

ANALISIS TREND HIDROGRAF TERHADAP SIMULATOR HUJAN SATU MODEL DAS DENGAN METODE HSS GAMA I

Muslim Pati Alam, Muhamad Lutfi

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor
muslimpatialam@gmail.com

ABSTRAK

Dari siklus hidrologi terlihat bahwa air yang berada di bumi baik langsung maupun tidak langsung berasal dari air hujan. Air hujan yang jatuh ke permukaan akan membentuk limpasan yang besarnya tergantung dari lama dan derasnya hujan. Limpasan air yang besar memiliki potensi menimbulkan kerusakan pada sarana penunjang kehidupan. Maka penyajian data pengalihan ragam air hujan menjadi limpasan (hidrograf) dibutuhkan dalam proses perencanaan untuk mengantisipasi kerusakan tadi. Dengan simulasi melalui pembuatan simulator hujan dalam sebuah model DAS dengan menggunakan alat ukur ketinggian air Thompson pada ujungnya dapat memberikan gambaran langsung proses tersebut. Dari grafik hidrograf hasil simulasi 15 kali percobaan dengan volume air 5 varian, yaitu 20 liter, 30 liter, 40 liter, 50 liter dan 60 liter diketahui limpasan air hujan mencapai debit tertingginya hanya membutuhkan waktu yang singkat, untuk volume 60 liter dan 50 liter air debit puncak terjadi pada menit ke-3 dari lamanya waktu aliran masing-masing yaitu, 15 menit dan 13 menit. Sedangkan untuk volume 40 liter dan 30 liter air debit puncak terjadi pada menit ke-2 dari lamanya waktu aliran yang sama yaitu, 11 menit. Dan untuk volume 20 liter air debit puncak terjadi pada menit pertama dari lamanya waktu aliran yaitu, 10 menit. Dan dari kondisi debit tertinggi sampai limpasan air habis membutuhkan waktu yang sangat lama sesuai dengan lamanya waktu aliran masing-masing. Trend seperti ini serupa dengan trend hasil perhitungan hidrograf sintetis dengan menggunakan metode HSS Gama 1 terhadap parameter model DAS. Dimana air mencapai debit puncak hanya dalam waktu singkat yaitu 1,8 menit, sedangkan dari kondisi debit puncak sampai limpasan air habis membutuhkan waktu yang sangat lama yaitu 31,7 menit.

Kata kunci: Perbandingan, Trend Hidrograf, Simulasi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dari daur (siklus) hidrologi terlihat bahwa air yang berada di bumi baik langsung maupun tidak langsung berasal dari air hujan. Tidak semua air hujan yang turun akan jatuh langsung ke permukaan tanah yang akan meresap, terperangkap di dalam cekungan yang ada di permukaan atau membuat limpasan permukaan, tetapi ada dari sebagian air hujan yang ditangkap oleh tanaman, bangunan-bangunan lain di atas bumi sebagai air yang terintersepsi.

Apabila hujan yang jatuh banyak, maka kehilangan air akibat intersepsi dan tampungan cekung sudah tidak ada lagi, sehingga air hujan yang jatuh akan mengalir sebagai *overlandflow* dan menjadi limpasan (*runoff*) yang selanjutnya ke sungai. Akan tetapi jika hujan jatuh deras dan lama, maka kelebihan limpasan permukaan menjadi lebih besar, saluran-saluran dan sungai tidak dapat menampung seluruh air yang datang, yang mengakibatkan terjadinya luapan air atau bahkan banjir (Sri Harto, 1993).

Maka dalam perencanaan bendungan, irigasi, jembatan dan drainase jalan raya, perlu diperkirakan debit air hujan yang mungkin terjadi dalam suatu periode tertentu, sehingga tahap konstruksi bangunan dapat di optimalkan dan dapat mengurangi baik

kerusakan konstruksi maupun genangan yang akan terjadi. Dengan demikian diperlukan sebuah penyajian data yang memuat informasi mengenai gambaran berbagai kondisi yang ada di DAS secara bersama-sama yang dipengaruhi oleh sifat hujan yang terjadi sehingga debit air yang nantinya akan memiliki potensi berubah menjadi banjir dapat diketahui (Sri Harto, 1993). Semua itu dapat disajikan dalam bentuk grafik data yang disebut dengan Hidrograf.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan melakukan simulasi melalui pembuatan simulator hujan dalam sebuah model DAS dengan menggunakan alat ukur ketinggian air Thompson pada ujungnya dapat memberikan gambaran langsung proses pengalihan ragam hujan menjadi limpasan. Berdasarkan hal tersebut, maka permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah membuat perbandingan *trend* hidrograf melalui hidrograf terukur dengan melakukan 15 kali percobaan dengan volume air 5 varian, yaitu 20 liter, 30 liter, 40 liter, 50 liter dan 60 liter terhadap simulator hujan lalu membandingkannya dengan *trend* hidrograf hasil perhitungan hidrograf sintetis dengan menggunakan metode Sri Harto (HSS Gama I) terhadap model DAS.

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu kepada rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Memperoleh *trend* hidrograf terhadap model DAS.
- 2) Memperoleh perbandingan *trend* hidrograf terukur dengan hidrograf sintetik terhadap model DAS.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidrograf

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 (Sri Harto, 1993).

2.2 Model

Sri Harto mengartikan model hidrologi sebagai integrasi dari semua proses hidrologi, mensimulasikan transformasi hujan menjadi limpasan, yang diperlukan untuk analisis, perencanaan, perancangan, perkiraan jangka panjang dan peramalan, terutama sekali apabila data yang tersedia terbatas.

Model dalam hidrologi dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu model fisik (*physical model*), model analog (*analog model*), dan model matematik (*mathematical model*).

Model fisik adalah representasi fisik dari prototipe (DAS), sederhana dalam komponen dan struktur, akan tetapi memiliki kemiripan sifat dengan prototipnya, misalnya DAS experimental atau simulator hujan (*rainfall simulation*).

Model analog adalah model yang disusun dengan similaritas sifat-sifat alat elektronik yang menyerupai sifat tanggapan masing-masing unsur penyusun DAS, atau masing-masing proses dalam transformasi hujan menjadi aliran.

Model matematik merupakan abstraksi dari sifat dan struktur sistem DAS yang ideal (Sri Harto, 1993).

2.3 Hidrogran Satuan Sintetik Gama I

Hidrograf Satuan Sintetis Gama I (HSS Gama I), ini dikembangkan berdasarkan perilaku hidrologik 30 DAS di Pulau Jawa, akan tetapi belakangan terbukti berfungsi dengan baik pula untuk berbagai daerah lain di Indonesia. Dengan tidak mengabaikan parameter-parameter DAS yang telah dikembangkan sebelumnya, HSS Gama I mengusulkan beberapa parameter DAS baru yang ternyata pengaruhnya sangat menonjol dalam proses pengalihragaman hujan menjadi aliran.

Parameter DAS yang diperlukan untuk membuat hubungan antara pengalihragaman hujan menjadi debit adalah (Sri Harto, 1993):

- 1) Faktor sumber atau *Source Factor* (SF)
Perbandingan antara jumlah panjang sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai-sungai semua tingkat.
- 2) Frekuensi sumber atau *Source Frequency* (SN)
Perbandingan antara jumlah orde sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah orde sungai-sungai semua tingkat.
- 3) Faktor lebar atau *Width Frequency* (WF)
Perbandingan antara lebar DAS yang diukur pada titik sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DAS yang diukur pada titik di sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri.
- 4) Rasio luas DAS bagian hulu atau *Relatif Upper Area* (RUA)
Perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS di sungai, melewati titik tersebut (Au) dengan luas total DAS (A).
- 5) Faktor simetri atau *Symmetry Factor* (SIM)
Hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS bagian hulu (RUA).
- 6) Jumlah pertemuan sungai atau *Joint Frequency* (JN)
Jumlah semua pertemuan sungai di dalam DAS tersebut. Jumlah ini tidak lain adalah jumlah orde sungai tingkat satu dikurangi satu.
- 7) Kerapatan jaringan drainase atau *Drainage Density* (D)
Jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.
- 8) Kemiringan rata-rata DAS/ *Slope* (S)
Perbandingan selisih antara ketinggian titik tertinggi dan ketinggian titik keluaran (*outlet*) pada sungai utama, dengan panjang sungai utama yang terletak pada kedua titik tersebut.
- 9) Panjang sungai utama (L)
Panjang sungai utama yang diukur mulai dari *outlet* sampai ke hulu.
- 10) Luas total DAS (A).

Komponen hidrograf satuan sintetik Gama 1 terdiri dari 4 (empat) variabel pokok, yaitu: waktu naik/*time to rise* (TR) ditunjukkan pada Persamaan (1), debit puncak/*peak discharge* (QP) ditunjukkan pada Persamaan (2.2), waktu dasar/*time to base* (TB) ditunjukkan pada Persamaan (2.3), dan koefisien tampungan (K), ditunjukkan pada Persamaan (4):

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

$$QP = 0,1836 A^{0,5887} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \quad (2)$$

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \quad (3)$$

$$K = 0,5617 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \quad (4)$$

dengan:

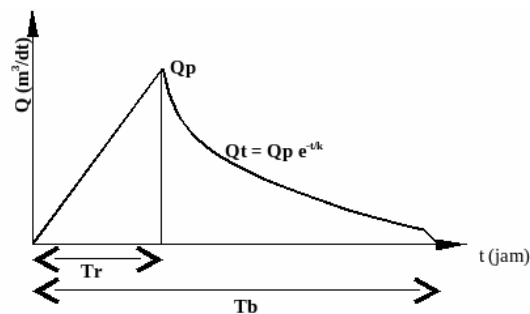
- L = Panjang sungai [km]
- SF = Faktor sumber
- SIM = Faktor simetri
- A = Luas DAS [km²]
- JN = Jumlah titik pertemuan sungai
- S = Kemiringan rata-rata DAS
- SN = Frekuensi sumber
- RUA = Rasio luas DAS bagian hulu
- D = Kerapatan jaringan drainase [km]

Sedangkan sisi resesi dinyatakan dalam bentuk persamaan eksponensial ditunjukkan pada Persamaan (2.5):

$$Q_t = Q_p e^{-t/k} \quad (5)$$

dengan:

- Q_t = Debit dihitung setelah Q_p [m³/detik]
- Q_p = Debit puncak [m³/detik]
- K = Koefisien tampung



Gambar 1. Struktur Hidrograf Satuan Sintetik Gama 1

2.4 Durasi Hujan

Durasi hujan adalah lama kejadian hujan (menitan, jam-jaman, harian) diperoleh dari hasil pencatatan. Dalam perencanaan hujan ini sering dikaitkan dengan waktu konsentrasi (Sri Harto, 1993).

3. TATA KERJA

3.1 Bahan dan Alat

Bahan yang diperlukan adalah simulator hujan. Sedangkan alat yang digunakan adalah:

- 1) Form pencatatan data ketinggian air,
- 2) *Stopwatch*, dan
- 3) *Ballpoint*

3.2 Metode

Pengambilan data ketinggian limpasan air hujan melalui alat ukur Thompson diambil setiap 60 detik dalam setiap percobaan dengan menggunakan *stopwatch* dan langsung dicatat di form pencatatan data. Dipilih alat ukur Thompson karena alat ukur ini dianggap memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dari pada alat ukur ketinggian air lainnya semisal ambang lebar dan romyn jika

digunakan untuk saluran kecil, oleh karena itu Thompson sering digunakan untuk saluran tersier dalam jaringan irigasi.

Pengambilan data ketinggian air dilakukan sebanyak 15 kali dengan volume air 5 varian, yaitu 20 liter, 30 liter, 40 liter, 50 liter dan 60 liter, dengan masing masing varian diambil data sebanyak 3 kali. Hal itu dilakukan untuk mengurangi tingkat kesalahan dalam pengambilan data dan untuk melihat apakah perbedaan tekanan akibat perbedaan ketinggian volume air memberikan pengaruh terhadap trend hidrograf terukur. Setelah *trend* hidrograf terukur diketahui kemudian dibandingkan dengan *trend* hidrograf sintesis dengan HSS Gama I terhadap morfometri model DAS.

4. HASIL DAN BAHASAN

4.1 Hidrograf Terukur

Setelah melakukan 15 kali percobaan dengan volume air 5 varian, yaitu 60 liter, 50 liter, 40 liter, 30 liter dan 20 liter dengan masing

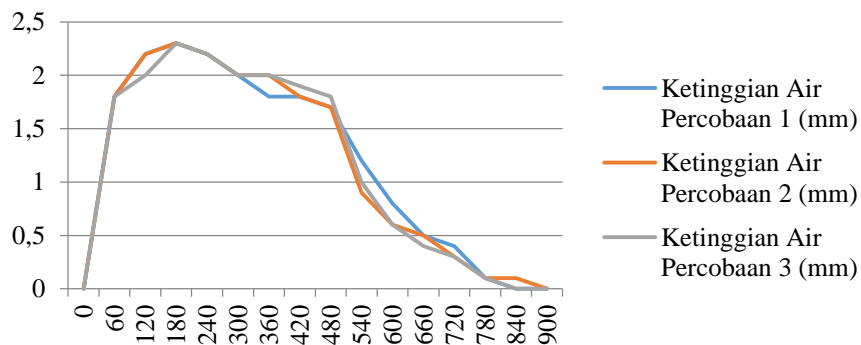
masing varian diambil sebanyak 3 kali, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1) Percobaan 60 liter air

Tabel 1. Data ketinggian air hasil pengukuran 60 liter air

Waktu (detik)	Ketinggian Air Percobaan 1 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 2 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 3 (mm)
0	0	0	0
60	1,8	1,8	1,8
120	2,2	2,2	2
180	2,3	2,3	2,3
240	2,2	2,2	2,2
300	2	2	2
360	1,8	2	2
420	1,8	1,8	1,9
480	1,7	1,7	1,8
540	1,2	0,9	1
600	0,8	0,6	0,6
660	0,5	0,5	0,4
720	0,4	0,3	0,3
780	0,1	0,1	0,1
840	0	0,1	0
900	0	0	0

HIDROGRAF 60 LITER AIR



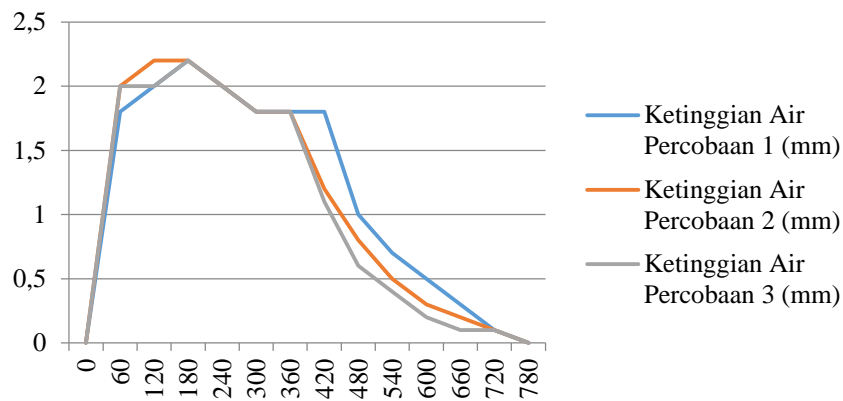
Gambar 2. Grafik Hidrograf terukur kapasitas 60 liter air

2) Percobaan 50 liter air

Tabel 2. Data ketinggian air hasil pengukuran 50 liter air

Waktu (detik)	Ketinggian Air Percobaan 1 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 2 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 3 (mm)
0	0	0	0
60	1,8	1,8	2
120	2	2	2
180	2,2	2,2	2,2
240	2	2	2
300	1,8	1,8	1,8
360	1,8	1,8	1,8
420	1,8	1,2	1,1
480	1	0,8	0,6
540	0,7	0,5	0,4
600	0,5	0,3	0,2
660	0,3	0,2	0,1
720	0,1	0,1	0,1
780	0	0	0

HIDROGRAF 50 LITER AIR



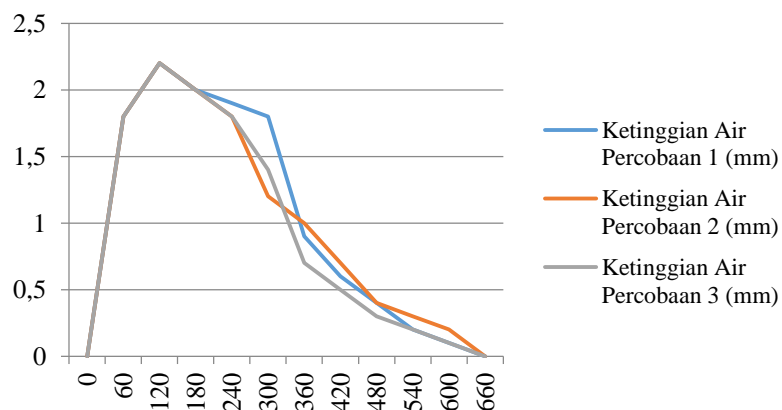
Gambar 3. Grafik Hidrograf terukur kapasitas 50 liter air

3) Percobaan 40 liter air

Tabel 3. Data ketinggian air hasil pengukuran 40 liter air

Waktu (detik)	Ketinggian Air Percobaan 1 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 2 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 3 (mm)
0	0	0	0
60	1,8	1,8	1,8
120	2,2	2,2	2,2
180	2	2	2
240	1,9	1,8	1,8
300	1,8	1,2	1,4
360	0,9	1	0,7
420	0,6	0,7	0,5
480	0,4	0,4	0,3
540	0,2	0,3	0,2
600	0,1	0,2	0,1
660	0	0	0

HIDROGRAF 40 LITER AIR



Gambar 4. Grafik Hidrograf terukur kapasitas 40 liter air

4) Percobaan 30 liter air

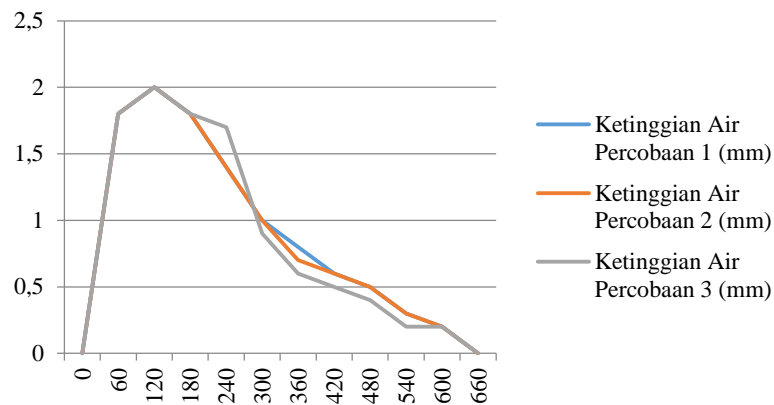
Tabel 4. Data ketinggian air hasil pengukuran 30 liter air

Waktu (detik)	Ketinggian Air Percobaan 1 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 2 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 3 (mm)
0	0	0	0
60	1,8	1,8	1,8
120	2	2	2
180	1,8	1,8	1,8
240	1,4	1,4	1,7
300	1	1	0,9
360	0,8	0,7	0,6

Tabel 4. Data ketinggian air hasil pengukuran 30 liter air (lanjutan)

Waktu (detik)	Ketinggian Air Percobaan 1 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 2 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 3 (mm)
420	0,6	0,6	0,5
480	0,5	0,5	0,4
540	0,3	0,3	0,2
600	0,2	0,2	0,2
660	0	0	0

HIDROGRAF 30 LITER AIR



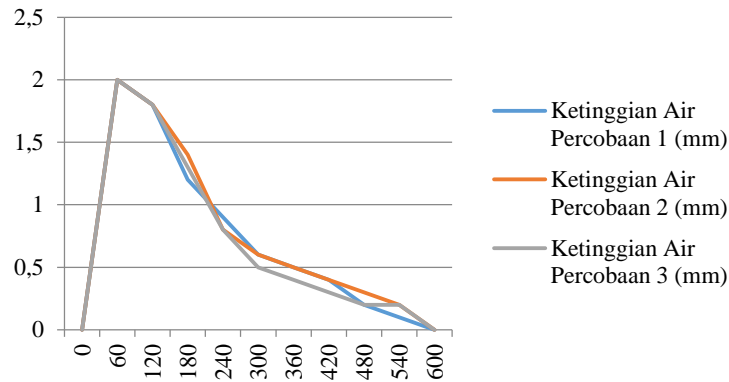
Gambar 5. Grafik Hidrograf terukur kapasitas 30 liter air

5) Percobaan 20 liter air

Tabel 5. Data ketinggian air hasil pengukuran 20 liter air

Waktu (detik)	Ketinggian Air Percobaan 1 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 2 (mm)	Ketinggian Air Percobaan 3 (mm)
0	0	0	0
60	2	2	2
120	1,8	1,8	1,8
180	1,2	1,4	1,3
240	0,9	0,8	0,8
300	0,6	0,6	0,5
360	0,5	0,5	0,4
420	0,4	0,4	0,3
480	0,2	0,3	0,2
540	0,1	0,2	0,2
600	0	0	0

HIDROGRAF 20 LITER AIR



Gambar 6. Grafik Hidrograf terukur kapasitas 20 liter air

Dari grafik hidrograf hasil simulasi 15 kali percobaan dengan volume air 5 varian, yaitu 20 liter, 30 liter, 40 liter, 50 liter dan 60 liter diketahui limpasan air hujan mencapai debit tertingginya hanya membutuhkan waktu yang singkat, untuk volume 60 liter dan 50 liter air debit puncak terjadi pada menit ke-3 dari lamanya waktu aliran masing-masing yaitu, 15 menit dan 13 menit. Sedangkan untuk volume 40 liter dan 30 liter air debit puncak terjadi pada menit ke-2 dari lamanya waktu aliran yang sama yaitu, 11 menit. Dan untuk volume 20 liter air debit puncak terjadi pada menit pertama dari lamanya waktu aliran yaitu, 10 menit. Dan dari kondisi debit tertinggi sampai limpasan air habis membutuhkan waktu yang sangat lama sesuai dengan lamanya waktu aliran masing-masing.

4.2 Hidrograf Satuan Sintetis Gama I

$$\begin{aligned}
 TR &= 0,43 \left(\frac{L}{100 SF} \right)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \\
 &= 0,43 \left(\frac{15 \times 10^{-4}}{100 \times 0,405} \right)^3 + 1,0665 (0,5) + 1,2775 \\
 &= 1,81 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 TB &= 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \\
 &= 27,4132 (1,81)^{0,1457} (0,013)^{-0,0986} (0,93)^{0,7344} (0,5)^{0,2574} \\
 &= 33,5 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Setelah nilai TR dan TB diketahui, maka debit maksimum (QP) limpasan dapat dicari. Dari perhitungan dengan menggunakan Persamaan

$$\begin{aligned}
 QP &= 0,1836 A^{0,5887} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \\
 &= 0,1836 (75 \times 10^{-8})^{0,5887} (1,81)^{-0,4008} (5)^{0,2381} \\
 &= 53 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari besaran debit resesi dari HSS Gama I terhadap model DAS, maka perlu dicari terlebih dahulu besaran koefisien tampung. Besaran koefisien tampung dapat

$$\begin{aligned}
 K &= 0,5617 A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \\
 &= 0,5617 (75 \times 10^{-8})^{0,1798} (0,013)^{-0,1446} (0,405)^{-1,0897} (25,2 \times 10^{-4})^{0,0452} \\
 &= 0,17
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan terhadap kondisi morfometri model DAS, maka didapatkan nilai-nilai parameter HSS Gama I yaitu, luas DAS (A) = $75 \times 10^{-8} \text{ km}^2$; panjang DAS (L) = $15 \times 10^{-4} \text{ km}$; kemiringan rata-rata DAS (S) = 0,013, frekuensi sumber (SN) = 0,93; faktor sumber (SF) = 0,405; faktor lebar (WF) = 1; rasio luas DAS bagian hulu (RUA) = 0,5; faktor simetri (SIM) = 0,5; kerapatan jaringan drainase (D) = $25,2 \times 10^{-4} \text{ km}$; dan jumlah pertemuan sungai (JN) = 5.

Dengan memasukan besaran nilai parameter HSS Gama I berdasarkan model DAS diatas ke Persamaan (2.1) dan Persamaan (2.3), maka didapatkan besaran nilai parameter bentuk hidrograf berupa TR (*time to rise*) selama 1,81 menit dan TB (*time to base*) selama 33,5 menit, dengan perhitungan sebagai berikut:

(2.2) maka diperoleh nilai debit puncak sebesar $53 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}/\text{mm}$, dengan perhitungan sebagai berikut:

dicari dengan menggunakan Persamaan (2.4). Dari hasil perhitungan didapat nilai koefisien tampung sebesar 0,17, dengan perhitungan sebagai berikut:

Setelah besaran nilai koefisien tampung diketahui, maka besaran debit resesi dapat dicari. Dari hasil perhitungan menggunakan

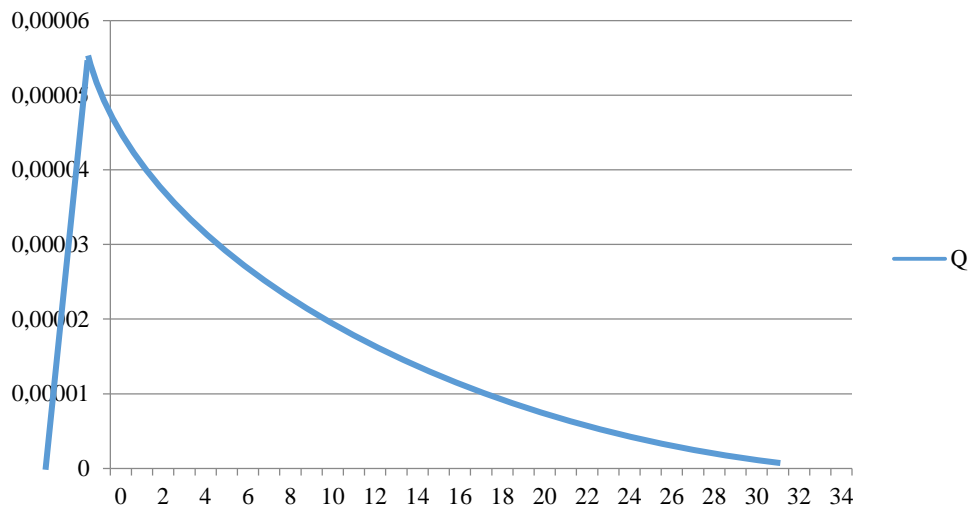
$$\begin{aligned} t &= 60 \text{ detik} = 0,0167 \text{ jam} \\ Q_t &= Q_p e^{-t/k} \\ &= 53 \times 10^{-6} e^{-0,0167/0,17} \\ &= 48 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}/\text{mm} \end{aligned}$$

Setelah besaran nilai variabel pokok yang merupakan komponen pembentuk HSS Gama

Persamaan (2.5) dengan waktu pengamatan setiap 60 detik, maka didapat nilai debit resesi sebesar $48 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}/\text{mm}$, dengan perhitungan sebagai berikut:

1 diketahui, maka dihasilkan grafik hidrograf yang ditunjukkan pada Gambar 7.

HSS Gama I



Gambar 7. Grafik Hidrograf Satuan Sintetis Gama I

Dari grafik hidrograf yang dihasilkan berdasarkan kondisi morfometri model DAS didapatkan hasil limpasan air mencapai debit tertinggi di menit ke 1,8 sebesar $53 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}/\text{mm}$ dan membutuhkan waktu selama 31,7 menit dari debit puncak sampai debit air terus berimpit dengan titik nol (asimtot), dengan debit resesi sebesar $48 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det}/\text{mm}$.

5. KESIMPULAN

Dari hasil 15 kali percobaan dengan volume air 5 varian, yaitu 20 liter, 30 liter, 40 liter, 50 liter dan 60 liter diketahui bahwa sejak hujan turun kemudian menjadi limpasan sampai mencapai debit tertingginya hanya butuh waktu yang singkat. Untuk volume 60 liter dan 50 liter air debit tertinggi terjadi pada menit ke 3 dari lamanya waktu aliran masing-masing yaitu, 15 menit dan 13 menit. Sedangkan untuk volume 40 liter dan 30 liter air debit tertinggi terjadi pada menit ke 2 dari lamanya waktu aliran yang sama yaitu, 11 menit. Dan untuk volume 20 liter air debit tertinggi terjadi pada menit pertama dari lamanya waktu aliran yaitu, 10 menit. Dan dari kondisi debit tertinggi sampai limpasan air habis membutuhkan waktu yang sangat lama sesuai dengan lamanya waktu aliran masing-masing.

Trend grafik hidrograf terukur serupa dengan *trend* grafik hasil perhitungan hidrograf sintetis dengan menggunakan metode HSS Gama 1 terhadap parameter model DAS, dimana sejak hujan turun kemudian menjadi limpasan sampai mencapai debit tertingginya hanya butuh waktu yang singkat yaitu hanya dalam 1,8 menit. Sedangkan dari kondisi debit tertinggi sampai limpasan air habis membutuhkan waktu yang sangat lama yaitu 31,7 menit.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Prof. Dr. Ir. Sri Harto Br., Dip. H. 1993. *Hidrologi, Teori, Masalah dan Penyelesaian*.
- Sri Harto. 1985. *Pengkajian Sifat Dasar Hidrograf Satuan Sungai-sungai di Pulau Jawa Untuk Perkiraan Banjir*. Desertasi Program Doktorat. Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Sri Harto. 1993. *Analisis Hidrologi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Ir. Hadi Susilo. *Bahan ajar rekayasa hidrologi*.
- Dantje K. Natakusumah. 2011. *Jurnal Teknik Sipil: Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya*. Institut Teknologi Bandung.

Robert J. Kodoatie, Ph. D, Roestam Sjarief,
Ph. D. 2005. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta: Andi.

Ir. Iman Subarkah. 1980. *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*. Bandung: Idea Dharma.

Soemarto, C.D. 1986. *Hidrologi Teknik..* Surabaya: Usaha Nasional.