

STUDI PERBANDINGAN HIDROGRAF SATUAN SINTETIK PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI RANOYAPO

Elza Patricia Siby

L. Kawet, F. Halim

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi

email: patricia87elza@yahoo.com

ABSTRAK

Amurang merupakan suatu kawasan yang terletak di Kabupaten Minahasa Selatan yang adalah tempat bermuaranya Sungai Ranoyapo. Sungai Ranoyapo adalah sungai terpanjang di wilayah Minahasa. Daerah rawan banjir di wilayah perencanaan mencakup daerah muara sungai, dataran banjir dan dataran aluvial terutama di sepanjang Sungai Ranoyapo. Faktor-faktor penyebab banjir antara lain adalah curah hujan yang tinggi, penutupan lahan di daerah hulu berkurang dan kapasitas alur sungai terutama di daerah hilir berkurang karena sedimentasi dan topografis daerah. Untuk pengamanan bahaya banjir di sungai dapat diadakan perencanaan bangunan yang bertujuan untuk mengurangi kerusakan yang terjadi akibat banjir sampai pada tingkat yang paling minimum. Perencanaan pengendalian tersebut dapat dilakukan dengan baik apabila data-data curah hujan di setiap stasiun hujan dapat diketahui dan dihitung debitnya dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik.

Penelitian ini dibuat berdasarkan data yang diambil dari 2 (dua) stasiun hujan yang terletak di sekitar Daerah Aliran Sungai Ranoyapo. Analisis dimulai dengan mengumpulkan data curah hujan serta peta topografi. Metode analisis yang digunakan terdiri dari Analisis hidrograf satuan sintetik Gamma I, Snyder dan Nakayasu. Kemudian dilakukan perbandingan dari ketiga metode tersebut, metode mana yang cocok untuk digunakan dalam analisis debit banjir di daerah aliran sungai Ranoyapo yang memberikan debit banjir terbesar pada titik kontrol tertentu. Dari hasil analisis, Hidrograf Satuan Sintetik yang diterapkan untuk kepentingan perhitungan dan perancangan bangunan air di Daerah Aliran Sungai Ranoyapo adalah Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I.

Kata kunci : Analisis, Banjir, Hidrograf.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Berdasarkan cara-cara untuk mendapatkan hidrograf satuan pengamatan, diperlukan serangkaian data antara lain data tinggi muka air, data pengukuran debit, data hujan harian dan data hujan jam-jaman dari ARR. Hidrograf Satuan Sintetis ini dikembangkan berdasarkan pemikiran bahwa pengalihragaman hujan menjadi aliran baik akibat pengaruh translasi maupun tampungan, dipengaruhi oleh sistem daerah pengalirannya. Hidrograf Satuan Sintetis merupakan suatu cara untuk memperkirakan penggunaan konsep hidrograf satuan dalam suatu perencanaan yang tidak tersedia pengukuran-pengukuran langsung mengenai hidrograf banjir. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) yang telah dikembangkan oleh para

pakar antara lain HSS Snyder, HSS Nakayasu, HSS SCS, HSS Gamma I, HSS Limantara dan lain-lain.

Sungai Ranoyapo yang terletak di Kabupaten Minahasa Selatan merupakan sungai terpanjang di wilayah Minahasa. Sungai inilah yang menjadi daerah tinjauan dalam penulisan skripsi ini. Daerah rawan banjir di wilayah perencanaan mencakup daerah muara sungai, dataran banjir dan dataran aluvial terutama di sepanjang Sungai Ranoyapo. Faktor-faktor penyebab banjir antara lain adalah curah hujan yang tinggi, penutupan lahan di daerah hulu berkurang dan kapasitas alur sungai terutama di daerah hilir berkurang karena sedimentasi dan topografis daerah. Untuk pengamanan bahaya banjir di sungai dapat diadakan perencanaan pengamanan terhadap bencana banjir dengan merencanakan bangunan yang

bertujuan untuk mengurangi kerusakan yang terjadi akibat banjir sampai pada tingkat yang paling minimum. Perencanaan pengendalian tersebut dapat dilakukan dengan baik apabila data-data curah hujan disetiap stasiun hujan dapat diketahui dan dihitung debitnya dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik.

LANDASAN TEORI

Daerah Aliran Sungai

Menurut Manan (1979), daerah aliran sungai (DAS) dapat diartikan sebagai kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografis yang menampung, menyimpan dan mengalirkan air hujan yang jatuh di atasnya ke sungai yang akhirnya bermuara ke danau/laut. Soeryono (1979), menulis bahwa daerah aliran sungai (DAS) merupakan ekosistem yang terdiri dari unsur utama vegetasi, tanah, air dan manusia dengan segala upaya yang dilakukan di dalamnya.

Mangundikoro (1985), menyatakan bahwa DAS merupakan kumpulan dari beberapa Sub-DAS yang merupakan suatu wilayah kesatuan ekosistem yang terbentuk secara alamiah, air hujan meresap atau mengalir melalui sungai. Manusia dengan aktivitasnya dan sumberdaya tanah, air, flora serta fauna merupakan komponen ekosistem di Sub-DAS yang saling berinteraksi dan berinterdependensi.

Analisa Frekuensi

Analisa frekuensi bukan untuk menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat, tetapi lebih tepat untuk memperkirakan apakah debit aliran sungai tersebut akan melampaui/menyamai suatu harga tertentu misalnya untuk 10 tahun, 20 tahun dan seterusnya yang akan datang. Dalam hidrologi, analisa tersebut dipakai untuk menentukan besarnya hujan dan debit banjir rancangan (*design flood*) dengan kala ulang tertentu.

Analisis Kualitas Data

• Uji Data Outlier

Data outlier adalah data yang menyimpang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah dari sekumpulan data yang ada untuk dianalisis, sehingga baik untuk digunakan.

Uji data outlier mempunyai 3 syarat, yaitu :

- 1) Jika $Cs_{\log} \geq 0,4$ maka : uji outlier tinggi, koreksi data, uji outlier rendah, koreksi data.
- 2) Jika $Cs_{\log} \leq 0,4$ maka : uji outlier rendah, koreksi data, uji outlier tinggi, koreksi data.
- 3) Jika $-0,4 < Cs_{\log} < 0,4$ maka ; uji outlier tinggi atau rendah, koreksi data.

Rumus yang digunakan :

$$\overline{\log x} = \frac{\log x}{n} \quad (1)$$

$$S_{\log} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X - \overline{\log X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$Cs_{\log} = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_{\log}^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3 \quad (3)$$

Outlier tinggi :

$$\log X_h = \overline{\log X} + K_n \cdot S_{\log} \quad (4)$$

Outlier rendah :

$$\log X_l = \overline{\log X} - K_n \cdot S_{\log} \quad (5)$$

Dengan :

Cs_{\log} = koefisien kemencengan

S_{\log} = simpangan baku

$\overline{\log X}$ = nilai rata-rata

K_n = nilai K (diambil dari outlier test K value) tergantung dari jumlah data yang di analisis

Log X_h = outlier tinggi

Log X_l = outlier rendah

Analisis Curah Hujan

Untuk mendapatkan curah hujan rata-rata dari hasil pengukuran hujan di beberapa stasiun pengukuran dapat digunakan metode Polygon Thiessen :

$$\overline{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (6)$$

Dengan :

\overline{R} = curah hujan daerah

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan di tiap titik pengamatan dan n adalah jumlah titik-titik pengamatan.

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili tiap stasiun pengamatan.

Parameter Statistik

Rata-rata hitung adalah nilai data-data dari sekumpulan data.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (7)$$

Simpangan baku (*standard deviation*)

Umumnya disperse yang paling banyak digunakan adalah deviasi standard (*standard deviation*) dan varian (*variance*). Varian dihitung sebagai nilai kuadrat dari deviasi standard. Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata maka nilai S akan besar, tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata maka S akan kecil.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (8)$$

Koefisien variasi (*variation coefficient*) adalah nilai perbandingan antara deviasi standard dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi.

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad (9)$$

Kemencengan (*Skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan (*asymmetry*) dari suatu bentuk distribusi. Pengukuran kemencengan adalah mengukur seberapa besar suatu kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetri atau menceng.

$$Cs = \frac{n \sum (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (10)$$

Koefisien puncak (*kurtosis*)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

$$Ck = \frac{n^2 \sum (x - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (11)$$

Distribusi Peluang

Distribusi Gumbel

Syarat distribusi tipe I Gumbel yaitu koefisien kemencengan $Cs \approx 1,139$ dan $Ck \approx 5,4$.

$$X_T = \bar{X} + S \times K \quad (12)$$

Distribusi Pearson tipe III

Mempunyai bentuk kurva seperti bel (*bell-shaped*). Distribusi Pearson tipe III sering juga disebut Distribusi Gamma.

$$X = \bar{X} + k.S \quad (13)$$

Distribusi normal

Mempunyai $Ck \approx 3$ dan $Cs \approx 0$

$$X_T = \bar{X} + K_T.S \quad (15)$$

Distribusi log-Normal

Merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu yang mengubah nilai variat X menjadi nilai logaritmik variat X. Parameter distribusi ini $Cs \approx 3$ Cv

$$\log X_T = \log \bar{X} + K_T.S \log X \quad (16)$$

Pemilihan tipe Distribusi

Kriteria pemilihan awal tipe distribusi berdasarkan parameter statistic. Parameter-parameter yang digunakan sebagai langkah awal penentuana tipe distribusi adalah Cs, Cv dan Ck. Criteria pemilihan untuk tiap tipe distribusi berdasarkan parameter statistic adalah sebagai berikut :

a. Tipe distribusi normal

$$Cs \approx 0 ; Ck \approx 3$$

b. Tipe distribusi Log Normal

$$Cs \approx 3 \text{ Cv}$$

c. Tipe distribusi gumbel

$$Cs \approx 1,139 ; Ck \approx 5,4$$

d. Tipe distribusi Pearson III

e. Tipe distribusi Log Pearson III

Selanjutnya tipe-tipe distribusi tersebut dilakukan perhitungan secara grafis dengan gambar pada kertas probabilitas, dan kemudian dilakukan uji kecocokan (*testing the goodness of fit*). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Untuk menjamin bahwa pendekatan empiris (berupa pengeplotan data) benar-benar bisa diwakili oleh kurva teoritis, perlu dilakukan uji kesesuaian distribusi, yang biasa dikenal sebagai *Testing the Goodness of Fit* yaitu dengan Uji Smirnov Kolmogorov.

Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1

Hidrograf Satuan Sintetik Gama I dikembangkan atas riset Dr. Sri Harto di 30 daerah pengaliran sungai di Pulau Jawa pada akhir decade 1980-an yang mengkombinasikan antara Metode Strahler dan pendekatan Kraijenhorr van der Leur.

Parameter yang diperlukan dalam analisa menggunakan HSS Gamma I antara lain:

1. Luas DAS (A)
2. Panjang alur sungai utama (L)
3. Panjang alur sungai ke titik berat DAS (Lc)
4. Kelandaian / *slope* sungai (S)
5. Kerapatan jaringan kuras / Drainage Density (D)

Hidrograf Satuan Sintetik Gama I dibentuk oleh 3 (tiga) buah komponen dasar, yaitu :

a) Waktu Naik (TR)

Persamaannya adalah :

$$T_R = 0,43 \left[\frac{L}{100.SF} \right]^3 + 1,0665.SIM + 1,2775 \quad (17)$$

Dimana :

TR = Waktu Naik (jam)

L = Panjang sungai utama (km)

b) Debit Puncak (QP)

Persamaannya adalah :

$$Q_P = 0,1836.A^{0,5886}.T_R^{0,4008}.JN^{0,2381} \quad (18)$$

Dimana :

JN = Jumlah pertemuan sungai yaitu jumlah segmen (ruas) sungai- sungai orde I dikurangi satu

QP = Debit Puncak (m³/det)

TR = Waktu naik (jam)

A = Luas DAS (km²)

c) Waktu Dasar (TB)

Persamaannya adalah :

$$T_B = 27,4132.T_R^{0,1457}.S^{-0,0986}.JN^{0,7344}.RUA^{0,2574} \quad (19)$$

Dimana :

TB = Waktu dasar (jam)

S = Kemiringan DAS

d) Koefisien Tampungan (K)

$$K = 0,5617.A^{0,1798}.S^{-0,1446}.SF^{-1,0897}.D^{0,0452} \quad (20)$$

Dimana :

K = Koefisien tampungan

S = Kemiringan DAS

Hujan Efektif (Re) didapat dengan cara metode ϕ indeks yang dipengaruhi fungsi luas dari DAS dan frekuensi sumber Sn, dimana persamaannya adalah :

$$\phi = 10,4903 - 3,859.10^{-6}.A^2 + 1,6985.10^{-13} \left[\frac{A}{SN} \right]^4 \quad (21)$$

$$Re = r - \phi \quad (22)$$

Dimana :

ϕ = Indeks ϕ (mm/jam)

A = Luas DAS (km²)

SN = Frekuensi sumber

Aliran dasar (*baseflow*) dapat di dekati sebagai fungsi luas DAS dan kerapatan jaringan sungai, persamaannya adalah :

$$Q_B = 0,4751.A^{0,6444}.D^{0,9430} \quad (23)$$

Dimana :

QB = Aliran Dasar (m³/det)

A = Luas DAS (km²)

D = Kerapatan jaringan kuras

Selanjutnya untuk menggambar hidrograf satuan digunakan persamaan segitiga dan kemudian gunakan persamaan :

$$Q_t = Q_p.Exp^{-((t-TR)/K)} \quad (24)$$

Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Dalam permulaan tahun 1938, F. F. Snyder dari Amerika Serikat, telah mengembangkan rumus empiris dengan koefisien-koefisien empiris yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik daerah pengaliran.

Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan

A = Luas daerah pengaliran (km²)

L = panjang aliran utama (km)

LC = jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (outlet) yang diukur sepanjang aliran utama.

Dengan unsur-unsur tersebut Snyder membuat rumus-rumusnya sebagai berikut :

$$t_p = C_t (L.L_C)^{0,3} \quad (25)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \quad (26)$$

$$Q_p = 2,78 \frac{C_p.A}{t_p} \quad (27)$$

$$T_b = 72 + 3t_p \quad (28)$$

Koefisien-koefisien Ct dan CP harus ditentukan secara empiris, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Besarnya Ct = 0,75 – 3,00 sedangkan CP = 0,90 – 1,40.

Lamanya hujan efektif $t_r' = t_p / 5,5$

dimana tr diasumsi 1 jam.

Jika $tr' > tr$ (asumsi), dilakukan koreksi terhadap tp

$$t_p' = t_p + 0,25(t_r - t_r') \quad (29)$$

Maka :

$$T_p = t_p' + \frac{t_r}{2} \quad (30)$$

Jika $tr' < tr$ (asumsi), maka :

$$T_p = t_p + \frac{t_r}{2} \quad (31)$$

Menentukan grafik hubungan antara Qp dan t (UH) berdasarkan persamaan Alexseyev sebagai berikut:

$$Q = Y.Q_p \quad (32)$$

Dimana :

$$Y = 10^{-a \frac{(1-X)^2}{X}} \quad (33)$$

$$X = \frac{t}{T_R} \quad (34)$$

$$a = 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \quad (36)$$

$$\lambda = \frac{(Q_p \cdot T_R)}{(h \cdot A)} \quad (37)$$

setelah λ dan a dihitung, maka nilai y untuk masing-masing x dapat dihitung (dengan membuat tabel), dari nilai-nilai tersebut diperoleh :

$t = x \cdot T_p$ dan $Q = y \cdot Q_p$, selanjutnya dibuat grafik hidrograf satuan.

Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Parameter yang diperlukan dalam analisa menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu antara lain:

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf (*Time to Peak Magitude*)
2. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*Time Lag*)
3. Tenggang waktu hidrograf (*Time Base of Hydrograph*)
4. Luas daerah pengaliran (*Catchment Area*)
5. Panjang alur sungai utama terpanjang (*Length of The Longest Channel*)
6. Koefisien pengaliran (*Run off Coefficient*)

Debit Puncak Banjir :

$$Q_p = \frac{c \cdot A \cdot R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (38)$$

Dimana :

Q_p = **Qmaks**, merupakan debit puncak banjir (m^3/dtk)

C = koefisien aliran (= 1)

A = luas DAS (sampai ke *outlet*) (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).

Persamaan Hidrograf Satuan :

1.1 Pada Kurva Naik (Rising limb)

$$0 \leq t < T_p$$

$$Q_t = Q_{maks} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (39)$$

Dimana :

Q_t = Unsur aliran sebelum mencapai debit puncak (m^3/det)

t = Waktu (jam)

1.2 Pada Kurva Turun (Recession limb)

a. $T_p \leq t < (T_p + T_{0,3})$

$$Q_t = Q_{maks} * 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \quad (40)$$

b. $(T_p + T_{0,3}) \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_t = Q_{maks} * 0,3^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}} \quad (41)$$

c. $t \geq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_t = Q_{maks} * 0,3^{\frac{t-T_p+1,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}} \quad (42)$$

Unsur-unsur waktu untuk perhitungan debit pada persamaan hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah :

$$T_p = t_g + 0,8 \cdot t_r \quad (43)$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \quad (44)$$

Dimana :

T_p = tenggang waktu (*time lag*) dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

t_g = waktu konsentrasi hujan (jam)

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

α = parameter hidrograf

t_r = $0,5 \times t_g$ sampai $1 \times t_g$

$$t_g = 0,4 + 0,058 \cdot L \quad \text{untuk } L \geq 15 \text{ km} \quad (45)$$

$$t_g = 0,21 \cdot L^{0,7} \quad \text{untuk } L \leq 15 \text{ km} \quad (46)$$

$$t_r = 0,5 \cdot t_g \text{ s/d } t_r = t_g \quad (47)$$

$$T_{0,3} = \alpha \times t_g \quad (48)$$

Dimana :

t_r = Waktu curah hujan

t_g = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang sungai utama (km)

Untuk :

$\alpha = 2,0$: Daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1,5$: Bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat.

$\alpha = 3,0$: Bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat.

Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Survey dan pengumpulan data

Penelitian dilakukan dengan mengambil data-data yang diperlukan dalam penulisan skripsi pada instansi-instansi terkait. Adapun data-data yang diperlukan antara lain:

- a. Peta rupa bumi daerah aliran sungai Ranoyapo. Peta rupa bumi ini untuk menggambarkan lokasi penelitian. Dalam hal ini peta rupa bumi diperoleh dari Balai pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BP-DAS).
 - b. Data curah hujan
Data curah hujan mencakup dua stasiun klimatologi yang ada di sekitar DAS Ranoyapo yaitu stasiun Tombatu dan stasiun Tompasso Baru dengan panjang durasi pengamatan masing-masing 10 tahun. Data curah hujan diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I.
 - c. Data morfologi DAS Ranoyapo
Data morfologi DAS Ranoyapo diperoleh dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BP-DAS).
2. Analisis data dan pembahasan
- Penelitian ini disusun dengan melakukan analisis berdasarkan metode-metode dan formula-formula yang telah tersedia. Analisis yang dimaksud adalah sebagai berikut :
- a. Menentukan lokasi daerah rainfall dari peta rupa bumi yang ada.
 - b. Analisa curah hujan dengan menggunakan metode Thiessen.
 - c. Parameter statistic yang merupakan parameter yang digunakan dalam analisis susunan data dari sebuah variable. Kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran untuk mendapatkan sebaran yang sesuai.
 - d. Analisis hidrograf satuan sintetik dengan menggunakan tiga hidrograf satuan sintetik yaitu Hidrograf Satuan Sintetik Gama I, Hidrograf Satuan Sintetik Snyder dan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dilakukan untuk memperoleh curah hujan rencana. Analisis debit banjir dilakukan untuk memperoleh debit banjir rencana dengan berbagai periode kala ulang. Dalam skripsi

ini dihitung enam periode kala ulang yaitu periode kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Dari hasil debit banjir rencana dibuat grafik hidrograf satuan sintetik dan kemudian dilakukan perbandingan dari ketiga hidrograf satuan sintetik tersebut.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan

Data curah hujan harian maksimum yang digunakan dalam analisis ini bersumber dari periode pencatatan di pos curah hujan tahun 2000 s/d 2009. Dipilih pos hujan yang berada di sekitar DAS Ranoyapo, yaitu stasiun Tombatu dan stasiun Tompasso Baru.

Tabel 1 Curah hujan harian maksimum

Tahun Pengamatan	Curah hujan maksimum harian (mm/hari)	
	Stasiun Tombatu	Stasiun Tompasso Baru
2000	259,4	347
2001	308	251,9
2002	339,5	123,8
2003	365	535,9
2004	340,5	368,3
2005	340	575,6
2006	371,6	586,1
2007	283,5	492,7
2008	278	358,3
2009	190,3	436,2

Sumber : Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, Manado

Penentuan Curah Hujan Rencana

Dari penetapan distribusi peluang maka perhitungan curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan kurva distribusi teoritis Normal. Persamaan kurva tersebut dari persamaan 15 :

$$X = 377.464 + (0 \cdot 81.1353) = 377.464 \text{ mm}$$

Untuk hasil perhitungan curah hujan rencana untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2 Nilai teoritis distribusi Pearson III

Tahun	k	X (mm)
2	-0.067	417.04
5	0.816	511.71
10	1.317	565.43
20	1.750	611.86
50	2.261	666.65
100	2.615	704.60

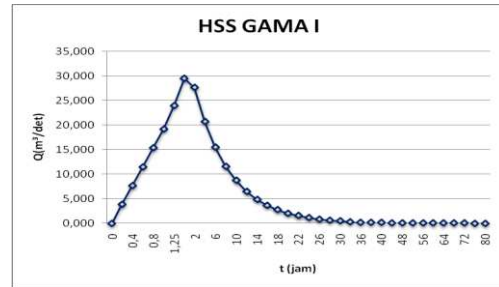
Analisis Debit Banjir Rencana

Analisis yang digunakan dalam menghitung debit banjir pada Daerah Aliran Sungai Ranoyapo menggunakan 3 (tiga) metode yaitu Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I, Hidrograf Satuan Sintetik Snyder dan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Metode-metode perhitungan ini berdasarkan parameter-parameter Daerah Aliran Sungai.

Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

Tabel 3 Hidrograf Satuan Sintesis Gamma I

t (jam)	Qt (m3/det)
0	0,000
0,2	3,839
0,4	7,678
0,6	11,517
0,8	15,355
1	19,194
1,25	23,993
1,5409726	29,57769
2	27,678
4	20,727
6	15,521
8	11,623
10	8,704
12	6,518
14	4,881
16	3,655
18	2,737
20	2,050
22	1,535
24	1,150
26	0,861
28	0,645
30	0,483
34	0,271
36	0,203
38	0,152
40	0,114
44	0,064
48	0,036
52	0,020
56	0,011
60	0,006
64	0,004
68	0,002
72	0,001
76	0,001
80	0,000

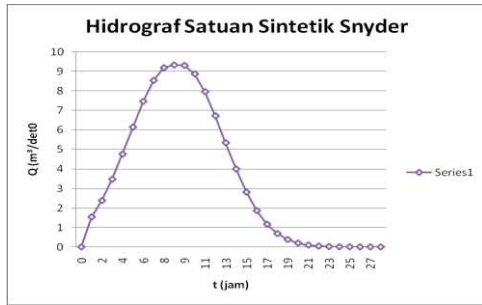


Gambar 1. Hidrograf Satuan Sintetis Gamma I

Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Tabel 4 Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

t (jam)	X	Y	Qt (m3/det)
1	2	3	4
0	0	0	0
1	0,115	0,165	1,538
2	0,230	0,255	2,382
3	0,344	0,372	3,472
4	0,459	0,510	4,764
5	0,574	0,658	6,151
6	0,689	0,800	7,474
7	0,804	0,915	8,548
8	0,918	0,985	9,200
8,7115	1,000	1,000	9,342
9	1,033	0,997	9,319
10	1,148	0,951	8,883
11	1,263	0,853	7,970
12	1,377	0,720	6,729
13	1,492	0,572	5,347
14	1,607	0,428	3,999
15	1,722	0,301	2,814
16	1,837	0,200	1,864
17	1,951	0,124	1,162
18	2,066	0,073	0,682
19	2,181	0,040	0,376
20	2,296	0,021	0,196
21	2,411	0,010	0,096
22	2,525	0,005	0,044
23	2,640	0,002	0,019
24	2,755	0,001	0,008
25	2,870	0,000	0,003
26	2,985	0,000	0,001
27	3,099	0,000	0,000
28	3,214	0,000	0,000

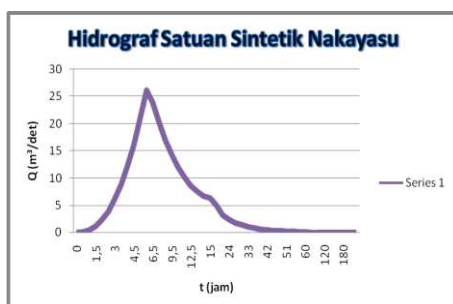


Gambar 2 Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Snyder

Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Tabel 5 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

t (jam)	Q (m³/det)	ket.
0	0	Qa
0.5	0.027	Qa
1	0.147	Qa
1.5	0.389	Qa
2	0.776	Qa
2.5	1.326	Qa
3	2.054	Qa
3.5	2.973	Qa
4	4.096	Qa
4.5	5.434	Qa
5	6.998	Qa
5.5	8.797	Qa
6.5	8.030	Qd1
9.5	4.808	Qd1
10.5	4.052	Qd1
11.5	3.415	Qd1
12.5	2.878	Qd1
13.5	2.543	Qd2
14.5	2.269	Qd2
15	2.143	Qd2
17	1.706	Qd2
21	1.082	Qd2
24	0.785	Qd3
27	0.606	Qd3
42	0.168	Qd3
45	0.130	Qd3
48	0.101	Qd3
60	0.036	Qd3
80	0.006	Qd3
100	0.001	Qd3
120	0.0002	Qd3
140	0.00004	Qd3
160	0.000007	Qd3
180	0.000001	Qd3
200	0.000000229	Qd3



Gambar 3 Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Hujan Jam-jaman

Setelah variabel-variabel pokok dihitung dalam Hidrograf Satuan Sintetik, untuk menggambar lengkung hidrograf satuan digunakan persamaan Alexeyev. Sebelumnya perlu mengubah curah hujan harian menjadi hujan jam-jaman. Distribusi hujan jam-jaman diambil dari hasil kajian yang telah dilakukan oleh Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada pada tahun 1986, yaitu hujan yang terjadi dalam 4 jam.

Tabel 6 Distribusi hujan jam-jaman untuk berbagai periode ulang

Kala Ulang (Tahun)	R 24 (mm)	Distribusi Hujan Jam-jaman (mm)			
		Jam ke-1	Jam ke-2	Jam ke-3	Jam ke-4
2	377.464	47.183	198.168	67.943	64.169
5	455.617	56.952	239.199	82.011	77.455
10	481.317	60.165	252.691	86.637	81.824
20	510.526	63.816	268.026	91.895	86.789
50	543.791	67.974	285.490	97.882	92.444
100	566.509	70.814	297.417	101.972	96.307

Menghitung hujan efektif :

$$\phi = 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} \left[\frac{A}{SN} \right]^4$$

$$\phi = 10,4903 - 3,859 \cdot 10^{-6} \cdot 292,75^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} \left[\frac{292,75}{0,5248175} \right]^4$$

$$\phi = 6,2673138$$

Hujan efektif (Re) merupakan hujan yang menyebabkan limpasan langsung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = r - \phi$$

Hidrograf Banjir

Untuk menggambar lengkung hidrograf satuan digunakan persamaan Alexeyev dengan :

$$A = 292,75 \text{ km}^2$$

$$QP = 29,578 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$TR = 1,541 \text{ jam}$$

$$H = 1 \text{ jam}$$

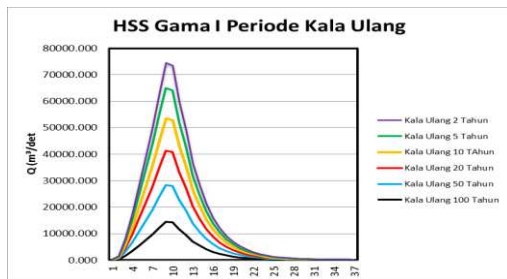
$$\lambda = \frac{(Q_p \cdot T_R)}{(h \cdot A)} = \frac{(29,57769 \cdot 1,540972645)}{(1 \cdot 292,75)} = 0,0994$$

$$a = 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 = 1,32 \cdot 0,0994^2 + 0,15 \cdot 0,0994 + 0,045$$

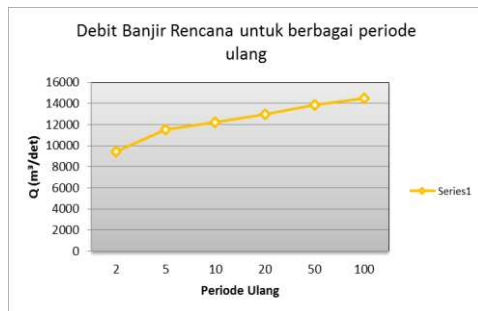
$$a = 0,03245$$

Selanjutnya perhitungan dibuat dalam bentuk tabel dengan :

- Kolom 1 : t = periode hidrograf dengan selang 1 jam
- Kolom 2 : $Q = Y.Q_p$
dimana: $X = \frac{t}{T_R}$; $Y = 10^{-a \frac{(1-X)^2}{X}}$
- Kolom 3 : Re untuk jam ke-1*kolom 2
- Kolom 4 : Re untuk jam ke-2*kolom 2 digeser 1 jam dari kolom 4
- Kolom 5 : Re untuk jam ke-3*kolom 2 digeser 2 jam dari kolom 5
- Kolom 6 : Re untuk jam ke-4*kolom 2 digeser 3 jam dari kolom 6
- Kolom 7 : kolom 3 + kolom 4 + kolom 5 + kolom 6
- Kolom 8 : QB
- Kolom 9 : kolom 7 + kolom 8



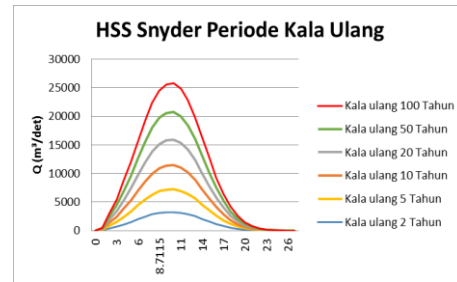
Gambar 4 HSS Gama I dengan berbagai periode ulang



Gambar 5 Debit banjir rencana dengan berbagai periode ulang

Tabel 7 Debit banjir rencana untuk berbagai periode ulang

Periode Ulang (Tahun)	Debit Banjir Rencana m³/det)
2	9426.51
5	11530.46
10	12213.27
20	12989.33
50	13873.19
100	14476.78



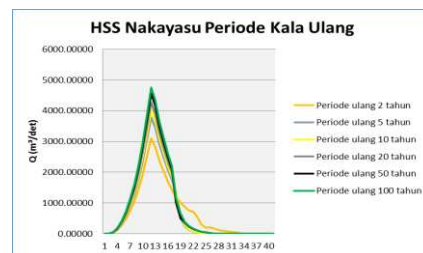
Gambar 6 HSS Snyder dengan berbagai periode ulang



Gambar 7 Debit banjir rencana dengan berbagai periode ulang

Tabel 8 Debit banjir rencana untuk berbagai periode ulang

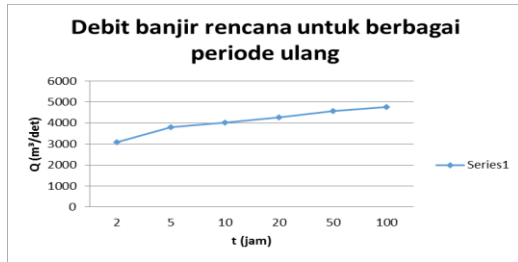
Periode Ulang (Tahun)	Debit Banjir Rencana m³/det)
2	3260.59
5	3983.38
10	4221.05
20	4491.18
50	4798.83
100	5008.92



Gambar 8 HSS Nakayasu dengan berbagai periode ulang

Tabel 9 Debit banjir rencana untuk berbagai periode ulang

Periode Ulang (Tahun)	Debit Banjir Rencana m³/det)
2	3099.86
5	3787.35
10	4013.41
20	4270.34
50	4562.96
100	4762.79



Gambar 9 Debit banjir rencana HSS Nakayasu dengan berbagai periode ulang

PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan kurva naik pada Hidrograf Satuan Sintetik Gama I digunakan persamaan segitiga sehingga kurva naik di atas berbentuk garis linear sampai pada titik puncak kurva.

Pada kurva turun digunakan persamaan Hidrograf debit $Qt = Qp \cdot \exp^{-(t-TR)/K}$ (setelah $TR = 1,541$ jam). Hasil debit maksimum yang diperoleh dari perhitungan ini yaitu $29,578 \text{ m}^3/\text{det}$ dan Debit Banjir Rencana = $14476.78 \text{ m}^3/\text{det}$.

Pada gambar kurva Hidrograf Satuan Sintetik Snyder di atas kurva yang terjadi berbentuk menyerupai parabola. Hasil debit maksimum yang diperoleh dari perhitungan ini yaitu $9,342 \text{ m}^3/\text{det}$ dan Debit Banjir rencana = $5008.92 \text{ m}^3/\text{det}$. Kurva hidrograf satuan sintetik Snyder ini hanya menggunakan 1 (satu) persamaan saja yaitu $Q = Qp * Y$

Dimana : $Qp = 0,278 \frac{Cp \cdot A}{Tp}$ dan $Y = 10^{-\frac{(1-X)^2}{X}}$

Sedangkan pada gambar Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu bentuk kurva seperti gunung yang curam. Pada kurva naik digunakan sebuah persamaan sampai pada puncak. Akan tetapi yang berbeda dengan hidrograf satuan yang lainnya, pada Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu ini untuk memperoleh kurva turun digunakan 3 (tiga) persamaan yang masing-masing memiliki suatu persyaratan, yaitu sebagai berikut : $Qd1 = Qp * 0.3^{\frac{t-Tp}{T_{0.3}}}$ \Rightarrow jika ($Qd > 0.3Qp$)

$Qd2 = Qp * 0.3^{\frac{t-Tp+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}}}$ \Rightarrow jika ($0.3Qp > Qd > 0.3^2 Qp$)

$Qd3 = Qp * 0.3^{\frac{t-Tp+1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}}}$ \Rightarrow jika ($0.3^2 Qp > Qd$)

Hasil debit maksimum yang diperoleh dari

perhitungan ini yaitu $27,73 \text{ m}^3/\text{det}$ dan Debit Banjir Rencana = $4762.79 \text{ m}^3/\text{det}$.

Berdasarkan analisa dan pembahasan tentang debit banjir dengan menggunakan 3 (tiga) metode HSS yaitu Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I, Hidrograf Satuan Sintetik Snyder dan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dapat disimpulkan bahwa Hidrograf Satuan Sintetik yang perhitungannya dapat diterapkan untuk studi kasus di daerah aliran sungai (DAS) Ranoyapo adalah HSS Gamma I. Karena HSS Gamma I menghasilkan debit banjir rencana paling besar dibandingkan dengan dua HSS lainnya. Selain itu, dibandingkan dengan HSS Nakayasu yang lokasi penelitiannya di Jepang dan HSS Snyder penelitiannya di USA, HSS Gamma I merupakan HSS yang dikembangkan di wilayah Indonesia sehingga dianggap masih mewakili karakteristik Daerah Aliran Sungai Ranoyapo.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dari tiga metode Hidrograf Satuan Sintetik dengan menggunakan data sungai yang sama diperoleh kesimpulan bahwa Hidrograf Satuan Sintetik yang dapat diterapkan untuk kepentingan perhitungan dan perencanaan bangunan air di Daerah Aliran Sungai Ranoyapo adalah Hidrograf satuan Sintetik Gamma I. Karena dari hasil analisis diperoleh bahwa HSS Gamma I menghasilkan debit banjir rencana paling besar dibandingkan dengan dua HSS lainnya yaitu $14476.78 \text{ m}^3/\text{det}$.

Selain itu dari hasil analisis diperoleh bahwa pada DAS Ranoyapo, HSS Gamma I

Waktu naik = $1,541$ jam; Waktu turun = $67,17$ jam

HSS Snyder

Waktu naik = $8,71$ jam; Waktu turun = $87,923$ jam

HSS Nakayasu

Waktu naik = $5,63$ jam; Waktu turun = $194,37$ jam

Jika bagian hulu DAS menyempit dan melebar dibagian hilir, maka DAS tersebut memiliki waktu puncak lebih cepat dan waktu turun lebih lambat.

DAFTAR PUSTAKA

- Manan, 1979, <http://leosejati.blogspot.com/2009/01/hidrologi-dasar-1.html>.
- Mangundikoro, 1985, <http://malikabdulkarim.blogspot.com/2011/11/daerah-aliran-sungai.html>.
- Soeryono, 1979, http://putraphysic08.blogspot.com/2009_06_01_archive.html.
- Sri Harto Br., 1993, *Analisa Hidrologi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Sri Harto Br., 2000, *Hidrologi Teori masalah penyelesaian*, Nafiri Offset, Yogyakarta.