

ANALISIS DEBIT BANJIR SUNGAI RANOYAPO MENGUNAKAN METODE HSS GAMA-I DAN HSS LIMANTARA

Jeffier Andrew Robot

Tiny Mananoma, Eveline Wuisan, Hanny Tangkudung

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email: jeffier.andrew071@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Ranoyapo adalah salah satu sungai di Sulawesi Utara yang rawan terhadap banjir. Daerah aliran sungainya mencakup beberapa daerah yang ada di Kabupaten Minahasa Selatan dengan luas DAS 770,888 km². Sungai Ranoyapo merupakan sungai terpanjang di Kabupaten Minahasa. Perencanaan pengendalian banjir ataupun perencanaan teknik lain yang berhubungan dengan Sungai Ranoyapo dapat dilakukan dengan baik apabila debit banjir rencana di sungai ini diketahui.

Analisis debit banjir rencana menggunakan metode HSS Gama I, HSS Limantara, dan analisis frekuensi. Nilai dari analisis menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) akan dibandingkan dengan metode analisis frekuensi, sehingga dapat diketahui metode HSS mana yang mendekati nilai analisis frekuensi debit langsung di sungai. Dilakukan juga analisis menggunakan metode Rasional, Melchior, Weduwen, dan Haspers.

Dari hasil analisis, debit banjir rencana dengan berbagai kala ulang di setiap metode, memberikan hasil yang beragam. Hasil terbesar adalah HSS Gama I dan yang terkecil metode Melchior. Dalam perbandingan nilai debit banjir rencana antara HSS dan analisis frekuensi, maka HSS Limantara paling mendekati nilai debit banjir analisis frekuensi.

Kata kunci : Debit banjir rencana, HSS Limantara, HSS Gama I, Sungai Ranoyapo

PENDAHULUAN

Latar Belakang Penelitian

Sungai Ranoyapo adalah sungai terpanjang di Kabupaten Minahasa. Memiliki panjang 54 km dan luas DAS 770,888 km², bermuara di teluk Amurang tepatnya di Desa Ranoyapo Kabupaten Minahasa Selatan. Sungai ini adalah salah satu sungai yang rawan terhadap banjir.

Perencanaan pengendalian banjir, pengamanan sungai, dan struktur bangunan air lainnya di Sungai Ranoyapo dapat dilakukan dengan baik apabila debit banjir rencana di sungai tersebut diketahui.

Besaran debit banjir rencana dapat diperoleh melalui analisis hidrologi, yang antara lain menggunakan metode HSS, analisis frekuensi, maupun metode empiris yang tersedia.

Rumusan Masalah

Perencanaan pengendalian banjir pada sungai Ranoyapo sebaiknya memakai nilai

debit banjir yang akurat. Dalam kenyataan ketersediaan rekaman data debit yang panjang pada sungai Ranoyapo belum cukup tersedia.

Perlu analisis debit banjir rencana menggunakan metode HSS dan analisis frekuensi.

Pembatasan Masalah

1. Titik kontrol (outlet) DAS di muara sungai.
2. Data hujan menggunakan data hujan harian maksimum selama 20 tahun dari 3 stasiun.
3. Kala ulang rencana dibatasi pada 1, 2, 5, 10, 50, 100 tahun.

Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah mendapatkan nilai debit banjir rencana menggunakan metode HSS Gama I dan HSS Limantara, selanjutnya akan dilihat metode mana yang memberikan hasil paling mendekati besaran debit banjir rencana dengan menggunakan analisis frekuensi.

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi kepada pihak terkait mengenai besaran debit banjir di Sungai Ranoyapo, sehingga dapat bermanfaat dalam perencanaan penanggulangan masalah banjir di sungai Ranoyapo.
2. Sebagai informasi kepada pemangku kepentingan disekitar DAS Ranoyapo mengenai kondisi sungai yang rawan bahaya banjir.

LANDASAN TEORI

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses berkelanjutan dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi. Air di permukaan tanah dan laut menguap ke udara. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan. Hujan yang jatuh sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan selebihnya sampai ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan sebagian lainnya mengalir di atas permukaan tanah (aliran permukaan atau *surface run off*) mengisi cekungan tanah, danau, dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Akhirnya aliran air di sungai akan sampai ke laut. Proses tersebut berlangsung terus menerus yang disebut dengan siklus hidrologi.

Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah di mana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasarkan pada aliran permukaan, dan bukan ditetapkan berdasarkan pada air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian. (Sri Harto, 1993)

Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi bukan untuk menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat, tetapi lebih tepat untuk memperkirakan apakah debit aliran sungai tersebut akan melampaui atau menyamai suatu nilai tertentu misalnya untuk 10 tahun, 20 tahun, dst yang akan datang. Dalam hidrologi, analisis tersebut dipakai untuk menentukan besarnya hujan dan debit banjir rancangan (*design flood*) dengan kala ulang tertentu. (Limantara, 2010)

Analisis Data Outlier

Data outlier adalah data yang secara statistik menyimpang jauh dari kumpulan datanya. Uji data outlier gunanya untuk mencari data curah hujan yang ada, apakah ada data yang menyimpang jauh dari kumpulan datanya. Berikut ini adalah syarat untuk pengujian data outlier berdasarkan koefisien skewness ($C_{S_{log}}$)

Parameter Statistik

Dalam analisis statistik data, terdapat parameter-parameter yang akan membantu dalam menentukan jenis sebaran yang tepat dalam menghitung besarnya hujan rencana. Analisis Parameter statistik yang digunakan dalam analisis data hidrologi yaitu: *central tendency (mean)*, simpangan baku (*standar deviasi*), koefisien variasi, kemencengan (*skewness*) dan koefisien puncak (*kurtosis*).

Pengukuran Central Tendency (Mean)

Pengukuran central tendency adalah pengukuran yang mencari nilai rata-rata kumpulan variabel (mean). Persamaan untuk mencari mean atau nilai rata-rata, diperlihatkan pada persamaan:

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

Untuk perhitungan nilai Log maka persamaan diatas harus diubah dahulu ke dalam bentuk logaritmik, sehingga berubah menjadi:

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{log}Xi \quad (2)$$

Simpangan Baku (Standar Deviasi)

Standar deviasi adalah suatu nilai pengukuran dispersi terhadap data yang dikumpulkan. Standar deviasi adalah parameter pengukuran variabilitas yang

paling cocok dalam analisis statistik. Standar deviasi dapat dihitung dengan rumus:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Untuk perhitungan nilai Log maka persamaan diatas harus diubah dahulu ke dalam bentuk logaritmik, sehingga berubah menjadi:

$$S_{\log} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Koefisien Kemencengan (*skewness*)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)s^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \quad (5)$$

Untuk perhitungan nilai Log maka persamaan diatas harus diubah dahulu ke dalam bentuk logaritmik, sehingga berubah menjadi:

$$C_{s_{\log}} = \frac{n}{(n-1)(n-2)s_{\log}^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3 \quad (6)$$

Koefisien Variasi

Koefisien variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitungan suatu distribusi. Koefisien variasi dapat dihitung dengan persamaan :

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (7)$$

Koefisien Kurtosis

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \quad (8)$$

Tabel 1. Persyaratan Parameter Statistik suatu Distribusi

Jenis Distribusi	Persyaratan
Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
Gumbel	$C_s \approx 1.14$ $C_k \approx 5.4$
Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

Sumber : Triatmodjo, 2008

Distribusi Harga Ekstrim

Tujuan teori statistik tentang distribusi harga ekstrim antara lain untuk menganalisis hasil pengamatan harga-harga ekstrim untuk

meramal harga-harga ekstrim berikutnya. Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh dari rekaman data (data historik) baik data hujan maupun data debit. (Limantara, 2010)

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi. Yang banyak dikenal dalam hidrologi antara lain :

1. Distribusi Gumbel
2. Distribusi Normal
3. Distribusi Log Normal
4. Distribusi Log Person III

Distribusi Gumbel

$$X_{TR} = \bar{X} + S \times K \quad (9)$$

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} \quad (10)$$

$$yt = -\ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right] \quad (11)$$

Distribusi Normal

$$X_{TR} = \bar{X} + K_T \times S \quad (12)$$

Distribusi Log Normal

$$\text{Log } X_{TR} = \overline{\log x} + K_T \times S_{\log} \quad (13)$$

Distribusi Log Pearson III

$$\text{Log } X_{TR} = \overline{\log x} + K_T \times S_{\log} \quad (14)$$

Hujan rencana kala ulang T (tahun) dihitung dengan menggunakan antilog dari Log X_T atau bisa ditulis dengan persamaan:

$$X_{TR} = (10^{\text{Log } X_{TR}}) \quad (15)$$

Testing of Goodness of Fit

Uji Smirnov-Kolomogorov adalah uji distribusi terhadap penyimpangan data ke arah horisontal untuk mengetahui suatu data sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih atau tidak. Pengujian dilakukan dengan membandingkan probabilitas tiap data, antara sebaran empiris dan sebaran teoritis, yang dinyatakan dalam Δ . Distribusi dianggap sesuai jika: $\Delta_{maks} < \Delta_{kritis}$. (Limantara, 2010)

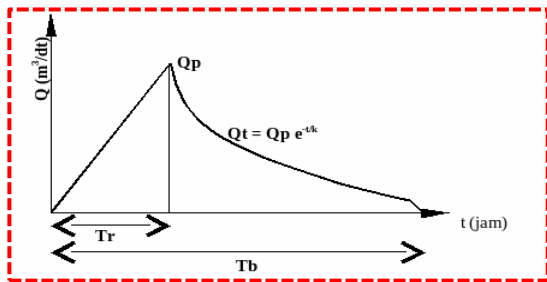
Hidrograf Satuan Sintetis

Untuk membuat hidrograf banjir pada sungai-sungai yang tidak ada atau sedikit sekali dilakukan pengamatan (observasi) hidrograf banjirnya, maka perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut terlebih dahulu. Karakteristik atau parameter tersebut antara lain waktu untuk mencapai puncak hidrograf, lebar dasar, luas,

kemiringan, panjang alur terpanjang, koefisien limpasan dan sebagainya.

Hidrograf satuan sintetis merupakan suatu cara untuk memperkirakan penggunaan konsep hidrograf satuan dalam suatu perencanaan yang tidak tersedia pengukuran-pengukuran langsung mengenai hidrograf banjir. (Limantara, 2010)

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Gama I



Gambar 1. Model HSS Gama I
Sumber : Triatmodjo, 2008

Parameter yang diperlukan dalam analisis menggunakan HSS Gama I antara lain:

- Luas DAS (A)
 - Panjang alur sungai utama (L)
 - Panjang alur sungai ke titik berat DAS (Lc)
 - Kelandaian / slope sungai (s)
 - Kerapatan jaringan kurus (D)
- Selain parameter diatas, masih ada parameter lain yang dipakai, antara lain:
- Faktor sumber (SF)
 - Frekuensi sumber (SN)
 - Luas DAS sebelah hulu (RUA)
 - Faktor simetri (SIM)
 - Jumlah pertemuan sungai (JN)

Kerapatan Jaringan Kurus / Drainage Density (D)

Perbandingan antara panjang total aliran sungai (jumlah panjang sungai semua tingkat) dengan luas DAS.

$$D = \frac{LN}{A} \tag{16}$$

Faktor Sumber (SF)

Perbandingan antara jumlah panjang sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah panjang-panjang sungai semua tingkat.

$$SF = \frac{L1}{LN} \tag{17}$$

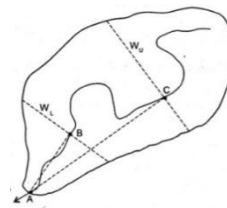
Frekuensi Sumber (SN)

Perbandingan jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.

$$SN = \frac{P1}{PN} \tag{18}$$

Faktor Lebar (WF)

Perbandingan antara lebar DAS yang diukur dititik sungai yang berjarak 0,75 L dan lebar DAS yang diukur di titik sungai berjarak 0,25 L dari titik kontrol (outlet). Garis Wu dan Wl ⊥ (tegak lurus) dengan garis yang ditarik dari outlet ke titik 0,25 L dan 0,75 L.



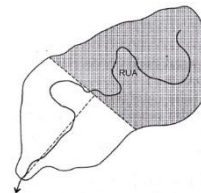
A - B = 0,25 L
A - C = 0,75 L

Gambar 2. Sketsa Penetapan WF
Sumber: Triatmodjo 2008

$$WF = \frac{Wu}{Wl} \tag{19}$$

Luas DAS sebelah hulu (RUA)

Perbandingan antara luas DAS disebelah hulu garis yang ditarik ⊥ garis hubung antara titik kontrol (outlet) dengan titik di sungai yang terdekat dengan pusat berat (titik berat) DAS.



Gambar 3. Sketsa Penetapan RUA
Sumber: Triatmodjo 2008

$$RUA = \frac{Au}{A} \tag{20}$$

Faktor Simetri (SIM)

Hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA) jadi :

$$SIM = WF \times RUA \tag{21}$$

Persamaan untuk menentukan Hidrograf Satuan Sintetik Gama I :

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100 Sf} \right)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775 \tag{22}$$

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} \times S^{-0,0986} \times SN^{0,7344} \times RUA^{0,2574} \tag{23}$$

$$Qp = 0,1836 A^{0,5886} \times TR^{-0,4008} \times JN^{0,2381} \tag{24}$$

$$K = 0,5617 A^{0,1793} \times S^{-0,1446} \times SF^{-1,0897} \times D^{0,0452} \tag{25}$$

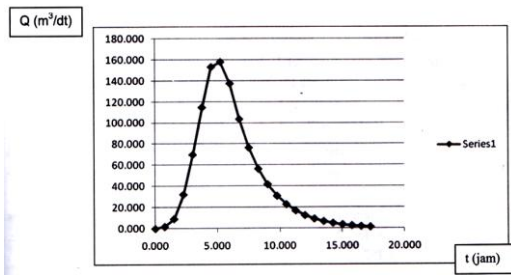
$$QB = 0,4751 A^{0,6444} \times D^{0,9430} \quad (26)$$

$$Qt = Qp \times e^{-\frac{t}{k}} \quad (27)$$

dengan:

- TR = waktu naik hidrograf (jam)
- TB = waktu dasar hidrograf (jam)
- Qp = debit puncak hidrograf (m³dt)
- K = tampungan (jam)
- QB = aliran dasar (m³dt)
- Qt = debit resesi hidrograf (m³dt)

Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Limantara



Gambar 4. Model HSS Limantara
Sumber : Limantara, 2010

Parameter DAS yang dipakai dalam HSS Limantara ada 5 macam, yaitu :

- Luas DAS (A)
- Panjang sungai utama (L)
- Panjang sungai diukur sampai titik terdekat dengan titik berat DAS (Lc)
- Kemiringan sungai (s)
- Koefisien kekasaran (n)

Persamaan debit puncak

$$Qp = 0,042 \times A^{0,451} \times L^{0,497} \times Lc^{-0,131} \times n^{0,168} \quad (28)$$

dengan:

- Qp= debit puncak banjir hidrograf satuan (m³/dt/mm)
- A = luas DAS (km²)
- L = panjang sungai utama (km)
- Lc = panjang sungai daro outlet sampai titik terdekat dengan titik berat DAS
- s = kemiringan sungai utama
- n = koefisien kekasaran DAS
- 0,042 = koefisien untuk konversi satuan (m^{0,25}/dt)

Persamaan kurva naik

$$Qn = Qp [(t/Tp)]^{1,107} \quad (29)$$

dengan:

- Qn= debit pada persamaan kurva naik (m³/dt/mm)
- Qp= debit puncak hidrograf satuan (m³/dt/mm)

t = waktu hidrograf (jam)

Tp= waktu naik hidrograf atau waktu mencapai puncak hidrograf (jam)

Persamaan kurva turun

$$Qt = Qp \times 10^{0,175(Tp-t)} \quad (30)$$

dengan :

Qt = debit pada persamaan kurva turun (m³/dt/mm)

Qp= debit puncak hidrograf satuan (m³/dt/mm)

Tp= waktu naik hidrograf atau waktu mencapai puncak hidrograf (jam)

t = waktu hidrograf (jam)

0,175 = koefisien untuk konversi satuan (dt⁻¹)

HSS Limantara dapat diterapkan pada DAS lain yang memiliki kemiripan karakteristik dengan DAS-DAS di lokasi penelitian. Spesifikasi teknik HSS Limantara disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2. Spesifikasi Teknik HSS Limantara

Uraian	Notasi	Satuan	Kisaran
Luas DAS	A	Km ²	0,325 – 1667,500
Panjang sungai utama	L	Km	1,16 – 62,48
Jarak titik berat DAS ke outlet	Lc	Km	0,50 – 29,386
Kemiringan sungai utama	S	-	0,00040 – 0,12700
Koefisien kekasaran DAS	N	-	0,035 – 0,070
Bobot Luas hutan	Af	%	0,00 - 100

Sumber : Limantara, 2010

Untuk memperkirakan waktu puncak banjir (Tp) bisa dipakai rumus seperti Nakayasu sbb:

$$Tp = tg + 0,8 tr \quad (31)$$

dengan :

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

Tg = waktu konsentrasi hujan (jam)

Cara menentukan Tg :

Jika L ≥ 15 km, maka tg = 0,40 + 0,058 L

L < 15 km, maka tg = 0,21 L^{0,7}

dengan

α = parameter hidrograf

tr = 0,5 * tg sampai 1 * tg

Metode Rasional

Untuk memperkirakan besarnya air larian puncak (*peak runoff*, Q_p) metode rasional (*U.S Soil Conservation Service*, 1973) adalah salah satu metode teknik yang dianggap baik. Metode ini merupakan salah satu metode yang dikategorikan praktis dalam memperkirakan besarnya Q_p untuk merancang bangunan pencegah banjir, erosi dan sedimentasi.

Analisis debit puncak dengan menggunakan persamaan :

$$Q_p = 0,278 C \cdot I \cdot A \text{ (satuan A dalam ha)} \quad (32)$$

$$Q_p = 0,00278 C \cdot I \cdot A \text{ (satuan A dalam km}^2\text{)} \quad (33)$$

dengan :

- Q_p = debit banjir rancangan (m^3/det)
- C = koefisien pengaliran
- I = intensitas hujan (mm/jam)
- A = luas DAS (km^2 atau ha)

Koefisien Pengaliran (C)

Koefisien aliran permukaan (C) didefinisikan sebagai laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan (Suripin, 2003).

Menurut Suripin (2003), untuk DAS dengan tata guna lahan yang tidak homogen nilai debit puncak (Q_p) dapat dihitung sebagai berikut :

$$Q_p = 0,278 I \sum C_i A_i \quad (34)$$

Intensitas Curah hujan (I)

Intensitas hujan adalah kedalaman air hujan atau tinggi air hujan per satuan waktu. Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe. Dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \quad (35)$$

dengan:

- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- R_{24} = hujan sehari / curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
- t_c = lamanya hujan / waktu konsentrasi (jam)

Waktu Konsentrasi (t_c)

Waktu konsentrasi t_c (*time of concentration*) adalah waktu perjalanan yang

diperlukan oleh air dari tempat yang paling jauh (hulu DAS) sampai ke titik pengamatan aliran air (*outlet*).

Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menghitung t_c yang paling umum dilakukan adalah persamaan matematik yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), persamaannya :

$$t_c = \left(\frac{0,87.L^2}{1000.s} \right)^{0,385} \quad (36)$$

Metode Empiris

Metode Empiris pada umumnya juga digunakan untuk memperkirakan debit puncak banjir pada suatu daerah penelitian tertentu, di mana rumusnya dibuat berdasarkan hubungan statistik pengamatan debit puncak banjir dengan karakteristik daerah aliran sungai. Secara mudah bentuk persamaannya hanya menggunakan sedikit parameter yang berpengaruh terhadap banjir. (Nugroho, 2011).

Untuk menentukan hubungan antara curah hujan dan debit banjir, rumus umumnya adalah:

$$Q_p = C \times \beta \times R \times A \quad (37)$$

dengan:

- Q_p = debit puncak banjir (m^3/det)
- C = koefisien aliran
- β = koefisien reduksi
- R = hujan maksimum setempat dalam sehari (*point rainfall*) ($m^3/detik/km^2$)
- A = luas daerah aliran sungai (km^2)

Metode Melchior

$$F = \frac{1970}{\beta - 0,12} - 3960 + 1720\beta \quad (38)$$

dengan:

- F = luas elips yang mengelilingi daerah aliran sungai dengan sumbu panjang tidak lebih dari 1,5 kali sumbu pendek (km^2)

Waktu konsentrasi dihitung dengan rumus :

$$t_c = \frac{10L}{36v} \quad (39)$$

$$v = 1,31(Q \times s^2)^{0,2} \quad (40)$$

Metode Weduwen

- Koefisien aliran

$$C = 1 - \frac{4,1}{\beta \times R + 7} \quad (41)$$

- Koefisien reduksi

$$\beta = \frac{120 + \frac{tc+1}{tc+9} A}{120 + A} \quad (42)$$

- Curah hujan maksimum

$$R = \frac{67,65}{tc + 1,45} \quad (43)$$

- Waktu konsentrasi

$$tc = \frac{L}{8Q^{0,125} S^{0,25}} \quad (44)$$

Metode Haspers

- Koefisien aliran

$$C = \frac{1 + 0,012A^{0,7}}{1 + 0,075A^{0,7}} \quad (45)$$

- Waktu konsentrasi

$$tc = 0,1 \times L^{0,8} \times S^{-0,3} \quad (46)$$

- Koefisien reduksi

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{tc + (3,7 \times 10^{-0,4tc})}{(tc^2 + 15)} \times \frac{A^{0,75}}{12} \quad (47)$$

- Curah hujan maksimum

Untuk besarnya hujan terpusat maksimum (*point rainfall*), Haspers mendapatkan rumus:

2 jam < tc < 19 jam, maka:

$$Rt = \frac{tc \times R_{24}}{tc + 1} \quad (48)$$

- Kecamatan Modingding, Kecamatan Belang, serta Kabupaten Bolaang Mongondow di sebelah selatan.
- Kecamatan Tenga, dan Kecamatan Sinonsayang di sebelah barat.
- Kecamatan Ratahan, Kecamatan Langowan Barat, Kecamatan Tompasso, Kecamatan Kawangkoan, dan Kecamatan Tareran di sebelah timur.
- Kecamatan Tumpaan, Kecamatan Tareran, dan teluk Amurang di sebelah utara.

Analisis Data

- Analisis permasalahan yang terjadi serta alternatif penanggulangannya.

Setelah dilakukan pengamatan di lapangan dan mendapati permasalahan-permasalahan apa yang menyebabkan permasalahan-permasalahan itu ada, maka kita dapat menetapkan alternatif-alternatif apa saja yang dapat kita ambil untuk menanggulangi permasalahan yang terjadi di daerah penelitian.

- Analisis dan Pembahasan

1. Analisis curah hujan
Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan curah hujan rencana
2. Analisis debit banjir
Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan debit banjir rencana dengan berbagai periode kala ulang.

METODOLOGI PENELITIAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Sungai Ranoyapo yang menjadi lokasi dari penelitian ini terletak di Kabupaten Minahasa Selatan Provinsi Sulawesi Utara dengan Ibukota adalah Amurang yang berjarak sekitar 64 km dari Manado sebagai Ibukota Provinsi Sulawesi Utara.

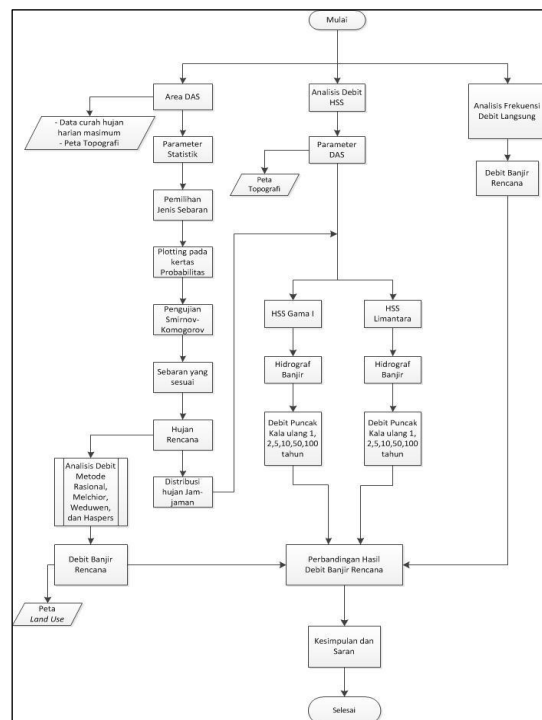
Luas DAS Ranoyapo sekitar 770,888 km², dengan muara sungai terletak di Teluk Amurang. Sungai Ranoyapo merupakan sungai terpanjang di Wilayah Minahasa, dengan panjang kurang lebih 54 km, dan mempunyai cukup banyak anak sungai.

Daerah aliran sungai Ranoyapo meliputi 6 (enam) kecamatan, yaitu :

- Kecamatan Tompasso Baru
- Kecamatan Ranoyapo
- Kecamatan Tombasian
- Kecamatan Touluaan
- Kecamatan Tombatu

Keenam kecamatan yang terkait dengan sungai Ranoyapo ini berada diantara 0°50'-1°15' Lintang Utara dan 124°25'-124°45' Bujur Timur, dan berbatasan dengan:

Bagan Alir Penelitian



ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan Rencana

Data curah hujan harian maksimum yang digunakan dalam analisis ini bersumber dari periode pencatatan 1992 / 2011 Dipilih pos hujan yang berada di sekitar DAS Ranoyapo, yaitu Stasiun Pinaling, Stasiun Tompaso Baru, Stasiun Tombatu.

Tabel 3. Curah Hujan Harian Maksimum

No	Tahun	Data Curah Hujan Harian Maksimum (mm)		
		Sta. Pinaling	Sta. Tompaso Baru	Sta. Tombatu
1	1992	123,90	301	378
2	1993	73,20	233	245
3	1994	102,30	353	148
4	1995	78,30	212,31	293
5	1996	123,90	295	304
6	1997	117,60	107,68	101,71
7	1998	129,90	566	343
8	1999	127,80	481	533
9	2000	185,30	592	393
10	2001	99,50	887	308
11	2002	85,1	49	474
12	2003	63,20	72	435
13	2004	79,1	117	381
14	2005	64,3	77	412
15	2006	48,2	95,1	499
16	2007	48,6	70,4	480
17	2008	43,2	72,8	391
18	2009	59,9	131,5	393,1
19	2010	49,1	267,94	399,7
20	2011	119	96	523

Sumber : BMKG Kayuwatu

Tabel 4. Curah Hujan Harian Maksimum Terkoreksi

No	Tahun	Data Curah Hujan harian Maksimum (mm)		
		Sta. Pinaling	Sta. Tompaso Baru	Sta. Tombatu
1	1992	123,90	301	378
2	1993	73,20	233	245
3	1994	102,30	353	155,013
4	1995	78,30	212,31	293
5	1996	123,90	295	304
6	1997	117,60	107,68	155,013
7	1998	129,90	566	343
8	1999	127,80	481	533
9	2000	185,30	592	393
10	2001	99,50	887	308
11	2002	85,1	49	474
12	2003	63,20	72	435
13	2004	79,1	117	381
14	2005	64,3	77	412
15	2006	48,2	95,1	499
16	2007	48,6	70,4	480
17	2008	43,2	72,8	391
18	2009	59,9	131,5	393,1
19	2010	49,1	267,94	399,7
20	2011	119	96	523

Uji Data Outlier

Pengujian data outlier dimaksudkan untuk menganalisis data curah hujan jika ada data yang outlier.

Dari hasil analisis untuk Stasiun Pinaling tidak terdapat data outlier tinggi maupun rendah, untuk Stasiun Tompaso Baru tidak terdapat data outlier tinggi maupun rendah, dan untuk Stasiun Tombatu tidak terdapat data outlier tinggi tetapi terdapat data outlier rendah. Setelah pengujian beberapa kali dikoreksi data curah hujan untuk tahun 1994 dan 1997 = 155,013 mm

Curah Hujan Rata-Rata

Curah hujan rata-rata adalah data kedalaman hujan dari satu atau banyak stasiun pengukuran hujan yang dirata-ratakan dengan menggunakan beberapa metode yang dianggap mewakili.

Untuk mendapatkan curah hujan rata-rata digunakan beberapa metode, dalam penelitian ini digunakan metode Poligon Thiessen karena memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang mewakili.

Dari hasil analisis peta Topografi dengan skala 1 : 200.000 diperoleh:

- A1 = Luas daerah yang mewakili Stasiun Pinaling = 87,756 km²
- A2 = Luas daerah yang mewakili Stasiun Tompaso Baru = 377,832 km²
- A3 = Luas daerah yang mewakili Stasiun Tombatu = 305,3 km²

Tabel 5. Curah Hujan Rata-Rata Dengan Cara Poligon Thiessen

No	Tahun	Data Curah Hujan harian Maksimum (mm)			Curah Hujan Rata-rata (mm)
		Sta. Pinaling	Sta. Tompaso Baru	Sta. Tombatu	
1	1992	123,90	301,00	378,00	311,334
2	1993	73,20	233,00	245,00	219,561
3	1994	102,30	353,00	155,01	246,051
4	1995	78,30	212,31	293,00	229,011
5	1996	123,90	295,00	304,00	279,087
6	1997	117,60	107,68	155,01	127,556
7	1998	129,90	566,00	343,00	428,039
8	1999	127,80	481,00	533,00	461,386
9	2000	185,30	592,00	393,00	466,891
10	2001	99,50	887,00	308,00	568,048
11	2002	85,10	49,00	474,00	221,425
12	2003	63,20	72,00	435,00	214,760
13	2004	79,10	117,00	381,00	217,239
14	2005	64,30	77,00	412,00	208,227
15	2006	48,20	95,10	499,00	249,720
16	2007	48,60	70,40	480,00	230,135
17	2008	43,20	72,80	391,00	195,449
18	2009	59,90	131,50	393,10	226,952
19	2010	49,10	267,94	399,70	295,208
20	2011	119,00	96,00	523,00	267,726

Analisis Distribusi Probabilitas Curah Hujan

Ada beberapa metode distribusi probabilitas yang dapat digunakan untuk menghitung hujan rencana atau debit rencana, seperti Gumbel, Normal, Log Normal, Log Pearson Tipe III. Dalam penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data, maka harus dilakukan pengujian dengan menggunakan parameter statistik.

Tinjauan berdasarkan statistik pada 3 (tiga) tipe distribusi (Normal, log Normal, dan Gumbel) dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Tinjauan Kesesuaian Tipe Distribusi Berdasarkan Parameter Statistik

No	Tipe Distribusi	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
1	Normal	$C_s \approx 0$	$C_s \approx 1,342$	Tidak memenuhi
		$C_k \approx 3$	$C_k \approx 4,488$	
2	Log Normal	$C_v = C_v^2 + 3C_v = 1,264$	$C_s \approx 1,342$	Tidak memenuhi
		$C_k = C_v^3 + 6C_v^2 + 15C_v + 16C_v^2 + 3 = 5,835$	$C_k \approx 4,488$	
3	Gumbel	$C_s \approx 1,139$	$C_s \approx 1,342$	Tidak memenuhi
		$C_k \approx 5,4$	$C_k \approx 4,488$	

Catatan: Bila ketiga sebaran di atas tidak memenuhi, kemungkinan tipe sebaran yang cocok adalah Pearson III atau Log Pearson III

Pemilihan tipe distribusi yang sesuai dengan distribusi data pengamatan dilakukan dengan membuat garis kurva frekuensi berdasarkan persamaan matematis masing-masing tipe distribusi. Hasil yang diharapkan adalah terbentuknya kurva frekuensi berdasarkan referensi titik-titik nilai teoritis dengan menggunakan persamaan matematis kurva frekuensi tipe-tipe distribusi yang dapat mewakili distribusi data pengamatan berdasarkan hasil uji kecocokan.

Uji kecocokan (*the goodness of fit test*)

Penentuan tipe distribusi yang paling sesuai dilakukan berdasarkan hasil uji kecocokan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode Smirnov-Kolmogorov.

Pengujian Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan melihat penyimpangan peluang terbesar antara data pengamatan dengan data teoritis. Perhitungan selisih dilakukan secara grafis untuk tiap tipe distribusi. Dengan selisih tersebut dapat mewakili distribusi data pengamatan berdasarkan syarat-syarat Uji Smirnov-Kolmogorov.

Dalam analisis ini, diambil derajat kepercayaan sebesar 5% atau sama dengan

0,005 dengan $n = 20$ karena jumlah data yang ada sebanyak 20 tahun. Dengan menggunakan Tabel Smirnov Kolmogorof: Nilai kritis (Δ_{cr}) maka diperoleh $D=0,294$.

Tabel 7. Uji Kecocokan Distribusi Data Terhadap Distribusi Teoritis

Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan	Tipe Sebaran	Selisih Peluang (Dmax)	Syarat Smirnov-Kolmogorov	Ket
	Gumbel	0,1571	$D \leq 0,294$	memenuhi
	Normal	0,1914	$D \leq 0,294$	memenuhi
	Log-Normal	0,1314	$D \leq 0,294$	memenuhi
	Log-Pearson III	0,1271	$D \leq 0,294$	memenuhi

Tabel 8. Hujan Rencana Berdasarkan Metode Log Pearson III dengan berbagai Periode Ulang

T (Tahun)	X_{TR} (mm)
1	134,1843
2	257,5049
5	353,6633
10	425,4113
50	608,0358
100	696,8236

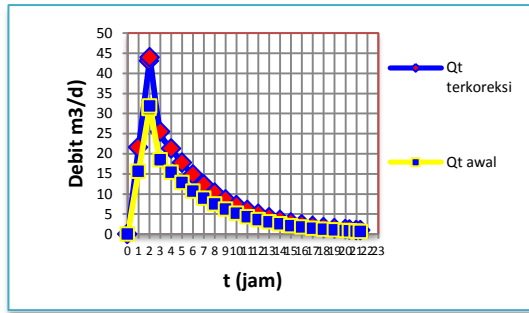
HSS GAMA I

Untuk menghitung debit banjir rencana dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) GAMA I, perlu diketahui parameter-parameter DAS yang merupakan hasil analisis dari peta topografi dengan skala 1:200.000.

Tabel 9. Parameter DAS Ranoyapo

No	Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
1.	Luas DAS	A	770,888	Km ²
2.	Luas DAS sebelah hulu titik berat	AU	359,272	Km ²
3.	Panjang sungai utama	L	54	Km
4.	Lebar bawah DAS	W _L	19,4	Km
5.	Lebar atas DAS	W _U	16	Km
6.	Elevasi hulu	-	1300	m
7.	Elevasi hilir	-	100	m
8.	Kemiringan sungai	S	0,0396	-
9.	Panjang sungai pangsa I	L _I	750,93	Km
10.	Panjang sungai semua tingkat	LN	1.301,58	Km
11.	Pertemuan sungai	JN	612	-
12.	Jumlah sungai pangsa I	P _I	703	-
13.	Jumlah sungai semua tingkat	PN	1341	-

- TR (waktu naik) = 2,04 jam
- TB (waktu dasar) = 21,379 jam
- Qp (debit puncak) = 31,811 m³/det
- K (koef tampungan) = 5,501
- QB (aliran dasar) = 56,451 m³/det
- Qt (hidrograf debit) = 18,440 m³/det



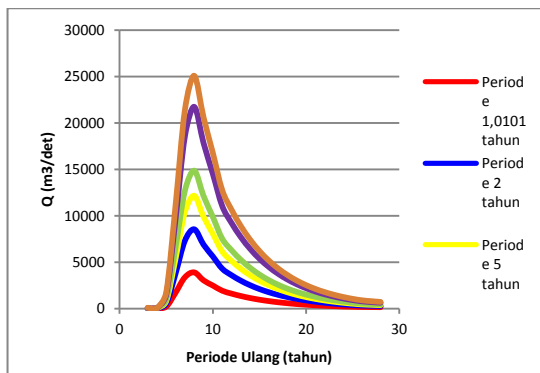
Gambar 5. HSS Gama 1 DAS Ranoyapo

Hujan Jam-jaman

Merubah hujan harian menjadi hujan jam-jaman. Dengan menganggap distribusi hujan jam-jaman diambil dari hasil kajian yang telah dilakukan oleh Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada tahun 1986, yaitu hujan terjadi dalam 4 jam.

Tabel 10. Hujan Efektif untuk Curah Hujan dalam berbagai Periode Ulang

Kala Ulang (Tr)	φ (mm)	Hujan Efektif			
		Jam ke-1	Jam ke-2	Jam ke-3	Jam ke-4
1	8,991	7,782	61,456	15,162	13,820
2	8,991	23,197	126,199	37,360	34,785
5	8,991	35,217	176,682	54,668	51,132
10	8,991	44,185	214,350	67,583	63,329
50	8,991	67,013	310,228	100,455	94,375
100	8,991	78,112	356,841	116,437	109,469



Gambar 6. Hidrograf Debit Banjir Rencana HSS Gama I dengan berbagai periode ulang

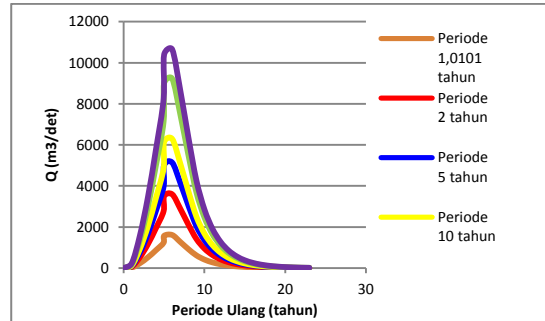
Tabel 11. Debit Banjir Rencana HSS Gama I untuk Berbagai Periode Ulang

Periode Ulang (Tr)	Debit Banjir Rencana (m ³ /det)
1	3905,745
2	8550,871
5	12172,877
10	14875,416
50	21754,350
100	25098,731

HSS LIMANTARA

Untuk menghitung debit banjir rencana dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) LIMANTARA, perlu diketahui juga parameter-parameter DAS yang merupakan hasil analisis dari peta topografi dengan skala 1:200.000.

- Qp (debit puncak) = 19,060 m³/det
- Qn (kurva naik) = 19,060 [(t/4,945)]^{1.107}
- Qt (kurva turun) = 19,060 * 10^{0.175 (4,945 - t)}



Gambar 7. Hidrograf Debit Banjir Rencana HSS Limantara dengan Berbagai Periode Ulang

Tabel 12. Debit Banjir Rencana HSS Limantara Untuk Berbagai Periode Ulang

Periode Ulang (Tr)	Debit Banjir Rencana (m ³ /det)
1	1612,943
2	3595,017
5	5140,527
10	6293,699
50	9228,939
100	10655,99

Analisis Debit Banjir Rencana Menggunakan Metode Analisis Frekuensi

Data debit sungai maksimum yang digunakan dalam analisis ini dari periode pencatatan tahun 2003 – 2012.

Tabel 13. Data Debit Maksimum

No	Tahun	Data Debit (m ³ /det)
1	2003	212,77
2	2004	338,825
3	2005	120,586
4	2006	126,942
5	2007	103,023
6	2008	129,252
7	2009	267,26
8	2010	205,534
9	2011	138,72
10	2012	69,671

Sumber : BWS Sulawesi I

Data debit langsung, tidak terdapat data outlier tinggi maupun outlier rendah.

Analisis Distribusi Probabilitas Debit Rencana

Ada beberapa metode distribusi probabilitas yang dapat digunakan untuk menghitung hujan rencana atau debit rencana, seperti Gumbel, Normal, Log Normal, Log Pearson Tipe III. Dalam penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data, maka harus dilakukan pengujian dengan menggunakan parameter statistik.

Tabel 14. Tinjauan Kesesuaian Tipe Distribusi Berdasarkan Parameter Statistik

No	Tipe Distribusi	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Ket.
1	Normal	$C_s \approx 0$	$C_s \approx 0,962$	Tidak memenuhi
		$C_k \approx 3$	$C_k \approx 4,196$	
2	Log Normal	$C_s = Cv^2 + 3Cv = 1,264$	$C_s \approx 1,576$	Tidak memenuhi
		$C_k = \frac{C_v^3 + 6Cv^2 + 15Cv + 16Cv^2 + 3}{7,721}$	$C_k \approx 4,196$	
3	Gumbel	$C_s \approx 1,139$	$C_s \approx 0,962$	Tidak memenuhi
		$C_k \approx 5,4$	$C_k \approx 4,196$	

Catatan: Bila ketiga sebaran di atas tidak memenuhi, kemungkinan tipe sebaran yang cocok adalah Pearson III atau Log Pearson III

Tabel 15. Uji Kecocokan Distribusi Data Terhadap Distribusi Teoritis

Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan	Tipe Sebaran	Selisih Peluang (Dmax)	Syarat Smirnov-Kolmogorov	Ket.
	Gumbel	0,1455	$D \leq 0,409$	memenuhi
	Normal	0,2055	$D \leq 0,409$	memenuhi
	Log-Normal	0,1455	$D \leq 0,409$	memenuhi
	Log-Pearson III	0,1355	$D \leq 0,409$	memenuhi

Tabel 16. Debit Rencana Berdasarkan Metode Log Pearson III dengan berbagai Periode Ulang

T (Tahun)	X_{TR} (mm)
1	84,5546
2	153,0285
5	230,0622
10	276,3266
50	424,8026
100	489,7453

Metode Rasional

Tabel 17. Intensitas Curah Hujan Berdasarkan Periode Kala Ulang

Periode Ulang (Tr)	Intensitas (mm/jam)
1	15,9942
2	30,6936
5	42,1553
10	50,7074
50	72,4755
100	83,0587

Tabel 18. Debit Banjir Rencana Metode Rasional Berdasarkan Periode Ulang

Periode Ulang (Tr)	Debit Puncak (m ³ /detik)
1	1375,508
2	2639,652
5	3625,359
10	4360,840
50	6232,901
100	7143,055

Metode Melchior

Tabel 19. Debit Banjir Rencana Metode Melchior Berdasarkan Periode Ulang

Periode Ulang (Tr)	Debit Puncak (m ³ /detik)
1	649,238
2	1245,912
5	1711,164
10	2058,310
50	2941,920
100	3371,511

Metode Weduwen

Tabel 20. Debit Banjir Rencana Metode Weduwen Berdasarkan Periode Ulang

Periode Ulang (Tr)	Debit Puncak (m ³ /detik)
1	779,433
2	1495,762
5	2054,315
10	2471,075
50	3531,882
100	4047,621

Metode Haspers

Tabel 21. Debit Banjir Rencana Metode Haspers Berdasarkan Periode Ulang

Periode Ulang (Tr)	Debit Puncak (m ³ /detik)
1	786,625
2	1509,563
5	2073,270
10	2493,876
50	3564,471
100	4084,969

Pembahasan

Dalam menganalisis debit banjir sungai Ranoyapo, metode yang digunakan adalah metode HSS Gama I, HSS Limantara, dan Analisis Frekuensi Debit. Perhitungan juga dilakukan dengan beberapa empiris yaitu Metode Rasional, Metode Melchior, Metode Weduwen, dan Metode Haspers. Terlebih dahulu, untuk mendapatkan curah hujan rencana dilakukan perhitungan dalam menentukan jenis sebaran data dengan menggunakan parameter statistik.

Tabel 22. Debit Banjir Rencana Untuk Setiap Metode Dengan Berbagai Kala Ulang

Periode Ulang (Tr)	HSS		Analisis Frekuensi	Metode Empiris			
	Gama I	Limantara		Metode Rasional	Metode Melchior	Metode Weduwen	Metode Haspers
1	3.905,744	1.612,943	84,5546	1.375,508	649,238	779,433	786,625
2	8.550,871	3.595,017	153,0285	2.639,652	1.245,912	1.495,762	1.509,563
5	12.172,877	5.140,527	230,0622	3.625,359	1.711,164	2.054,315	2.073,270
10	14.875,416	6.293,699	276,3266	4.360,840	2.058,310	2.471,075	2.493,876
50	21.754,350	9.228,939	424,8026	6.232,901	2.941,920	3.531,882	3.564,471
100	25.098,731	10.655,99	489,7453	7.143,055	3.371,511	4.047,621	4.084,969

Tabel 23. Sensitivitas Parameter DAS Ranoyapo

TEORI	PARAMETER														
	DAS					Sungai					Hujan				
	A	AU	W L	W U	Tutup-an Lahan	L	s	Pangsa Sungai					Curah hujan ren-cana	R _{eff}	I
								L I	L N	P I	P N	J N			
HSS Gama I	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	
HSS Limantara	√				√	√	√						√	√	
Metode Rasional	√				√	√							√		√
Metode Melchior	√					√	√						√		
Metode Weduwen	√					√	√						√		
Metode Haspers	√					√	√						√		
Analisis Frekuensi	Menggunakan data debit langsung (tidak menggunakan parameter DAS)														

Dengan melihat tabel diatas maka dapat disimpulkan bahwa jumlah parameter yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana mempengaruhi nilai debit yang akan diperoleh. Jenis-jenis parameter yang digunakan dalam setiap metode berpengaruh pada hasil dari nilai debit yang didapat, karena memiliki sensitivitas terhadap setiap rumus yang digunakan.

Analisis debit banjir rencana dengan menggunakan analisis frekuensi dari data debit langsung, memberikan hasil yang paling kecil dibandingkan metode-metode yang lain. Faktor luas pengaruh stasiun untuk menentukan curah hujan rata-rata, penentuan hujan jam-jaman, penentuan koefisien pengaliran, perbedaan pengambilan data

antara curah hujan maksimum dan debit langsung maksimum, adalah beberapa faktor yang mempengaruhi metode-metode yang menggunakan curah hujan rencana sehingga hasilnya lebih besar dari analisis frekuensi data debit langsung.

PENUTUP

Berdasarkan analisis perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa perolehan nilai debit banjir rencana Limantara yang lebih mendekati perolehan debit banjir rencana dari analisis frekuensi dibandingkan dengan HSS Gama I.

DAFTAR PUSTAKA

- Limantara, Montarcih., 2010. *Hidrologi Praktis*, CV. Lubuk Agung, Bandung.
- Sri Harto, 1993. *Analisis Hidrologi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Suripin, 2003. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*, Andi, Yogyakarta.
- Triatmodjo, Bambang., 2008. *Hidrologi Terapan*, Betta Offset, Yogyakarta
- _____. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Kayuwatu.
- _____. Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Tondano.
- _____. Balai Wilayah Sungai Sulawesi Utara I.