Dasar pemikiran tersebut diperkuat dengan hasil penelitian Mulyantari (1993) pada sejumlah karakteristik sungai di wilayah Bengawan Solo, dimana unsur waktu dasar (T_b) dipengaruhi oleh panjang sungai.

Seperti dikemukakan pada tinjauan pustaka, Snyder membuat model untuk unsur-unsur hidrograf satuan yaitu debit puncak dan waktu yang diperlukan untuk mencapai debit puncak, dan waktu dasar. Dengan demikian dalam aplikasi untuk mendapatkan lengkung hidrografnya banyak dipergunakan rumus *Alexejev* seperti tertulis pada persamaan (5) sampai dengan (10). Selain itu adapula yang menggunakan persamaan titik bantu seperti yang tertulis pada persamaan (14) dan persamaan (15) serta tertera pada gambar 2. Kedua cara tersebut setelah dikaji dalam penelitian ini juga memberikan hasil yang kurang baik pada DAS di lokasi penelitian.

Sehubungan dengan permasalahan di atas, maka dalam penelitian ini persamaan titik bantu seperti tertera pada gambar 2 dimodifikasi sesuai dengan karakteristik DAS di lokasi penelitian. Mengacu dari perumusan yang dibuat oleh Snyder dan hasil penelitian Espey *et al.* maka persamaan W_{50} dan W_{75} untuk mendapatkan titik-titik bantu dalam penggambaran kurva disesuaikan di lokasi penelitian. Dengan karakteristik yang ada maka dihasilkan model terbaik:

$$W_{50} = 0,1054 \times A^{1,2291} \times Q_p^{-1,2268} \quad (29)$$

$$R^2 = 95,0 \%$$

$$W_{75} = 0,0809 \times A^{1,1281} \times Q_p^{-1,1429} \quad (30)$$

$$R^2 = 88,6 \%$$

Posisi titik-titik bantu yang diperoleh dari W_{50} dan W_{75} adalah berada pada $1/3W$ di depan T_p dan $2/3W$ di belakang T_p (sebagai absis). Berdasarkan persamaan (27), (28), (26), (29), dan (30) serta proses penggambaran dan penghalusan kurva menggunakan *software Microsoft Excel for Windows*, maka dapat digambarkan bentuk kurva hidrograf satuan sintetis yang dikembangkan di lokasi studi.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- a. Hasil pengembangan Model HSS Snyder untuk DAS di Jawa Timur adalah :

$$T_p = C_t' \cdot (L^{-9,3130} \cdot L_c^{1,3467})^{0,3}$$

$$C_t' = \frac{0,2854 \times L_b^{2,6078} \times W_r^{0,3494}}{(\sqrt{S})^{0,6910}}$$

$$Q_p = C_p' \cdot \left(\frac{A}{T_p^{1,6032}} \right)^{0,5194}$$

$$C_p' = \frac{0,0878 \times A_i^{0,5194} \times K^{0,8300}}{L^{0,8327}}$$

$$T_b = 2,7832 \cdot A^{0,3750} \cdot Q_p^{-0,5699} \cdot L^{0,4364}$$

- b. Keandalan dari model yang dihasilkan adalah :

- Pada tahap kalibrasi model
 - Ketelitian model $T_p = 96,90\%$
 - Ketelitian model $Q_p = 82,72\%$
 - Ketelitian model $T_b = 85,44\%$
- Pada tahap verifikasi model
 - Ketelitian model $T_p = 76,17\%$ (pada DAS Klero), $66,47\%$ (pada DAS Pekalen), dan $79,34\%$ (pada DAS Setail)
 - Ketelitian model $Q_p = 97,43\%$ (pada DAS Klero), $99,55\%$ (pada DAS Pekalen), dan $87,51\%$ (pada DAS Setail)
 - Ketelitian model $T_b = 77,70\%$ (pada DAS Klero), $93,84\%$ (pada DAS Pekalen), dan $75,23\%$ (pada DAS Setail)

2. Saran

Hasil penelitian ini diperoleh dari jumlah sampel yang kecil. Untuk lebih

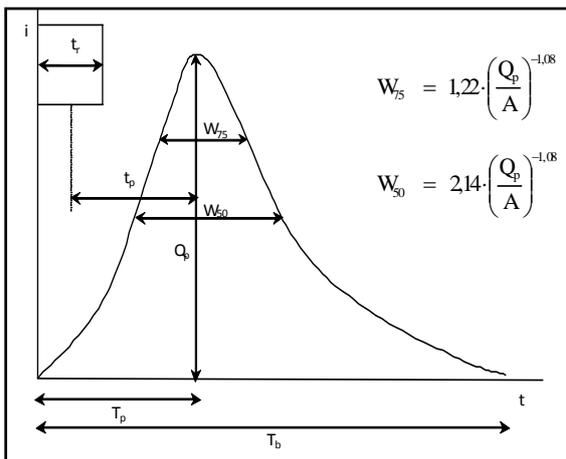
mendekati kondisi yang sebenarnya perlu dilakukan generalisasi pada lokasi-lokasi yang lebih luas dan verifikasi pada sejumlah lokasi lainnya. Disamping itu perlu dilakukan peningkatan hasil penelitian dengan menggunakan kuantitas data yang lebih banyak dan kualitas data yang lebih baik agar lebih mengakuratkan hasil penelitian yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

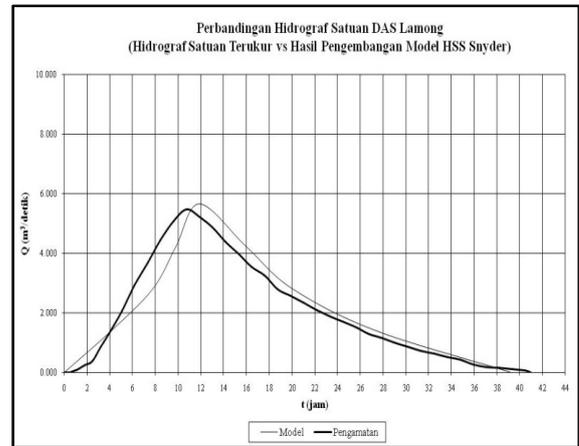
- Bedient, P. B. and W.C. Huber. (1992). *Hydrology and Floodplan Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company. USA.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. Mc Graw-Hill. Singapore.
- Farriansyah, A. M. (2000). *Model Hidrograf Satuan Sintetis HSSX di Pulau Lombok (Buletin Pusair No. 34 Th. IX, April 2000, ISSN 0852-5919)*. Puslitbang Pengairan. Bandung.
- Gray, D. M. (1970). *Hand Book On The Principles Of Hydrology*. Water Information Center, Inc. Canada.
- Mulyantari, F. (1993). *Modifikasi Hidrograf Satuan Sintetis Segitiga Untuk Small Watersheds di Wilayah Bengawan Solo (Jurnal Litbang Pengairan No. 26 Th. 7-Kw. IV 1993)*. Puslitbang Pengairan. Bandung.
- Mutreja, K.N. (1986). *Applied Hydrology*. Tata Mc Graw-Hill. New Delhi.
- Santoso, S. (2000). *Buku Latihan SPSS Statistik Parametrik*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Schulz, E.F. (1978). *Problems in Applied Hydrology*. Water Resources Publication. Colorado.
- Seyhan, E. (1990). *Dasar-dasar Hidrologi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Soemarto, C.D. (1986). *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Soemarto, C.D. (1995). *Hidrologi Teknik (Edisi ke-2)*. Erlangga. Jakarta.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi - Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid I*. Nova. Bandung.

- Soewarno. (1995). *Hidrologi - Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid II*. Nova. Bandung.
- Sri Harto. (1985). *Pengkajian Sifat Dasar Hidrograf-Satuan Sungai-sungai di Pulau Jawa Untuk Perkiraan Banjir*. Desertasi Program Doktor. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Sri Harto. (1993). *Analisis Hidrologi*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Subramanya, K. (1995). *Engineering Hydrology*. Tata Mc Graw-Hill. New Delhi.
- Wanielista, M., R. Kersten, and R. Eaglin. (1997). *Hydrology (Water Quantity and Quality Control)*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto.
- Wilson, E.M. (1993). *Hidrologi Teknik*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

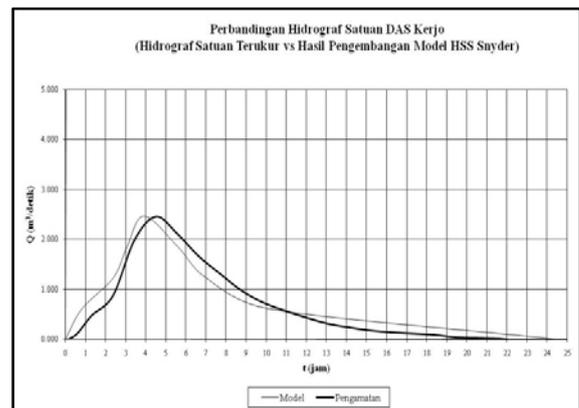
LAMPIRAN



Gambar 3. Bentuk Umum HSS Snyder (Chow, et al, 1988), (Bedient-Huber, 1992)



Gambar 4. Perbandingan Model dan Hidrograf Satuan Terukur di DAS Lamong (Kalibrasi Model)



Gambar 5. Perbandingan Model dan Hidrograf Satuan Terukur di DAS Kerjo (Verifikasi Model)