

**KAJIAN UNJUK KERJA METODE
HIDROGRAF SATUAN SINTETIK UNTUK PENETAPAN BANJIR RANCANGAN
PADA DAS DI PULAU JAWA
(STUDI KASUS DAS CIMANUK HULU)**

*STUDY OF THE PERFORMANCE OF SYNTHETIC UNIT HYDROGRAPH METHODS
FOR CALCULATING FLOOD DESIGN
FOR PARTICULAR BASIN IN JAVA ISLAND*

Amaltia Gunawan
gunawan_unsoed@yahoo.com
Program Sarjana Teknik Unsoed Purwokerto

ABSTRACT

Recently, new methods for calculating unit hydrograph are growing fast. Therefore, an idea to compare each methods is necessary needed to ensure which method fits the most to the characteristic of a particular basin. These some Synthetic Unit Hydrograph (SUH) methods which are Nakayasu SUH, Snyder SUH (in HEC-HMS), and GAMA I SUH, compared with Unit Hydrograph calculation method Collins, which is based its formula on measured hydrograph data. By doing summary to the results, one conclusion is received that the hydrograph by Snyder SUH in HEC-HMS fits the most to the hydrograph by Collins. Results of this study is aimed to ensure the researchers that Snyder SUH in HEC-HMS can also be alternative to make some hydrograph analysis.

Keywords: Collins, unit hydrograph, synthetic

PENDAHULUAN

Dewasa ini begitu banyak metode yang digunakan untuk menganalisis hidrograf banjir. Metode tersebut berguna untuk menghitung debit banjir, baik untuk detail desain komponen bendungan misalnya bangunan pelimpah/*spillway*, saluran pengelak/*diversion tunnel*, tanggul banjir maupun desain komponen bangunan air lainnya. Dalam penerapannya, adalah penting untuk memilih metode-metode yang paling layak digunakan dalam analisis. Hal ini sebagai upaya agar analisis yang dilakukan lebih mendekati kebenaran dilapangan. Oleh karena itu, perlu diadakan suatu kajian terhadap metode-metode tersebut. Untuk dapat mengkaji keberlakuan dari suatu metode, maka diperlukan beberapa metode lain sebagai pembandingan.

Metode analisis hidrograf yang telah dikembangkan di Indonesia, diantaranya adalah hidrograf satuan sintetik GAMA I. Hasil penelitian terdahulu, hidrograf satuan sintetik GAMA I terbukti baik dalam memberikan analisis hidrograf banjir khususnya di pulau Jawa dan belakangan daerah lain di Indonesia. (Sri Harto, 2000). Sedangkan metode lain yang telah dikembangkan oleh peneliti-peneliti di luar negeri, diantaranya adalah hidrograf satuan sintetik Nakayasu, *HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre-Hydrologic Modelling System)*, dan metode penentuan hidrograf satuan menggunakan cara Collins. Daerah yang digunakan untuk penelitian adalah DAS Cimanuk, Jawa Barat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji keandalan dari model hidrograf satuan sintetik GAMA I, Hidrograf Satuan Nakayasu, *HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre - Hydrologic Modelling System)* yang dibandingkan dengan model perhitungan hidrograf satuan terukur metode Hidrograf Satuan Collins. Diharapkan penelitian ini bermanfaat bagi para peneliti dalam memberikan alternatif mengenai metode perhitungan hidrograf satuan yang paling cocok untuk perhitungan hidrograf satuan di Pulau Jawa.

Dalam penelitian ini, penyusun mengambil batasan-batasan untuk lebih mengarahkan pada masalah penelitian pengujian keandalan masing-masing metode dalam perhitungan hidrograf banjir. Batasan-batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut.

1. Data yang dipakai untuk penelitian adalah data sekunder.
2. Data Peta tata guna lahan berasal dari citra satelit dengan angka tahun yang mendekati angka tahun data debit dan hujan yang tersedia.

METODE PENELITIAN

A. Analisis Data Hujan

1. Uji Kelengkapan Data Hujan

Metode terpilih untuk melakukan uji kelengkapan data hujan adalah metode *Reciprocal*

Method. Cara ini dianggap lebih baik karena memanfaatkan jarak antar stasiun hujan sebagai faktor koreksi. Hal ini dapat dimengerti, karena korelasi antara dua stasiun hujan akan semakin kecil dengan makin besarnya jarak antar stasiun tersebut.

2. Uji Kepanggahan Data

Uji yang dilakukan untuk mendeteksi penyimpangan adalah metode *double mass analysis* yaitu dengan menggambarkan besaran kumulatif stasiun yang diuji dengan besaran hujan kumulatif rata-rata stasiun yang ada

3. Hujan Rata-rata DAS

Pengukuran yang dilakukan untuk memperoleh data hujan biasanya hanya pada satu tempat saja, sedangkan dalam analisis diperlukan data hujan rata-rata DAS. Untuk dapat memperoleh data hujan berupa rata-rata dari suatu DAS digunakan metode Poligon Thyssen, Cara ini dipandang lebih baik karena memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu dan luas tersebut merupakan faktor koreksi bagi hujan di stasiun yang bersangkutan Hujan di DAS didapat dengan persamaan 1 dan 2 berikut :

$$P_d = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot P_i \quad (1)$$

$$\alpha_i = \frac{L_i}{L}$$

dengan :

- P_d = hujan rata-rata DAS (mm),
- P_i = hujan masing-masing setiap stasiun (mm),
- α_i = faktor bobot stasiun,
- L_i = luas masing-masing poligon Thiessen (km²),
- L = luas DAS (km²).

B. Analisis Hidrograf Banjir

Banjir merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi, sehingga perlu untuk mengetahui besarnya. Untuk itulah, maka dilakukan pendekatan-pendekatan perhitungan analisis hidrograf banjir. Diantaranya adalah hidrograf satuan sintetik yaitu GAMA I dan Nakayasu, hidrograf banjir model dari *HEC-HMS* dan hidrograf satuan Collins.

Dalam analisis hidrograf satuan sintetik GAMA I dan Nakayasu diperlukan data berupa parameter DAS. Sedangkan analisis hidrograf dengan hidrograf satuan Collins dan model *HEC-HMS* selain diperlukan parameter DAS, juga diperlukan data pencatatan perubahan tinggi muka

air dari sungai setiap jam. Dari hasil pencatatan muka air tersebut, maka terbentuklah hidrograf debit (*discharge hidrograf*) dengan mengubah data tinggi muka air menjadi debit dengan persamaan liku kalibrasi (*rating curve*). Selain itu, diperlukan pula data hujan jam-jaman sesuai dengan kejadian yang digambarkan dalam hidrograf aliran.

Berikut ini adalah uraian mengenai beberapa metode untuk menganalisis hidrograf banjir.

1. Hidrograf satuan cara Collins

Dalam Sri Harto (2000), diuraikan mengenai urutan perhitungan hidrograf satuan cara Collins. Dijelaskan bahwa untuk mendapatkan sebuah hidrograf satuan terpilih dari cara Collins ini, diperlukan beberapa urutan langkah perhitungan. Urutan langkah perhitungan tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Pilih kasus hujan atau rekaman *AWLR* (hidrograf tinggi muka air tunggal yang terkait. Lalu tetapkan hidrografnya dengan menggunakan liku kalibrasi yang berlaku.
- b. Hidrograf limpasan langsung diperoleh dengan memisahkan aliran dasar dari hidrograf tersebut. Kemudian menetapkan hujan efektif dengan indeks phi (ϕ *index*), sehingga volume hujan yang diinginkan sama dengan volume hidrograf limpasan langsung.
- c. Menetapkan hidrograf satuan hipotetik dengan ordinat-ordinatnya, penetapan ini dilakukan dengan memasukkan sembarang nilai dengan memperhatikan ordinat *base time* (waktu dasar) melalui rumusan sebagai berikut:

$$n = n_q - n_p + 1$$

dengan :

n = jumlah ordinat untuk waktu dasar,

n_p = jumlah ordinat debit terukur jam-jaman,

n_q = jumlah ordinat hujan jam-jaman.

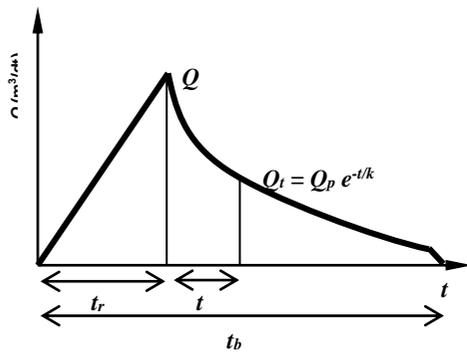
- d. Semua hujan yang terjadi, kecuali hujan yang maksimum ditransformasikan dengan hidrograf satuan hipotetik sehingga diperoleh sebuah hidrograf baru.
- e. Apabila hidrograf terukur dikurangi oleh hidrograf yang diperoleh pada butir (d), maka yang akan diperoleh adalah hidrograf yang ditimbulkan oleh hujan

maksimum. Dengan demikian hidrograf satuan 1 mm/jam baru dapat diperoleh dengan membagi semua ordinat hidrograf ini dengan intensitas hujan maksimum. Hidrograf satuan yang diperoleh terakhir ini dibandingkan dengan hidrograf satuan hipotetik pada butir (c). Jika perbedaannya cukup besar dari patokan yang telah ditetapkan, maka butir (c) diulangi lagi dengan menggunakan hidrograf satuan yang diperoleh dari butir (e).

- f. Lakukan prosedur ini berulang-ulang sehingga diperoleh sebuah hidrograf satuan yang tidak berbeda banyak dari yang ditetapkan.

2. Hidrograf satuan sintetik GAMA I (HSS GAMA I)

Metode hidrograf satuan sintetik GAMA I digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hidrograf satuan sintetik GAMA I (Sumber : Sri Harto, 2000).

Sisi naik merupakan garis lurus, sedangkan sisi resesi merupakan liku eksponensial sesuai dengan Persamaan 4.

$$Q_t = Q_p \cdot e^{-\left(\frac{t}{k}\right)} \dots\dots\dots(4)$$

- dengan :
- Q_t = debit pada jam ke-t (m^3/dt),
 - Q_p = debit puncak (m^3/dt),
 - t = waktu dari saat terjadinya debit puncak (jam),
 - k = koefisien tumpangan (jam).

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam hidrograf satuan sintetik (HSS) GAMA I adalah sebagai berikut:

a. Waktu puncak HSS GAMA I (t_r),

$$t_r = 0,430 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665 \cdot SIM + 1,2775 \quad (5)$$

b. Debit puncak banjir (Q_p),

$$Q_p = 0,1836 \cdot A^{0,5886} \cdot TR^{-0,4008} \cdot JN^{0,2381} \quad (6)$$

c. Waktu dasar (t_b),

$$t_b = 27,4132 \cdot TR^{0,1457} \cdot S^{-0,00986} \cdot SN^{-0,7344} \cdot RUA^{0,2574} \dots\dots\dots(7)$$

d. Koefisien resesi (k)

$$k = 0,5617 \cdot A^{0,1798} \cdot S^{-0,1446} \cdot SF^{-1,0897} \cdot D^{0,0452} \dots\dots\dots(8)$$

e. Aliran dasar (Q_b)

$$Q_b = 0,4715 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430} \dots\dots\dots(9)$$

dengan:

- A = luas DAS (km^2),
- L = panjang sungai utama (km),
- S = kemiringan dasar sungai,
- SF = faktor sumber,
- SN = frekuensi sumber,,
- WF = faktor lebar,
- JN = jumlah pertemuan sungai,
- RUA = luas DAS sebelah hulu,
- SIM = faktor simetri,
- D = kerapatan jaringan kuras,

Penggunaan rumus ini memperhatikan indeks infiltrasi (ϕ indeks). Indeks infiltrasi merupakan anggapan bahwa tidak semua air hujan melimpas di atas permukaan, akan tetapi terdapat sebagian air yang menyerap/terinfiltrasi ke dalam tanah. Besaran indeks infiltrasi dapat dihitung dengan rumus berikut ini.

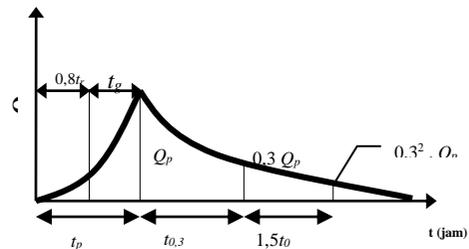
$$\Phi \text{ index} = 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6895 \cdot 10^{-13} \cdot \left(\frac{A}{SN} \right)^4 \quad (10)$$

dengan : ϕ indeks = indeks infiltrasi (mm/jam),

- A = luas DAS (km^2),
- SN = perbandingan antara jumlah sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah sungai-sungai semua tingkat.

3. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu (HSS Nakayasu)

Hidrograf satuan sintetik Nakayasu digambarkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu. (Sumber : Chow, 1988).

Rumus-rumus yang digunakan antara lain:

- a. Debit Puncak Banjir

$$Q_p = \left(\frac{1}{3,6} \right) \cdot \left(\frac{A \cdot R_e}{0,3 t_p + t_{0,3}} \right) \dots\dots(11)$$

$$t_p = t_g + (0,8 t_r) \times 0,75 \dots\dots\dots(12)$$

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

$$= 0,21 L^{0,7} \dots\dots \text{ untuk } L < 15 \text{ km}.$$

$$t_{0,3} = \alpha \cdot t_g \dots\dots\dots(14)$$

$$\alpha = \frac{(0,47 \cdot (A \cdot L)^{0,25})}{t_g} \dots\dots\dots(15)$$

dengan :

- Q_p = debit puncak banjir (m³/det),
- A = luas daerah pengaliran sungai (km²),
- R_e = curah hujan efektif (mm),
- t_p = waktu dari permulaan banjir sampai puncak banjir (jam),
- $t_{0,3}$ = waktu dari puncak banjir sampai 0,3 x debit puncak banjir (jam),
- t_g = lag time dalam daerah pengaliran sungai (jam),
- t_r = satuan waktu dari curah hujan (jam),
- α = koefisien karakteristik DAS,
- L = panjang sungai utama (km).

b. Hidrograf Satuan

1. Pada kurva naik ($0 < t < t_p$)

$$Q_t = Q_p \times \frac{t^{2,4}}{t_p} \dots\dots\dots(16)$$

2. Pada kurva turun ($t_p < t < t_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \left(\frac{t - t_p}{t_{0,3}} \right) \dots\dots\dots(17)$$

3. Pada kurva turun ($t_{0,3} < t < t_{0,3}^2$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3 \left(\frac{(t - t_p) + (0,5 \times t_{0,3})}{1,5 \times t_{0,3}} \right) \dots\dots\dots(18)$$

4. Pada kurva turun ($t > t_{0,3}^2$)

$$Q_y = Q_p \times 0,3 \left(\frac{(t - t_p) + (1,5 \times t_{0,3})}{2 t_{0,3}} \right) \dots\dots\dots(19)$$

4. Pemodelan hidrograf banjir dengan HEC-HMS

Model HEC-HMS adalah program komputer dari US Army Corp of Engineering yang dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Center (HEC). Program ini digunakan dalam mensimulasikan hujan-aliran dan proses routing.

Mengacu pada Technical Reference Manual Hydrologic Modelling System HEC-HMS (2000), akan dibahas mengenai komponen-komponen yang digunakan dalam simulasi

precipitation-runoff-routing dalam HEC-HMS adalah sebagai berikut:

- a. Model Hujan terpilih adalah user hyetograph,
- b. Loss models yang dapat diperkirakan dari volume runoff, metode terpilih adalah Snyder,
- c. Direct runoff yang dihitung untuk aliran limpasan, simpanan, dan energi kehilangan, metode terpilih adalah SCS Curve Number,
- d. Hydrologic routing models, metode terpilih adalah Muskingum,
- e. Kalibrasi yang dapat memperkirakan parameter model dan kondisi awal (initial condition).

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data ntuk Perhitungan Hidrograf Satuan
1. Hujan DAS

Data berupa hujan jam-jaman yang terkumpul, dipilih kejadian hujan menerus dengan durasi yang sama dan tingkat kejadian paling sering terjadi. Hasil yang diperoleh adalah hujan menerus yang berdurasi 4 jam yang paling sering terjadi, lalu didistribusikan dengan kala ulang hujan yang telah ditentukan. Berikut ini disajikan distribusi hujan untuk kala ulang tertentu seperti pada tabel 1.

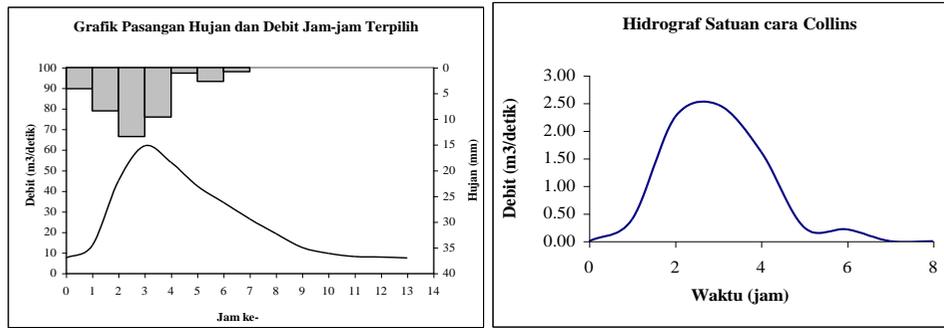
Tabel 1. Distribusi hujan jam-jaman kala ulang terpilih

Jam ke-	Distribusi (%)	Hujan jam-jaman (mm) pada kala ulang (tahun)					
		5	10	25	50	100	500
1	15,7	11,3	12,5	13,9	14,9	15,9	18,0
2	28,3	20,3	22,5	25,0	26,8	28,6	32,5
3	32,3	23,1	25,6	28,5	30,6	32,6	37,0
4	23,6	16,9	18,7	20,9	22,4	23,8	27,1
Jumlah (mm)		71,6	79,3	88,3	94,7	100,9	114,6

Unjuk Kerja Hasil Hitungan Hidrograf Banjir Rancangan

a. Hidrograf satuan cara Collins

Perhitungan hidrograf ini dapat dilakukan apabila tersedia data berupa pasangan hujan dan debit dalam waktu yang sama. Gambar 3 merupakan data pasangan hujan dan debit yang terpilih tertanggal 16 januari 1997 dengan jam ke-0 adalah pukul 06.00 dan jam terakhir pengamatan adalah 19.00. Data tersebut digunakan untuk menghitung hidrograf satuan dengan cara Collins.



Gambar 3. Grafik pasangan hujan dan debit jam-jaman terpilih dan Hidrograf Satuan cara Collins.

b. Hidrograf Satuan Sintetik

Berdasarkan parameter DAS yang telah dikaji secara rinci, maka hidrograf satuan sintetik GAMA I, HSS Nakayasu dan HSS hasil simulasi heC-HMS dapat dihitung.

Hidrograf satuan cara Collins digunakan sebagai acuan kesahihan karena perhitungan Hidrograf Satuan ini menggunakan data

karakteristik DAS dan data hujan dan debit terukur. Selanjutnya akan dilakukan perbandingan dari ketiga metode perhitungan hidrograf lainnya terhadap hidrograf satuan cara Collins. Dalam Tabel 2 disajikan hasil perbandingan ketiga hidrograf satuan sintetik terhadap hidrograf satuan cara Collins, ditinjau dari kesalahan relatif debit spesifik di DAS.

Tabel 2. Perbandingan Debit Spesifik

Kala Ulang (tahun)	Collins	GAMA I		NAKAYASU		HEC - HMS	
	Debit Spesifik (m ³ /detik/km ²)	Debit Spesifik (m ³ /detik/km ²)	Kesalahan Relatif (%)	Debit Spesifik (m ³ /detik/km ²)	Kesalahan Relatif (%)	Debit Spesifik (m ³ /detik/km ²)	Kesalahan Relatif (%)
5	5,0	1,3	75,1	1,5	69,4	4,1	19,3
10	5,6	1,5	72,9	1,8	67,0	4,5	19,4
25	6,2	1,8	70,8	2,2	64,7	5,0	19,1
50	6,7	2,0	69,5	2,4	63,4	5,4	19,2
100	7,1	2,2	68,5	2,7	62,3	5,7	19,2
500	8,1	2,7	66,5	3,2	60,2	6,5	19,1

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 2., dapat diketahui bahwa metode HEC-HMS merupakan yang paling mendekati dengan metode tinjauan yaitu Collins.

Selanjutnya, jika diamati perolehan dari waktu puncak yang terjadi pada Tabel 3 dan

Gambar 4, HEC-HMS tidak lagi memberikan hasil yang mendekati seperti saat analisis debit spesifik. Untuk perbandingan ini hidrograf satuan sintetik GAMA I yang lebih mendekati

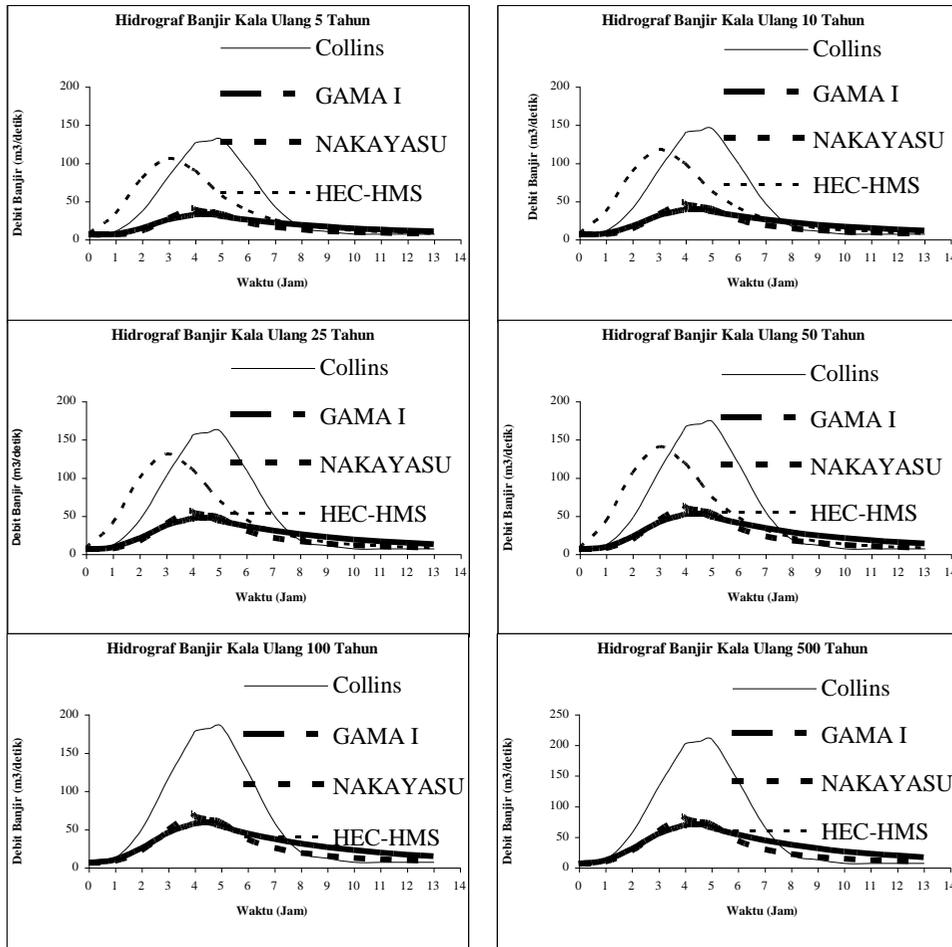
Tabel 3. Perbandingan Waktu Puncak

Kala Ulang (tahun)	Collins	GAMA I		NAKAYASU		HEC - HMS	
	Waktu Puncak (jam)	Waktu Puncak (jam)	Kesalahan Relatif (%)	Waktu puncak (jam)	Kesalahan Relatif (%)	Waktu Puncak (jam)	Kesalahan Relatif (%)
5	5	4.56	8.8	3.88	22.3	3	40
10	5	4.56	8.8	3.88	22.3	3	40
25	5	4.56	8.8	3.88	22.3	3	40
50	5	4.56	8.8	3.88	22.3	3	40
100	5	4.56	8.8	3.88	22.3	3	40
500	5	4.56	8.8	3.88	22.3	3	40

Hal ini bisa saja terjadi. Untuk debit puncak banjir HEC-HMS lebih mendekati, disebabkan penggunaan data analisis yang sama dan pada waktu puncak sedikit bergeser hal ini bisa disebabkan oleh pengaruh distribusi hujan yang diambil hanya berdurasi pendek dan pada saat pengkalibrasian. Dari kedua jenis perbandingan diatas, dapat diuraikan kembali hasil analisis hidrograf satuan sintetik yang mendekati dengan analisis hidrograf satuan Collins. Untuk perhitungan kesalahan relatif debit spesifik rata-

rata dapat diurutkan perolehan kesalahan relatif yang paling mendekati dan paling jauh menyimpang adalah sebagai berikut : HEC-HMS yaitu 19,2 %, HSS Nakayasu yaitu 63,8 % dan HSS GAMA I yaitu 69,9 %. Sedangkan hasil yang diperoleh pada perbandingan relatif berdasarkan waktu puncak reratanya, HSS GAMA I yaitu 8,8%, HSS Nakayasu yaitu 22,3 % dan HEC-HMS 40 %.

Pada Gambar 4 disajikan kumpulan grafik hidrograf banjir berbagai kala ulang dari setiap metode yang dianalisis.



Gambar 4. Grafik Hidrograf Banjir berbagai kala ulang untuk semua metode.

Dari hidrograf banjir untuk beberapa kala ulang pada Gambar 4 di atas, dapat diamati bahwa perhitungan hidrograf banjir dengan metode HEC-HMS adalah yang paling mendekati metode Collins. Akan tetapi perlu dilakukan beberapa kajian kembali terhadap hidrograf satuan yang diperoleh, karena hasil penelitian terdahulu HSS GAMA I memberi hasil yang baik terhadap kasus di DAS Cinamuk, Jawa Barat (Sri Harto, 2000).

Berdasarkan pengalaman yang diperoleh selama penelitian ini, untuk dapat melakukan penelitian ini secara lebih akurat diperlukan data hujan, debit dan parameter DAS yang lengkap. Dalam perhitungan hidrograf satuan cara Collins, hendaknya dipilih data hujan dan debit berdurasi panjang yaitu diatas 24 jam. Dan memerlukan besaran hujan yang sesuai dengan debit yaitu

apabila hujan maksimum terjadi pada jam ke-i maka debit banjir terjadi setelah jam ke-i.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, untuk beberapa kasus penelitian DAS di Pulau Jawa membuktikan bahwa, dengan hidrograf satuan sintetik GAMA I cocok digunakan dalam perhitungan hidrograf banjir. Akan tetapi, dalam kasus penelitian ini, HSS GAMA I justru memberikan hasil yang kurang memuaskan. Hal ini perlu diadakan tinjauan kembali untuk penelitian-penelitian selanjutnya. Adapun metode yang diyakini mendekati dalam analisis perhitungan hidrograf banjir adalah hidrograf model *HEC-HMS*. Dengan kesalahan relatif pada perhitungan debit spesifik paling kecil yaitu 19,2 %, jika dibandingkan dengan dua metode lainnya yaitu HSS GAMA I dan Nakayasu yang masing-masing 69,9 % dan 63,8 %. Untuk waktu puncaknya *HEC-HMS* lebih bergeser diawal yaitu pada jam ke-3, sedangkan HSS GAMA I lebih mendekati yaitu jam ke-4,56 terhadap metode Collins yang memiliki jam puncak pada jam ke-5 dan Nakayasu pada jam ke-3,88. Bergesernya waktu pada *HEC-HMS* lebih disebabkan karena hasil kalibrasi debit yang menghitung parameter CN sebagai hasil maksimal yaitu 99 dari yang terhitung 72,115. Kalibrasi ini dilakukan untuk memperoleh hasil yang mendekati dengan debit terukur.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*, US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center, California.
- Bedient, P. B. and Huber W. C.. 1992. *Hydrology for Floodplain Analysis*. Addison-Westley Publishing Company, New York.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W..1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, Inc. , New York.
- Clarke, R. T. 1973. *Mathematical Model in Hydrology*. pp 1-10, FAO Rome.
- Dooge, J. J.. 1979. *Deterministic Method in Hydrology*. Part A,IHE Delft, Netherlands.
- Gunawan. 2005. *Diktat Mata Kuliah Hidrologi*. Materi kuliah Jurusan Teknik Sipil Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto.
- Handayani, Y. L.. 2002. *Optimasi Tata Guna Lahan dan Penerapan Rekayasa Teknik dalam Fenomena Banjir di Daerah Aliran Sungai*. Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sri Harto. 1993. *Analisis Hidrologi*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sri Harto. 2000. *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*. Nafiri Offset, Yogyakarta.
- Jayadi, R.. 2001. *Hidrologi I*. Materi kuliah Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Thompson, S. A.. 1999. *Hydrology for Water Management*. A. A. Balkoma, Netherlands.
- Wanielista, M., Kersten R., and Eaglin R.. 1997., *Water Quantity and Quality Control*. John Wiley and Sons Inc., Florida.