

KAJIAN VALIDITAS BERBAGAI METODE HIDROGRAF SATUAN SINTETIK DALAM APLIKASINYA UNTUK DAERAH ALIRAN SUNGAI TAK TERUKUR

Ariani Budi Safarina

Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jenderal Sudirman Cimahi 40532
Email: arianibudis@yahoo.com

Diterima: 2011; Disetujui: 2011

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis tiga belas DAS di pulau Jawa dengan luasnya berkisar dari 22 km² hingga 2666 km². Karakteristik DAS yang digunakan sebagai indikator adalah luas, panjang sungai utama dan bentuk. Hidrograf satuan observasi dibuat dengan metode konvolusi dan menggunakan data terukur curah hujan dari stasiun curah hujan yang berada di dalam DAS yang disimulasikan dengan data terukur muka air sungai di outletnya. Hidrograf satuan observasi dibandingkan dengan hidrograf satuan sintetik dari empat metode yaitu metode Snyder, metode SCS, metode Nakayasu dan metode Gama-1, menggunakan parameter pembandingan yang mencakup bentuk hidrograf dan ke tiga parameternya yaitu debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Snyder, SCS, Nakayasu dan Gama-1 masing masing memberikan nilai penyimpangan bentuk hidrograf dan debit puncak Q_p rata rata berturut turut 21% dan 36% , 116% dan 185%, 17% dan 4%, 32% dan 24%. Tiga metode, Snyder, SCS dan Nakayasu menunjukkan volume direct runoff sama dengan satu mm, kecuali metode Gama-1, sehingga perlu dikoreksi agar sesuai dengan prinsip dasar hidrograf satuan. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode sintetik yang tepat digunakan untuk DAS dengan rentang karakteristik yang cukup luas adalah metode Nakayasu.

Kata Kunci : Debit puncak, hidrograf satuan observasi, hidrograf satuan sintetik, konvolusi, waktu dasar, waktu puncak

ABSTRACT

In This study is had analyzed thirteen watersheds on the island of Java with wide ranges from 22 km² to 2666 km². Watershed characteristics as indicators are the area, the length of main rivers and the shape of the watershed. The Convolution method is used to determine the observation unit hydrograph using rainfall and water level data from automatic stations. This unit hydrograph is compared with four synthetic unit hydrograph methods namely Snyder, SCS, Nakayasu and Gama-1, using the comparison parameters of hydrograph shape and also hydrograph parameters i.e. peak discharge, peak time and time base. The results showed that the method of Snyder, SCS, Nakayasu and Gama-1 have an average deviation of hydrograph shape and peak discharge Q_p , consecutive 21% and 36%, 116% and 185%, 17% and 4%, 32% and 24%. Three methods, Snyder, SCS and Nakayasu show direct runoff volume equal to one mm, except the method of Gama-1, so that it has to be corrected to conform with the basic principles of unit hydrograph. Based on the result of this research, it is concluded that the Nakayasu method is more appropriate for watersheds having wide range characteristics.

Keyword: Convolution, Observation Unit Hydrograph, Peak Discharge, Peak Time, Synthetic Unit Hydrograph, Time Base

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki banyak daerah aliran sungai (DAS) dan tersebar di seluruh wilayah Nusantara termasuk di Pulau Jawa. Beberapa DAS yang sudah memiliki alat ukur telemetri adalah DAS Brantas, sebagian DAS Cimanuk, sebagian DAS Ciliwung, sebagian DAS Serayu, sebagian DAS di Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Probolo, DAS Progo, dan sebagian DAS Citarum. DAS yang lain terutama yang terletak di luar Pulau Jawa, tidak memiliki alat ukur (DAS

tak terukur), sehingga dalam analisis dibutuhkan suatu metode yang dapat mengatasi hal ini.

Hidrograf satuan sintetik merupakan model *rainfall runoff* suatu DAS yang diperoleh dari metode sintetik tanpa menggunakan data terukur. Data yang dibutuhkan dalam metode sintetik ini adalah karakteristik DAS seperti luas, panjang sungai utama, kemiringan dan lain-lain. Metode sintetik yang sering digunakan di Indonesia adalah metode Snyder (1938), Nakayasu (1941), Soil Conservation Services atau SCS (1972) dan Gama-1 (1985).

Dalam aplikasinya untuk menentukan hidrograf satuan suatu DAS, metode-metode tersebut memberikan hasil yang berbeda, sehingga sulit bagi pengguna untuk menentukan metode mana yang tepat untuk suatu DAS (Safarina AB, 2010). Berdasarkan hal ini perlu adanya suatu metode yang dapat mengisi kesenjangan antara teori yang berkembang dengan permasalahan di lapangan.

Dalam penelitian ini dianalisis tiga belas DAS terukur di Pulau Jawa yang luasnya bervariasi dari 22 km² hingga 2666 km². DAS ini dipilih karena dapat mewakili variasi karakteristik DAS dan merupakan DAS yang memiliki data terukur otomatis sehingga pencatatan dilakukan secara *real time*.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan batas Validitas metode hidrograf satuan sintetik Snyder, SCS, Nakayasu dan Gama-1 terhadap indikator karakteristik DAS yaitu luas, panjang sungai utama dan bentuk DAS.

Karakteristik DAS ditentukan dengan menggunakan peta digital hidrologi DAS dalam format sistem informasi geografis (SIG), sehingga hasil yang didapat lebih akurat. Data hidrologi yaitu data *event* curah hujan dan data muka air di outlet DAS yang dipakai adalah dalam interval jam jaman dan bukan data *artificial* yang dibangkitkan. Dari data tersebut ditentukan hidrograf satuan observasi dengan metode konvolusi, yang kemudian dibandingkan dengan hidrograf satuan sintetik dengan menggunakan parameter pembandingan yang merepresentasikan bentuk dan parameter hidrograf. Dengan demikian dapat ditentukan tingkat Validitas metode metode sintetik tersebut berdasarkan karakteristik DAS.

KAJIAN PUSTAKA

1 Karakteristik Daerah Aliran Sungai

Karakteristik fisik utama dari suatu DAS adalah luas, bentuk, elevasi, kemiringan, jenis tanah, jaringan saluran, kapasitas penampungan air dan tutupan lahan. Pengaruh jenis karakteristik tersebut berbeda-beda. Jenis tanah dapat mengontrol infiltrasi, tampungan air permukaan, dan air dalam tanah. Pengaruh yang dikombinasikan dari semua faktor adalah klasifikasi untuk DAS kecil dan DAS besar. Stefan Uhlenbrook (2004) dalam papernya mendefinisikan bahwa, sesuai luasnya, DAS dibagi menjadi DAS kecil ($A \leq 1 \text{ km}^2$), DAS sedang ($10 \text{ km}^2 < A \leq 1000 \text{ km}^2$) dan DAS besar ($A > 1000 \text{ km}^2$).

Pada DAS kecil, respon curah hujan didominasi oleh proses generasi limpasan dari hulu dan wilayah dekat sungai. DAS sedang merupakan kombinasi DAS kecil yang terintegrasi secara terpadu dengan cara yang kompleks. Pada

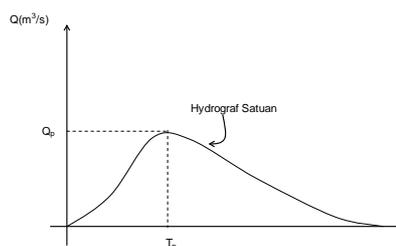
skala ini proses air di saluran (*runoff routing*, interaksi antara air tanah dan air permukaan) menunjukkan semakin penting dengan meningkatnya luas DAS. DAS besar menunjukkan distribusi curah hujan spasial dan temporal, dan *runoff routing* yang sangat dominan (Stefan Uhlenbrook, 2004).

2 Hidrograf Satuan

Unit hidrograf atau hidrograf satuan adalah unit pulsa yang merupakan fungsi respon dari sistem hidrologi linier, dan pertama kali dikeluarkan oleh Sherman(1938). Hidrograf satuan dari sebuah DAS didefinisikan sebagai hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan dari satu inch atau satu cm hujan efektif yang diturunkan secara seragam di setiap titik dalam DAS, pada kecepatan konstan dan durasi efektif.

Hidrograf satuan adalah model linier sederhana yang dapat digunakan untuk mendapatkan hidrograf yang dapat ditentukan dari setiap hujan efektif. Asumsi dasar yang digunakan dalam model linier ini adalah:

- 1 Hujan efektif mempunyai intensitas yang konstan selama durasi efektif.
- 2 Hujan efektif didistribusikan secara seragam di setiap titik dalam DAS.
- 3 Basis waktu hidrograf limpasan langsung dari suatu hujan efektif dengan durasi tertentu adalah konstan.
- 4 Ordinat hidrograf limpasan langsung dari sebuah aliran dasar sebanding dengan jumlah total hujan efektif untuk setiap hidrograf.
- 5 Untuk suatu DAS, hidrograf yang dihasilkan bagi setiap hujan efektif tertentu menggambarkan karakteristik DAS yang sama.



Gambar 1 Unit Hidrograf

3 Metode Konvolusi

Respon dari sistem linier dikarakterisasikan secara unik dengan fungsi respon impuls.

Suatu impuls, baik step maupun fungsi respon pulsa, didefinisikan mempunyai domain waktu kontinu. Jika domain waktu didiskritisasi dengan interval durasi Δt , maka terdapat dua cara untuk menggambarkan fungsi waktu kontinu dalam domain waktu diskrit, yaitu sistem data pulsa dan sistem data sampel. Sistem data pulsa

digunakan untuk presipitasi dan nilai dari fungsi input diskrit adalah:

$$P_m = \int_{(m-1)\Delta t}^{m\Delta t} I(\tau) dt \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

P_m adalah kedalaman presipitasi selama interval waktu (dalam inch atau centimeter). Sistem data sampel digunakan untuk aliran dan limpasan langsung, sehingga nilai dari output sistem pada waktu interval ke n ($t = n\Delta t$) adalah

$$Q_n = Q(n\Delta t) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Q_n adalah nilai sesaat dari aliran pada akhir interval waktu ke n (dalam cfs atau m^3/s). Dengan demikian variabel input dan output untuk sistem DAS dicatat dengan dimensi yang berbeda dan menggunakan representasi data diskrit yang berbeda pula. Pengaruh atas pulsa input dari durasi Δt dimulai pada waktu $(m-1)\Delta t$ dan output pada waktu $t = n\Delta t$ diukur dengan nilai fungsi respon unit pulsa $h[t-(m-1)\Delta t] = h[n\Delta t-(m-1)\Delta t] = h[(n-m+1)\Delta t]$, maka persamaan 2 menjadi

$$h[(n-m+1)\Delta t] = \frac{1}{\Delta t} \int_{(n-m)\Delta t}^{(n-m+1)\Delta t} u(l) dl \quad (3)$$

Dengan mendiskritkan integral konvolusi pada $t = n\Delta t$ dan mensubstitusikannya ke persamaan 3, maka didapat persamaan konvolusi dengan input P_m dalam pulsa dan output Q_n sebagai fungsi data sampel dari waktu :

$$Q_n = P_1 h[(n\Delta t)] + P_2 h[(n-1)\Delta t] + \dots + P_m h[(n-m+1)\Delta t] + \dots + P_M h[(n-M+1)\Delta t] \quad (4)$$

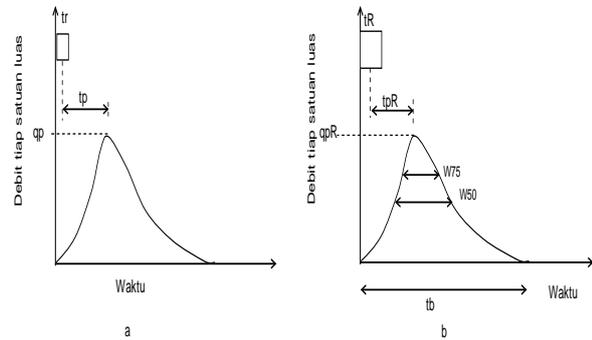
Fungsi respon pulsa kontinu $h(t)$ dapat direpresentasikan kedalam domain waktu diskrit sebagai fungsi data sampel U . Dengan demikian didapatkan persamaan konvolusi diskrit untuk sistem linier:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (5)$$

4 Hidrograf Satuan Sintetik Snyder (1938)

Snyder (1938), dari Chow (1988), melakukan studinya pada beberapa DAS di dataran tinggi Appalachian, United States, dengan variasi luas DAS antara 30 km^2 sampai dengan 30.000 km^2 . Dalam studinya ia menemukan hubungan sintetik untuk beberapa karakteristik dari hidrograf satuan standar. Dari hubungan-hubungan tersebut, lima karakteristik dari suatu hidrograf satuan yang akan dibuat untuk durasi

hujan efektif yang diberikan, dapat dihitung. Untuk sebuah hidrograf satuan standar,



Gambar 2 Hidrograf Satuan Sintetik dari Snyder. (a) Hidrograf Satuan Standar ($t_p=5,5t_r$). (b) Hidrograf satuan yang akan didesain ($t_{pR} \neq 5,5t_{rR}$)

1 *Time lag* (t_p) dari DAS adalah :

$$t_p = C_1 C_t (LL_c)^{0.3} \quad (6)$$

Dimana t_p dalam jam
 L panjang sungai utama (km)
 L_c jarak dari outlet ke titik pada sungai yang berdekatan dengan titik pusat DAS (km)
 $C_1 = 0,75$
 C_t koefisien yang diturunkan dari DAS yang mempunyai alat ukur di daerah yang sama

2 Debit puncak per satuan luas DAS dalam $m^3/s.km^2$ dari unit hidrograf standar adalah

$$q_p = \frac{C_2 C_p}{t_p} \quad (7)$$

Dimana $C_2 = 2,75$ (SI unit)
 C_p adalah koefisien yang diturunkan dari DAS yang mempunyai alat ukur di daerah yang sama
 Jika $t_{pR} \neq 5,5t_{rR}$, maka *time lag* menjadi

$$t_p = t_{pR} + \frac{t_r - t_{rR}}{4} \quad (8)$$

3 Hubungan antara q_p dan q_{pR} adalah

$$q_{pR} = \frac{q_p t_p}{t_{pR}} \quad (9)$$

4 Basis waktu t_b dalam jam

$$t_b = \frac{C_3}{q_{pR}} \quad (10)$$

Dimana $C_3 = 5,56$ (SI unit)

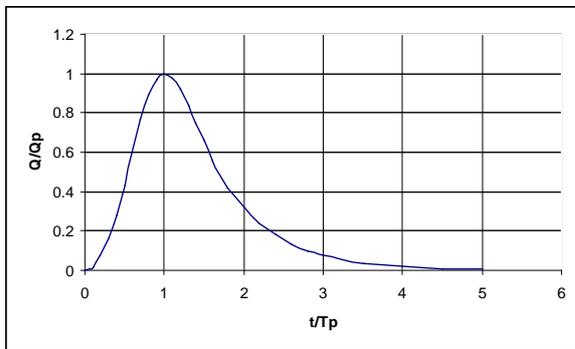
5 Lebar (W) yang menunjukkan waktu dalam jam :

$$W = C_w q_{pR}^{-1.08} \quad (11)$$

Dimana $C_w = 1,22$ (dalam SI unit) untuk lebar 75% dan 2,14 untuk lebar 50%

5 Hidrograf Satuan Sintetik SCS (1972)

Hidrograf satuan tak berdimensi dari SCS adalah hidrograf satuan sintetik dimana debit diekspresikan sebagai perbandingan q/q_p dan waktu t/T_p . Jika diketahui debit puncak dan *time lag* untuk suatu durasi hujan efektif, maka hidrograf satuan dapat diestimasi dari hidrograf satuan sintetik tak berdimensi dari suatu DAS. Gambar 3 berikut menunjukkan hidrograf tak berdimensi, yang dibuat dari beberapa hidrograf satuan dari DAS yang bervariasi. Nilai dari q_p dan T_p diestimasi menggunakan model sederhana hidrograf satuan segitiga seperti terlihat pada gambar, dimana waktu dalam jam dan debit dalam $m^3/s.cm$.



Gambar 3 Hidrograf Satuan Sintetik SCS

Dari penelaahan banyak unit hidrograf, SCS menyarankan waktu resesi adalah $1,67T_p$ dan persamaan untuk debit puncak:

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \tag{12}$$

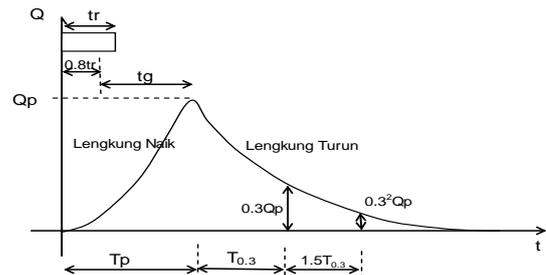
Dimana $C = 2.08$ (dalam SI Unit, $C = 483,4$ dalam satuan Inggris)
 $A =$ luas DAS dalam km^2

Selanjutnya studi mengenai hidrograf satuan dari berbagai DAS yang besar maupun yang kecil menunjukkan bahwa *time lag* $t_p = 0.6 T_c$, dimana T_c adalah waktu konsentrasi dari DAS. Adapun persamaan untuk waktu naik T_p adalah

$$T_p = \frac{T_r}{2} + t_p \tag{13}$$

6 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (1941)

Dr. Nakayasu (1941), dari Soemarto (1987), melakukan penelitian pada sungai-sungai di Jepang dan beliau menghasilkan sebuah hidrograf satuan sintetik dari hasil risetnya. Bentuk hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut.



Gambar 4 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Persamaan debit puncak Q_p dari Nakayasu adalah sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{CAR_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \tag{14}$$

Dimana

$Q_p =$ debit puncak banjir

$A =$ luas DAS (km^2)

$R_o =$ hujan satuan (mm)

$T_p =$ tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3} =$ waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

Bagian lengkung naik (rising limb) hidrograf satuan mempunyai persamaan,

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \tag{15}$$

Dimana

$Q_a =$ limpasan sebelum mencapai debit puncak (m^3/s)

$t =$ waktu

Bagian lengkung turun (decreasing limb),

$Q_d > 0,3 Q_p :$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \tag{16}$$

$0,3Q_p > Q_d > 0,3^2Q_p :$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}} \tag{17}$$

$0,3^2Q_p > Q_d :$

$$Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t-T_p+1,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}} \tag{18}$$

Tenggang waktu, : $T_p = t_g + 0,8 t_r$

Dimana untuk :

$$L < 15km \quad t_g = 0,21L^{0,7} \tag{20}$$

$$L > 15 \text{ km } t_g = 0,4 + 0,058L \quad (21)$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sd } 1 t_g \quad (22)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (23)$$

L = panjang alur sungai

T_g = waktu konsentrasi (jam)

Untuk daerah pengaliran biasa, $\alpha = 2$

Untuk bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat, $\alpha = 1,5$

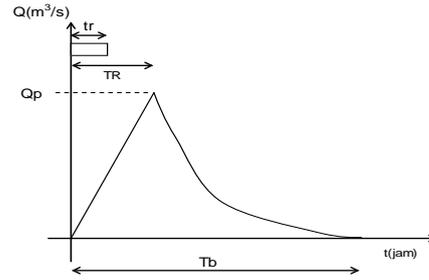
Untuk bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat $\alpha = 3$

7 Hidrograf Satuan Sintetik Gama-1

Hidrograf satuan sintetik Gama 1 dari Sri Harto (1985) ini adalah hasil riset dari 30 buah DAS di Pulau Jawa. Menurut Sri Harto, dari hasil risetnya tersebut didapat beberapa faktor penting DAS yang sangat berpengaruh terhadap hidrograf satuan suatu DAS. Sifat-sifat tersebut adalah :

- Faktor-sumber (source factor, SF) yaitu jumlah panjang semua sungai tingkat satu dibandingkan dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.
- Frekuensi-sumber (source frequency, SN) yaitu jumlah cabang sungai tingkat satu dibandingkan dengan seluruh cabang sungai.
- Faktor-lebar (Width factor, WF) adalah perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0.75 panjang sungai dari stasiun hidrometri, dengan lebar DAS yang diukur di titik di sungai yang berjarak 0,25 panjang sungai.
- Luas DAS sebelah hulu (upstream catchment area, RUA), yaitu luas relatif DAS di sebelah hulu garis yang ditarik melalui titik di sungai yang terdekat dengan titik berat DAS, tegak lurus garis hubung titik tersebut dengan stasiun hidrometri .
- Faktor simetri (symmetry factor, SIM) yaitu hasil kali antara faktor lebar (WF) dan luas DAS sebelah hulu (RUA). Faktor ini berfungsi untuk memberikan secara umum bentuk suatu DAS, dan ternyata mempunyai nilai khas sebesar 0,50. Apabila nilai SIM lebih besar dari 0,50 maka bentuk DAS umumnya lebar di sebelah hulu dan makin ke hilir makin menyempit. Sebaliknya, bila nilai SIM lebih kecil dari 0,50 bentuk DAS sedemikian rupa sehingga sempit di bagian hulu dan lebar di sebelah hilir.
- Jumlah pertemuan sungai (number of junction, JN) yaitu jumlah seluruh pertemuan sungai di dalam DAS

Hidrograf satuan sintetik Gama-1 beserta ke-empat sifat dasarnya adalah sebagai berikut:



Gambar 5 Hidrograf Satuan Sintetik Gama-1

- 1 Waktu naik (time of rise, TR), yaitu waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai saat terjadinya debit puncak. Persamaan untuk TR adalah

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,2775 \quad (24)$$

Dimana:

TR = waktu naik, dalam jam

L = panjang sungai, dalam km

SF = faktor sumber, tidak berdimensi

SIM = faktor simetri, tidak berdimensi.

- 2 Debit puncak (Peak discharge, QP). Persamaan untuk QP :

$$Q_t = QP e^{-t/K} \quad (25)$$

Dimana

Q_t = debit yang diukur pada jam ke t sesudah debit puncak, (m^3/s)

QP = debit puncak, (m^3/s)

t = waktu yang diukur dari saat terjadinya debit puncak, jam

K = koefisien tampungan, jam

$$QP = 0,1836A^{0,5886} JN^{0,2381} TR^{-0,4008} \quad (26)$$

Dimana JN = jumlah pertemuan sungai

- 3 Waktu dasar (Base time, TB) yaitu waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai berakhirnya limpasan-langsung atau debit sama dengan nol.

$$TB = 27,4132TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \quad (27)$$

TB dan TR dalam jam

- 4 Koefisien tampungan (storage coefficient, K), yang menunjukkan kemampuan DAS dalam fungsinya sebagai tampungan air.

$$K = 0,5617A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \quad (28)$$

Dimana

K = koefisien-tampungan, dalam jam

A = luas DAS, dalam km^2

S = landai sungai rata-rata, tidak berdimensi

SF = faktor-sumber, tidak berdimensi

D = kerapatan drainase, dalam km/km^2

8 Analisis Validasi

Balci (2004), mendefinisikan Verifikasi dan Validasi sebagai berikut:

Verifikasi model adalah pembenaran bahwa suatu model diubah dengan tepat dari suatu bentuk menjadi bentuk yang lain, sesuai dengan yang diinginkan. Verifikasi model membuat model menjadi benar (*building the model right*). Ketepatan dari perubahan formulasi masalah menjadi spesifikasi model atau perubahan dari *flowchart* menjadi program komputer yang dapat dieksekusi, dievaluasi dalam verifikasi.

Validasi model adalah pembenaran bahwa suatu model, di dalam domain aplikasinya, tepat dan konsisten dengan objektif dari Model dan Simulasi. Validasi model membuat kebenaran model (*building the right model*).

Pada penelitian ini metode sintetik divalidasi terhadap hidrograf satuan observasi dengan menggunakan parameter pembanding. Parameter pembanding terdiri dari pembanding bentuk hidrograf (*E*) dan *discrepanty ratio* (*d*) dari parameter hidrograf satuan yaitu debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar.

Besarnya Error dimaksudkan untuk mengukur sejauh mana kesamaan bentuk kurva hidrograf satuan sintetik dan observasi, yaitu dengan persamaan yang dikembangkan dari metode *Sum Square Error* sebagai berikut:

$$E = \frac{\sqrt{\frac{\sum (q_{obs} - q_{sin})^2}{N}}}{Q_{p_{obs}}} \quad (29)$$

Dimana :

q_{obs} Ordinat hidrograf satuan observasi (m^3/s)

q_{sin} Ordinat hidrograf satuan sintetik (m^3/s)

N Jumlah data

$Q_{p_{obs}}$ Debit Puncak hidrograf satuan observasi (m^3/s)

E error

Nilai E adalah lebih besar atau sama dengan nol. Semakin kecil E , kurva hidrograf satuan sintetik semakin baik, jika $E = 0$, maka kurva hidrograf satuan sintetik mempunyai bentuk yang tepat sama dengan hidrograf satuan observasi.

Discrepanty Ratio (Ang and Tang, 2007) dari Q_p , T_p dan T_b adalah perbandingan Q_p , T_p dan T_b hidrograf satuan sintetik terhadap hidrograf satuan observasi, yaitu:

$$d(Q_p) = \frac{Q_{p_{sin}}}{Q_{p_{obs}}} \quad (30)$$

$$d(T_p) = \frac{T_{p_{sin}}}{T_{p_{obs}}} \quad (31)$$

$$d(T_b) = \frac{T_{b_{sin}}}{T_{b_{obs}}} \quad (32)$$

Nilai $d(Q_p)$, $d(T_p)$ dan $d(T_b)$ adalah 0 sampai dengan 1. *Discrepanty ratio* semakin baik untuk

nilai mendekati 1. Jika *discrepanty ratio* sama dengan satu, maka nilai Q_p , T_p dan T_b hidrograf satuan sintetik tepat sama dengan hidrograf satuan observasi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Indikator karakteristik DAS lokasi penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Indikator Karakteristik DAS

No	Nama DAS	Luas (Km ²)	L (Km)	F=A/L ²
1	Citarum-Nanjung	1762.59	82.00	0.2621
2	Cisangkuy-Kamasan	203.38	34.00	0.1759
3	Ciliwung-Katulampa	151.00	23.00	0.2854
4	Cimanuk-Leuwidaun	450.68	42.00	0.2555
5	Cilutung-Damkamun	628.86	55.17	0.2066
6	Cokroyasan-Winong	131.00	65.17	0.0308
7	Bogowonto-Pungangan	347.00	51.29	0.1319
8	Serayu-Banyumas	2666.00	140.19	0.1357
9	Gajahwong-W onokromo	22.00	12.00	0.1528
10	Code-Koloran	58.63	33.27	0.0530
11	Winongo-Padokan	47.00	31.59	0.0471
12	Lesti-Tawangrejeni	440.00	27.36	0.5877
13	Brantas-Gadang	572.00	48.00	0.2483

Kata pertama pada nama DAS adalah nama sungai utamanya dan kata kedua adalah nama tempat stasiun muka air (AWLR).

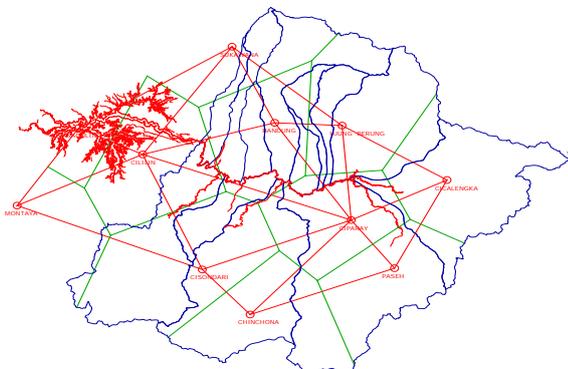
Data stasiun muka air (AWLR), stasiun hujan dan kejadian hujan yang digunakan pada tiap DAS, dicantumkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Stasiun AWLR dan Hujan Tiap DAS

No DAS	Sungai Utama	Stasiun Muka Air (AWLR)	Stasiun Hujan	Kejadian Hujan
1	Citarum	Nanjung	Cicalengka Paseh Chinchona Ciparay Bandung Cililin Ujung Berung Sukawarna Cisondari Montaya Sgl DAM	24/1-2002
2	Cisangkuy	Kamasan	Chincona Cisondari	25/11-2001
3	Ciliwung	Katulampa	Cilember	27/2-2005
4	Cimanuk	Leuwidaun	Bayongbong	22/2-2004
5	Cilutung	Damkamun	Sukahaji Talaga Sadawangi	27/10-2005
6	Cokroyasan	Winong	Sawangan	21/1-2007
7	Bogowonto	Pungangan	Bd. Penungkulan	13/3-2006
8	Serayu	Banyumas	Bungkanel Banjaranyar Arca	8/4-2008
9	Gajahwong	Wonokromo	Bedukan	20/2-2005
10	Code	Koloran	Gemawang	28/2-2005
11	Winongo	Padokan	Beran Gemawang	10/12-2005
12	Lesti	Tawangrejeni	Dampit	3/1-2006
13	Brantas	Gadang	Pujon Jabung Poncokusumo	29/1-2006

Curah hujan wilayah ditentukan dengan metode Thiessen untuk DAS Citarum-Nanjung dan

metode Aritmatik untuk DAS lainnya karena stasiun hujan yang ada tidak lebih dari tiga buah. Polygon Thiessen DAS Citarum-Nanjung ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 Polygon Thiessen DAS Citarum-Nanjung

Peta 13 DAS di atas dapat dilihat pada lampiran. Peta ini dibuat dalam format Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan kelengkapan kontur, jaringan sungai, stasiun muka air otomatis dan stasiun hujan otomatis.

Parameter hidrograf satuan observasi tiap DAS ditunjukkan pada Tabel 3. Hidrograf ini dibuat dengan metode konvolusi berdasarkan data kejadian hujan pada tanggal tertentu seperti ditunjukkan pada Tabel 2 di atas. Data curah hujan ini disimulasikan dengan data muka air di outlet DAS pada waktu yang sama dalam suatu model curah hujan-limpasan dengan metode konvolusi dimana curah hujan efektif diasumsikan sebagai suatu input dalam suatu model hidrologi linier DAS dan menghasilkan impuls output berupa ordinat hidrograf satuan dengan waktu diskrit, yang dalam hal ini menggunakan interval waktu diskrit Δt sama dengan 1 jam, diharapkan menghasilkan ordinat hidrograf yang representatif dengan kondisi sebenarnya.

Tabel 3 Parameter Hidrograf Satuan Observasi

No	Nama DAS	Qp (m ³ /s)	Tp (jam)	Tb (Jam)	Vol Direct Runoff (mm)
1	Citarum-Nanjung	47.11	14	17	0.99
2	Cisangkuy-Kamasan	5.50	5	22	1.00
3	Ciliwung-Katulampa	9.64	4	21	1.00
4	Cimanuk-Leuwidaun	19.94	3	20	1.00
5	Cilutung-Damkamun	14.11	5	30	1.00
6	Cokroyasan-Winong	6.81	2	26	1.00
7	Bogowonto-Pungangan	15.47	3	27	1.00
8	Serayu-Banyumas	50.98	6	30	1.00
9	Gajahwong-Wonokromo	1.52	2	19	1.00
10	Code-Koloran	4.17	2	19	1.00
11	Winongo-Padokan	2.50	4	37	1.00
12	Lesti-Tawangrejeni	25.34	4	19	1.00
13	Brantas-Gadang	29.59	3	20	1.00

Error (E) dan discrepanty ratio (d) untuk masing masing metode sintetik, ditunjukkan pada tabel-tabel berikut,

Tabel 4 Error (E) dan Discrepanty Ratio Metode Snyder

No	Name DAS	Snyder				
		ϵ_{snyd}	QP _{snyd} / QP _{obs}	TP _{snyd} / TP _{obs}	Tb _{snyd} / Tb _{obs}	Vol DRO (mm)
1	Citarum-Nanjung					
2	Cisangkuy-Kamasan	0.17	1.46	0.97	0.68	0.93
3	Ciliwung-Katulampa	0.13	0.89	0.87	0.47	0.92
4	Cimanuk-Leuwidaun					
5	Cilutung-Damkamun					
6	Cokroyasan-Winong					
7	Bogowonto-Pungangan					
8	Serayu-Banyumas					
9	Gajahwong-Wonokromo					
10	Code-Koloran					
11	Winongo-Padokan					
12	Lesti-Tawangrejeni	0.35	1.51	0.40	0.34	0.90
13	Brantas-Gadang	0.19	1.58	0.57	0.36	0.91
Rata-rata		0.21	1.36	0.70	0.46	0.91

Metode Snyder dianalisis di sub DAS berdasarkan data terukur DAS utama. Dari seluruh DAS dalam penelitian ini ada empat buah DAS yang mempunyai data terukur sub DAS.

Tabel 5 Error (E) dan Discrepanty Ratio Metode SCS

No	Nama DAS	SCS				
		ϵ_{snyd}	QP _{snyd} / QP _{obs}	TP _{snyd} / TP _{obs}	Tb _{snyd} / Tb _{obs}	Vol DRO (mm)
1	Citarum-Nanjung	0.72	2.06	0.54	1.11	1.01
2	Cisangkuy-Kamasan	3.11	6.11	0.25	0.29	1.01
3	Ciliwung-Katulampa	1.54	3.58	0.23	0.22	1.01
4	Cimanuk-Leuwidaun	1.56	3.20	0.49	0.45	1.01
5	Cilutung-Damkamun	0.70	2.51	0.74	0.62	1.01
6	Cokroyasan-W inong	0.37	1.60	1.25	0.48	1.01
7	Bogowonto-Pungangan	1.09	3.25	0.48	0.27	1.01
8	Serayu-Banyumas	0.34	0.52	3.47	3.47	1.01
9	Gajahwong-Wonokromo	1.48	3.50	0.37	0.20	1.01
10	Code-Koloran	1.03	2.68	0.55	0.29	1.01
11	W inongo-Padokan	0.71	1.96	0.50	0.27	1.01
12	Lesti-Tawangrejeni	1.59	3.60	0.25	0.26	1.01
13	Brantas-Gadang	0.80	2.45	0.55	0.44	1.01
Rata-rata		1.16	2.85	0.74	0.64	1.01

Parameter hidrograf satuan sintetik di atas diperoleh dari metode SCS original, tanpa dikalibrasi. Demikian juga dengan metode sintetik lainnya. Volume direct runoff (DRO) metode ini selalu 1.01 mm untuk setiap DAS. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk hidrograf tak berdimensi ini sangat rigid dan tidak dapat berubah. Karena itu, metode ini sangat sulit untuk dimodifikasi (Safarina AB, 2010), dan menunjukkan penyimpangan discrepanty ratio yang cukup besar (116%). Penyimpangan yang besar pada debit puncak yaitu rata-rata 185%, menunjukkan bahwa metode ini lebih tepat digunakan untuk perencanaan banjir.

Tabel 6 Error (E) dan Discrepanty Ratio Metode Nakayasu

No	Nama DAS	Nakayasu				
		E_{snyd}	QP_{snyd}/QP_{obs}	TP_{snyd}/TP_{obs}	Tb_{snyd}/Tb_{obs}	Vol DRO (mm)
1	Citarum-Nanjung	0.15	0.86	0.85	5.29	0.97
2	Cisangkuy-Kamasan	0.20	1.80	0.63	1.59	0.99
3	Ciliwung-Katulampa	0.22	1.03	0.63	1.19	1.06
4	Cimanuk-Leuwidaun	0.06	0.93	2.49	2.00	0.98
5	Cilutung-Damkamun	0.12	1.45	0.88	1.33	1.01
6	Cokroyasan-Winong	0.22	0.54	2.49	1.92	1.07
7	Bogowonto-Pungangan	0.14	0.78	1.39	1.85	1.01
8	Serayu-Banyumas	0.19	0.73	1.56	4.00	1.04
9	Gajahwong-Wonokromo	0.12	1.26	0.95	1.11	1.38
10	Code-Koloran	0.17	0.70	0.78	1.58	0.99
11	Winongo-Padokan	0.15	0.97	0.76	1.00	1.00
12	Lesti-Tawangrejeni	0.14	1.00	0.70	2.11	1.04
13	Brantas-Gadang	0.32	0.44	1.99	2.00	0.98
Rata-rata		0.17	0.96	1.14	2.07	1.04

Pada metode Nakayasu seperti terlihat pada tabel di atas, volume DRO bervariasi tetapi selalu mendekati atau sama dengan 1 mm. Fleksibilitas ini yang membuat metode ini dapat dimodifikasi untuk menghasilkan hidrograf satuan yang lebih akurat sesuai dengan karakteristik DAS.

Tabel 7 Error (E) dan Discrepanty Ratio Metode Gama-1

No	Nama DAS	Gama1				
		E_{snyd}	QP_{snyd}/QP_{obs}	TP_{snyd}/TP_{obs}	Tb_{snyd}/Tb_{obs}	Vol DRO (mm)
1	Citarum-Nanjung	1.45	0.29	12.04	719	1.28
2	Cisangkuy-Kamasan	0.21	1.57	0.47	82	1.18
3	Ciliwung-Katulampa	0.21	0.86	0.73	3 33	2.70
4	Cimanuk-Leuwidaun	0.24	0.96	1.02	1 82	2.96
5	Cilutung-Damkamun	0.24	1.27	1.51	3 33	1.91
6	Cokroyasan-Winong	0.12	0.92	3.17	54	1.36
7	Bogowonto-Pungangan	0.29	0.96	1.52	85	1.38
TR=356 jam						
9	Gajahwong-Wonokromo	0.15	0.56	0.83	1.32	0.73
10	Code-Koloran	0.55	0.38	6.46	2.25	0.93
11	Winongo-Padokan	0.17	0.90	0.54	1.08	1.24
12	Lesti-Tawangrejeni	0.14	0.30	0.59	3.16	0.74
13	Brantas-Gadang	0.08	0.17	2.70	3.00	0.59
Rata-rata		0.32	0.76	2.63	2.64	1.42

Volume DRO hidrograf satuan Gama-1 tidak sama dengan 1 mm sebagaimana konsep dasar hidrograf satuan, sehingga ada formulasi yang perlu dikoreksi agar volume DRO selalu sama dengan 1 mm. Selain itu untuk DAS Serayu-Banyumas dihasilkan waktu puncak (TR) yang sangat panjang yaitu 356 jam. Demikian juga untuk DAS Citarum-Nanjung discrepancy ratio waktu puncak, $d(Tp) = 12.04$.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Metode hidrograf satuan sintetik menghasilkan akurasi yang berbeda beda untuk setiap karakteristik DAS.

Metode Snyder memberikan nilai penyimpangan bentuk hidrograf rata-rata sebesar rata-rata 21% dan penyimpangan debit puncak sebesar rata-rata 36%.

Metode SCS memberikan nilai penyimpangan bentuk hidrograf rata-rata sebesar rata-rata 116% dan penyimpangan debit puncak sebesar rata-rata 185%.

Metode Nakayasu memberikan nilai penyimpangan bentuk hidrograf rata-rata sebesar rata-rata 17% dan penyimpangan debit puncak sebesar rata-rata 4%

Metode Gama-1 memberikan nilai penyimpangan bentuk hidrograf rata-rata sebesar rata-rata 32% dan penyimpangan debit puncak sebesar rata-rata 24%.

Metode Nakayasu memberikan penyimpangan rata-rata terkecil dari keempat metode yang dianalisis dalam rentang karakteristik DAS pada penelitian ini.

Metode Gama-1 memberikan volume DRO yang tidak sama dengan 1 mm sehingga perlu dikoreksi agar sesuai dengan konsep dasar hidrograf satuan.

Formulasi waktu puncak (TR) metode Gama-1 memberikan nilai yang sangat besar, sehingga persamaan TR pada metode ini perlu ditinjau kembali.

DAFTAR PUSTAKA

Balci, O. (2004): Quality Assessment, Verification, and Validation of Modeling and Simulation Applications, Winter Simulation Conference: 122-129.

Chow VT, Maidment, 1988, Mays Larry W., Applied Hidrologi, McGraw-Hill International Edition.

Das Ghanshyam, 2002, Hydrology and Soil Conservation Engineering, Prentice-Hall of India, New Delhi.

De Smelt Fdkk, 2000, CA Brebbia (ed), Risk Analysis II, WIT press Southampton, Boston: 295-304.

Gupta Ram S, 1989, Hydrology and Hydraulic System, Prentice Hall New Jersey.

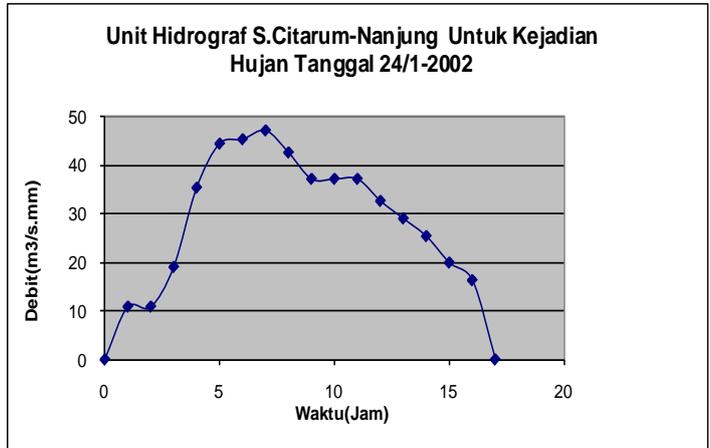
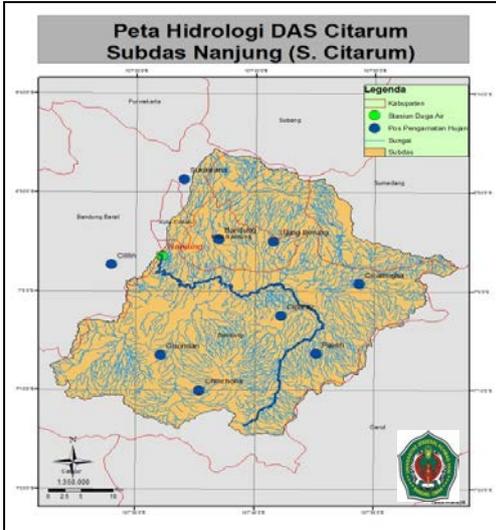
Gray, D.M., 1961: Interrelationships of watershed characteristics, J. Geophys. Res. 66.

Harto.S. (1985) : Pengkajian Sifat Dasar Hidrograf - Satuan Sungai Sungai di Pulau Jawa untuk Perkiraan Banjir, Disertasi Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, Indonesia.

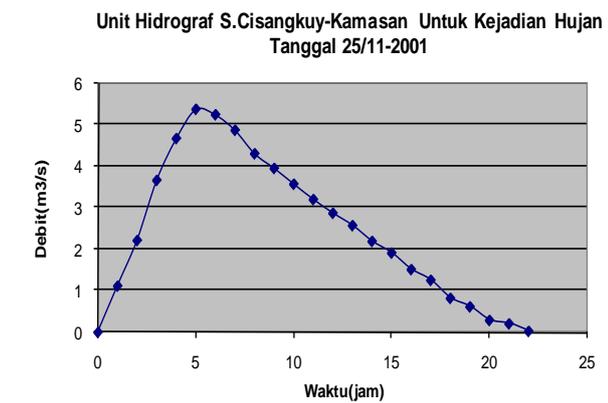
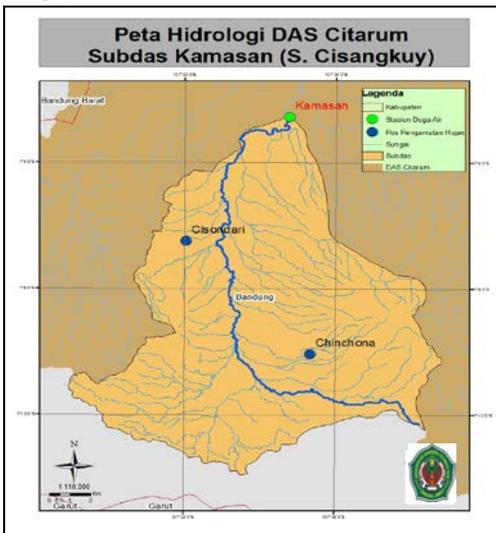
- Harto S. (1995) : A Very Simplified Method to Estimate Dependable Flow for Ungauge Catchment, Inter University Centre for Engineering Science, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia.
- Harto S. (1985) : Hidrograf Satuan Sintetik Gama 1, Badan Penerbit Pekerjaan Umum Departemen PU.
- Kottegoda N.T., and Rosso R. (1997): Statistics, Probability, and Reliability for Civil and Environmental Engineers, The McGraw-Hill, Singapore.
- Safarina A B (2010): Model Analisis Metode Hidrograf Satuan Sintetik Untuk Berbagai Karakteristik Daerah Aliran Sungai, Dissertasion, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Uhlenbrook Stefan, Stefan Roser, Nils Tilch. (2004) : Hydrological Process Representation at the Meso-scale : the Potential of a Distributed, Conceptual Catchment Model, Journal of Hydrology, Institut of Hydraulic Engineering, University of Stuttgart, Germany.

Lampiran : Peta DAS Lokasi Penelitian

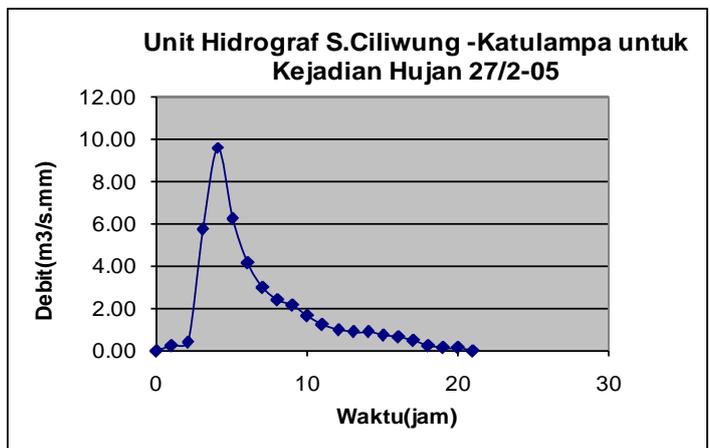
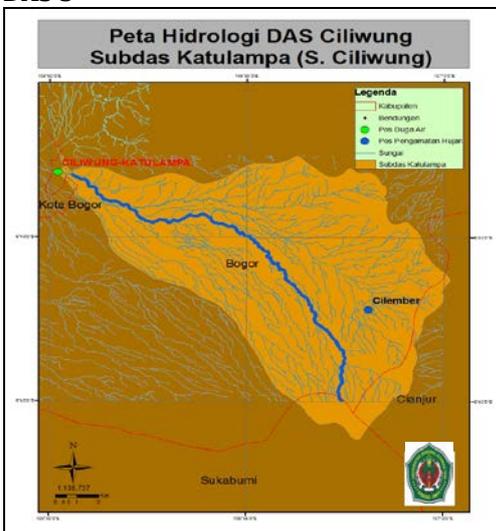
DAS 1



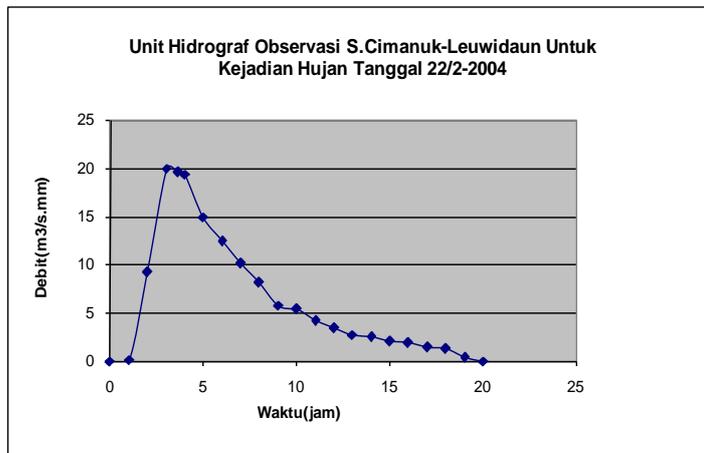
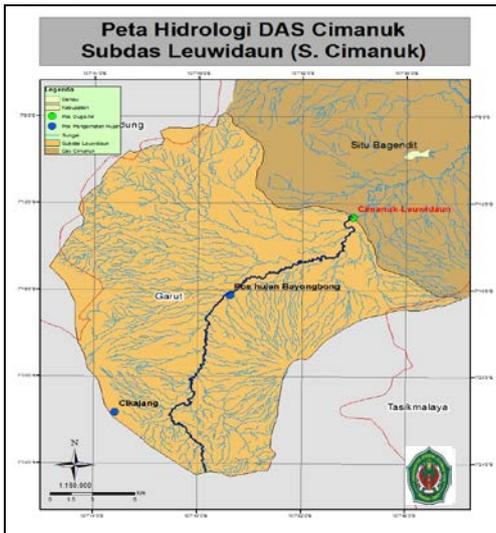
DAS 2



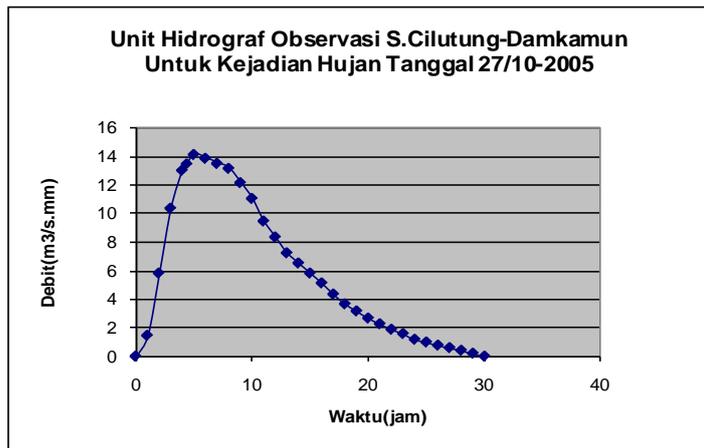
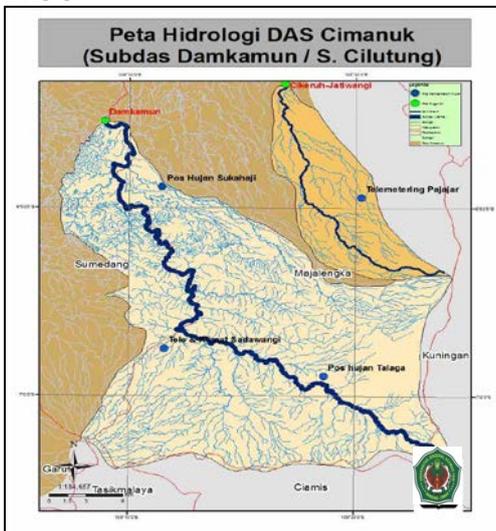
DAS 3



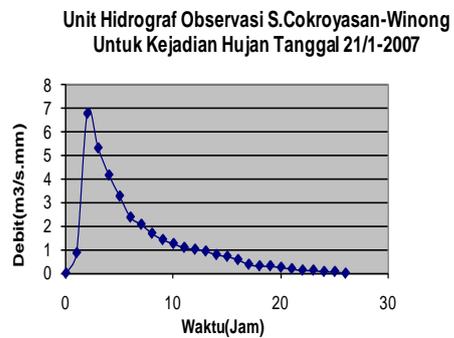
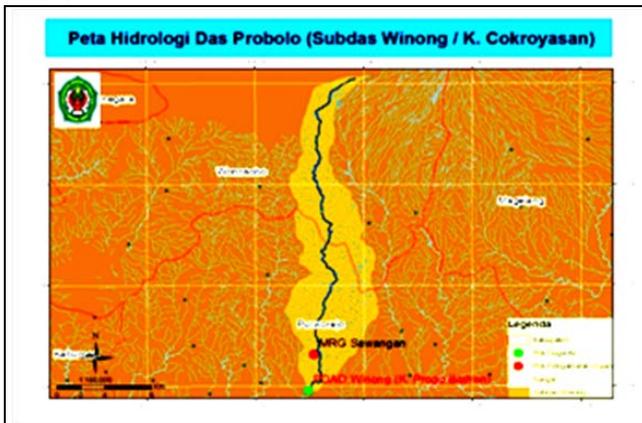
DAS 4



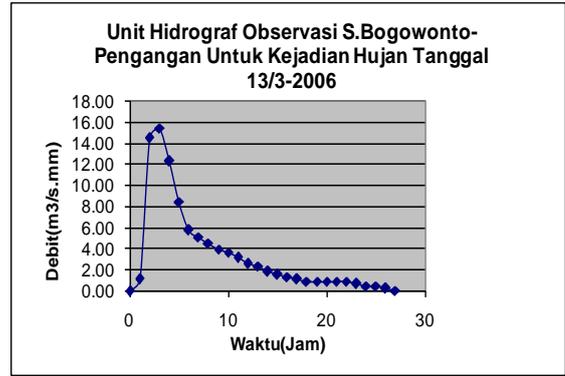
DAS 5



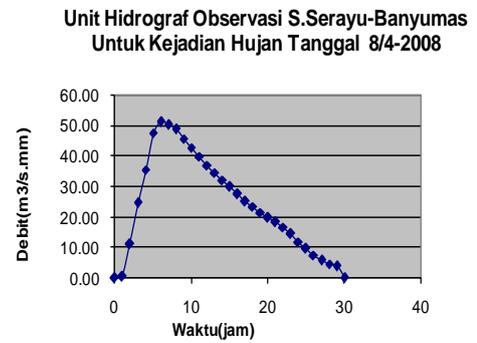
DAS 6



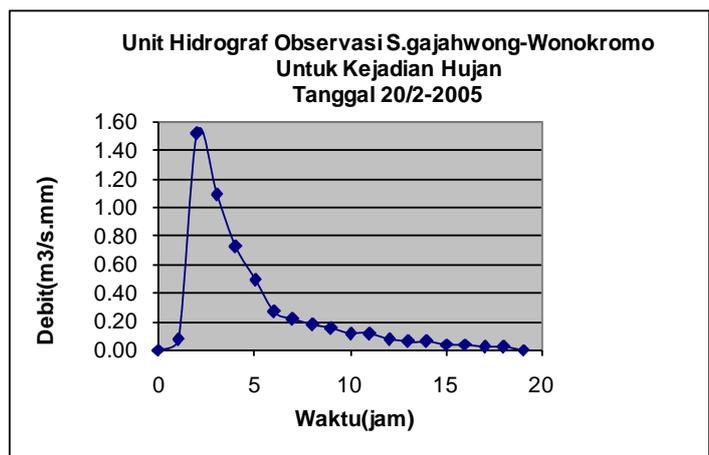
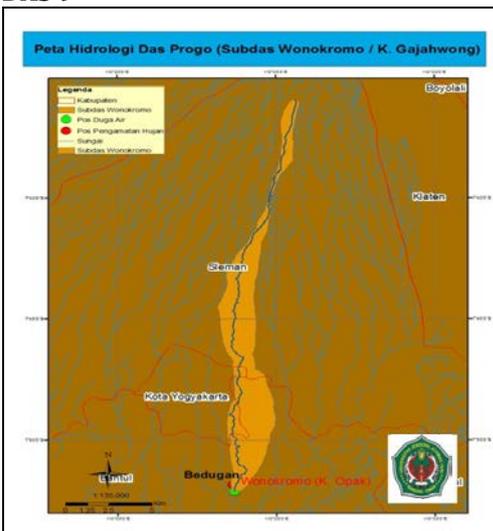
DAS 7



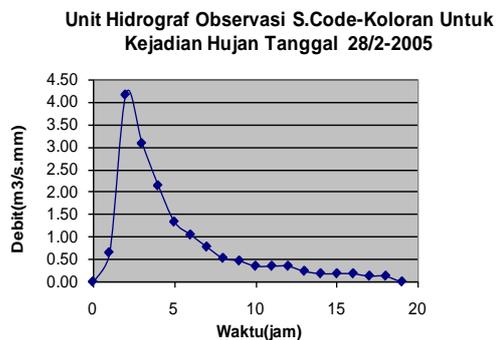
DAS 8



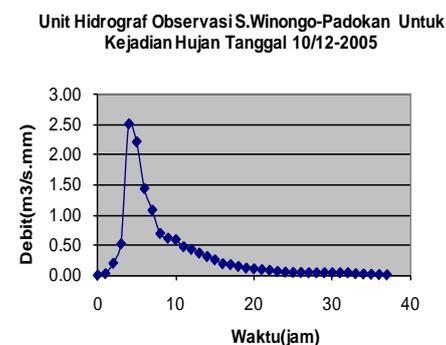
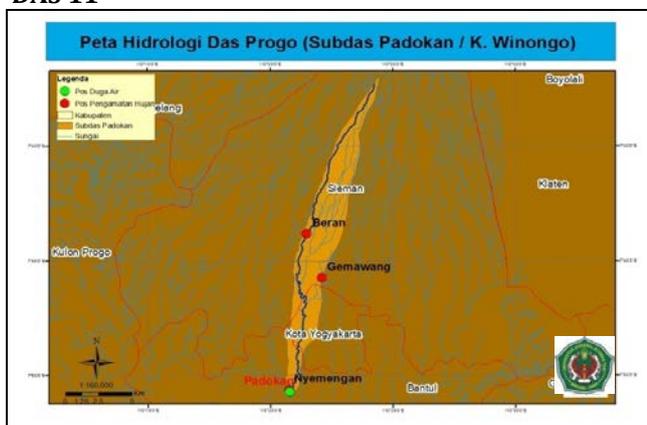
DAS 9



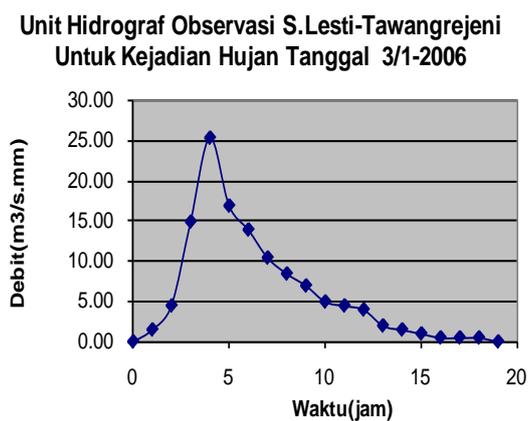
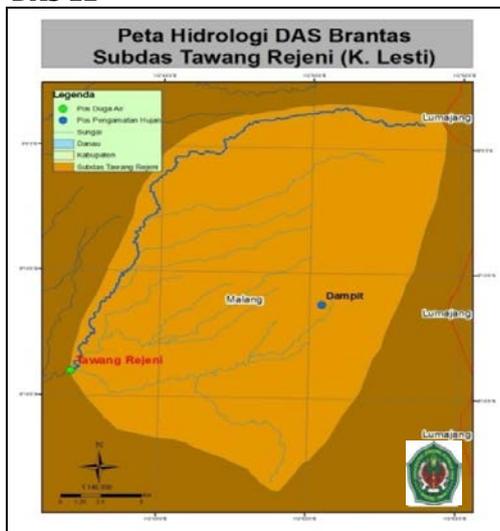
DAS 10



DAS 11



DAS 12



DAS 13

