



Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Ranoyapo Di Desa Lindangan Kabupaten Minahasa Selatan

Marco Salomo^{#a}, Jeffry S. F. Sumarauw^{#b}, Cindy J. Supit^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^amrcsalomo@gmail.com, ^bjeffrysumarauw@unsrat.ac.id, ^ccindyjeanesupit@unsrat.ac.id

Abstrak

Sungai Ranoyapo merupakan sungai terpanjang yang terdapat di Kabupaten Minahasa Selatan. Dengan panjangnya sungai ini, sungai Ranoyapo melewati beberapa desa di Kabupaten Minahasa Selatan. Salah satu desa yang dilewati adalah desa Lindangan, Kecamatan Tompaso Baru tepatnya melewati lahan pertanian yang ada sehingga masalah banjir di DAS sungai Ranoyapo di desa Lindangan Kecamatan Tompaso Baru sangat merugikan masyarakat khususnya penduduk yang berprofesi sebagai petani. Analisis debit banjir dan tinggi muka air dilakukan dengan mencari frekuensi hujan dengan menggunakan metode Log Pearson III dengan data hujan harian maksimum dari tahun 2012 s/d 2021 yang berasal dari stasiun Klimatologi Pinaling. Setelah didapat besaran hujan, pemodelan hujan aliran pada program komputer HEC-HMS menggunakan metode HSS Soil Conversion Services, dan untuk kehilangan air dengan SCS Curve Number (CN). Untuk aliran dasar (baseflow) menggunakan metode recession. Dilakukan kalibrasi parameter HSS SCS sebelum melakukan simulasi debit banjir dengan mengkalibrasi debit puncak. Dalam kalibrasi ini, parameter yang dikalibrasi adalah lag time, curve number, recession constant, baseflow dan ratio to peak. Untuk Batasan setiap parameter disesuaikan dengan nilai standar pada program komputer HEC-HMS. Kemudian dilakukan analisis debit banjir dengan parameter yang terkalibrasi menggunakan program komputer HEC-HMS. Debit puncak hasil simulasi setiap kala ulang dimasukkan dalam program komputer HEC-RAS untuk simulasi elevasi tinggi muka air pada penampang yang telah diukur. Hasil simulasi menunjukkan adanya luapan air yang terjadi pada STA 0+100 pada debit kala ulang 5 tahun. STA 0+100, STA 0+125, STA 0+150, STA 0+175, STA 0+200 pada debit kala ulang 10 tahun. STA 0+50, STA 0+75, STA 0+100, STA 0+125, STA 0+150, STA 0+175, STA 0+200 pada debit kala ulang 25 tahun. Pada debit kala ulang 50 tahun terjadi luapan pada semua STA Dan pada debit kala ulang 100 tahun terjadi luapan pada semua STA.

Kata kunci: Perencanaan Struktur Beton Bertulang, Sekolah, SRPMK

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sungai Ranoyapo merupakan sungai terpanjang yang terdapat di Kabupaten Minahasa Selatan. Sungai Ranoyapo melewati beberapa desa di Kabupaten Minahasa Selatan. Salah satu desa yang dilewati adalah desa Lindangan, Kecamatan Tompaso Baru tepatnya melewati lahan pertanian yang ada sehingga masalah banjir di DAS sungai Ranoyapo di desa Lindangan Kecamatan Tompaso Baru sangat merugikan masyarakat khususnya penduduk yang berprofesi sebagai petani.

Melihat masalah yang terjadi di sungai Ranoyapo, maka perlu dilakukan pengendalian debit banjir di sungai tersebut. Dengan mengetahuinya hal tersebut dapat digunakan sebagai acuan untuk perencanaan penanggulangan banjir di Sungai Ranoyapo.

1.2 Rumusan Masalah

Dari Banjir yang terjadi di sungai Ranoyapo mengakibatkan kerugian bagi masyarakat

yang tinggal maupun yang beraktivitas di sekitaran sungai, maka diperlukan upaya dalam pengendalian banjir dengan menganalisis debit banjir dan tinggi muka air.

1.3 Batasan Penelitian

- Struktur Titik kontrol terletak di Desa Lindangan, dengan jarak 100 meter ke arah hulu dan 100 meter ke arah hilir.
- Analisis hidrologi yang berhubungan dengan debit banjir rencana periode 5,10,25,50, dan 100 tahun
- Analisis dihitung dengan bantuan program komputer yaitu Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) untuk analisis hidrologi dan Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC – RAS) untuk analisis hidraulika

1.4 Tujuan Perencanaan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besaran debit banjir rencana dan tinggi muka air sungai Ranoyapo Desa Lindangan.

1.5 Manfaat Perencanaan

Tujuan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan informasi bagi pihak terkait yang berwenang dalam penanggulangan permasalahan banjir di sungai Ranoyapo di Desa Lindangan dan dapat bermanfaat sebagai salah satu bahan referensi untuk penelitian lebih lanjut.

1.6 Lokasi Penelitian

Sungai Ranoyapo mengalir melewati Desa Lindangan Kecamatan Tompaso Baru. Titik tinjau terletak di Jembatan Desa Lindangan Kecamatan Tompaso Baru. Secara geografis terletak pada $1^{\circ} 17' 53''$ Lintang Utara dan $124^{\circ} 49' 40''$ Bujur Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth)

1.7 Bagan Alir Penelitian

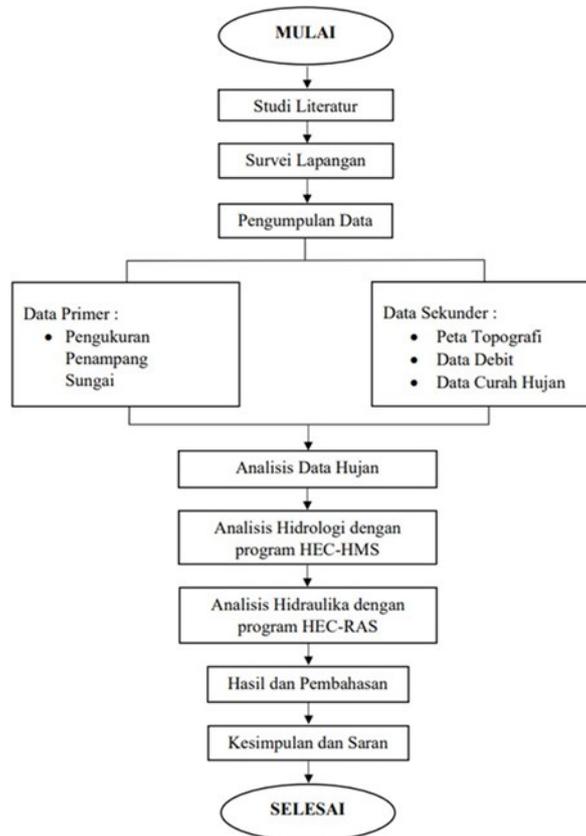
Kegiatan penelitian dilakukan menurut alur yang ditunjukkan pada Gambar 2.

2. Landasan Teori

2.1. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi atau daur hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari

bumi ke atmosfer dan kemudian kembali lagi ke bumi. Neraca air tahunan diberikan dalam nilai relatif terhadap hujan yang jatuh di daratan (100%). Air di permukaan tanah, sungai, danau 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 runoff) mengisi cekungan tanah, danau, dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut.



Gambar 2. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth)

2.2. Daerah Aliran Sungai (DAS)

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 berdasar pada air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat pemakaian.

2.3. Analisis Data Outlier

Pengujian data outlier dilakukan untuk menentukan berapa banyak data yang menyimpang terlalu tinggi dan terlalu rendah. Hasil uji outlier mendapatkan bahwa tidak ada data-data curah hujan tidak ada yang menyimpang. Jika ada data yang menyimpang bisa dikarenakan kesalahan saat pencatatan data atau adanya kejadian ekstrim. Uji outlier memiliki 3 syarat, yaitu:

1. Jika $Cslog \geq 0,4$ maka: uji outlier tinggi, koreksi data, uji outlier rendah, koreksi data.
2. Jika $Cslog \leq -0,4$ maka: uji outlier rendah, koreksi data, uji outlier tinggi, koreksi data.
3. Jika $-0,4 < Cslog < 0,4$ maka: uji outlier tinggi dan rendah sekaligus koreksi data.

Rumus yang digunakan:

- $\overline{\log x} = \frac{\sum \log x}{n}$

- $Slog = \sqrt{\frac{\sum(\log x - \bar{\log x})^2}{n}}$
- $CSlog = \frac{n}{n(n-1)(n-2)Slog^3} \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3$
- *Outlier* tinggi: $\log x_h = \log x + Kn \cdot Slog$
- *Outlier* rendah: $\log x_l = \log x - Kn \cdot Slog$

Dengan:

CS_{log} = Koefisien Kemencengan.

S_{log} = Simpangan Baku.

$\log x$ = Nilai rata – rata.

Kn = Nilai K (diambil dari *outlier test K value*) tergantung dari jumlah data yang dianalisis.

$\log x_h$ = *Outlier* tinggi.

$\log x_l$ = *Outlier* rendah.

Nilai Kn dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Untuk nilai CS_{log} lebih dari 0,4:

$$Kn = (-0,62201) + (6,28446 \times N^{1/4}) - (2,49835 \times N^{1/2}) + (0,491436 \times N^{3/4}) - (0,037911 \times N)$$

Untuk nilai CS_{log} kurang dari -0,4:

$$Kn = (-3,62201) + (6,28446 \times n^{1/4}) - (2,49835 \times n^{1/2}) + (0,491436 \times n^{3/4}) - (0,037911 \times n)$$

2.4. Parameter Statistik

Parameter statistik yang digunakan dalam analisis data hidrologi yaitu: rata – rata hitung (mean), simpangan baku (standar deviasi), koefisien variasi, kemencengan (koefisien skewness) dan koefisien kurtosis.

2.5. Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum pada suatu sungai dengan periode ulang tertentu. Data yang dibutuhkan untuk menentukan debit banjir rencana antara lain data curah hujan, luas catchment area dan data penutup lahan. Debit banjir rencana biasa didapatkan dengan beberapa metode antara lain metode empiris yaitu hidrograf satuan untuk menghitung besarnya debit banjir dengan bantuan program komputer HEC-HMS.

2.6. HSS-SCS

Hidrograf tidak berdimensi SCS (Soil Conservation Services) adalah hidrograf satuan sintetis dimana debit dinyatakan sebagai nisbah debit q terhadap debit puncak qp dan waktu dalam nisbah waktu t terhadap waktu naik dari hidrograf satuan Tp .

Parameter – parameter SCS:

$$T_1 = \frac{L^{0,8} (2540 - 22,86 CN)^{0,7}}{14,104 CN \times S^{0,5}} \quad \text{Untuk Luas Das} < 16 \text{ Km}^2$$

$$T_1 = 0,6 T_c \quad \text{Untuk luas DAS} \geq 16 \text{ km}^2$$

$$T = T_r + T_p$$

$$O_p = \frac{2,08 \times A}{T_p}$$

Menghitung *Time of Concentration* (T_c):

$$T_c = \frac{0,606 (L.n)^2}{s^{0,234}}$$

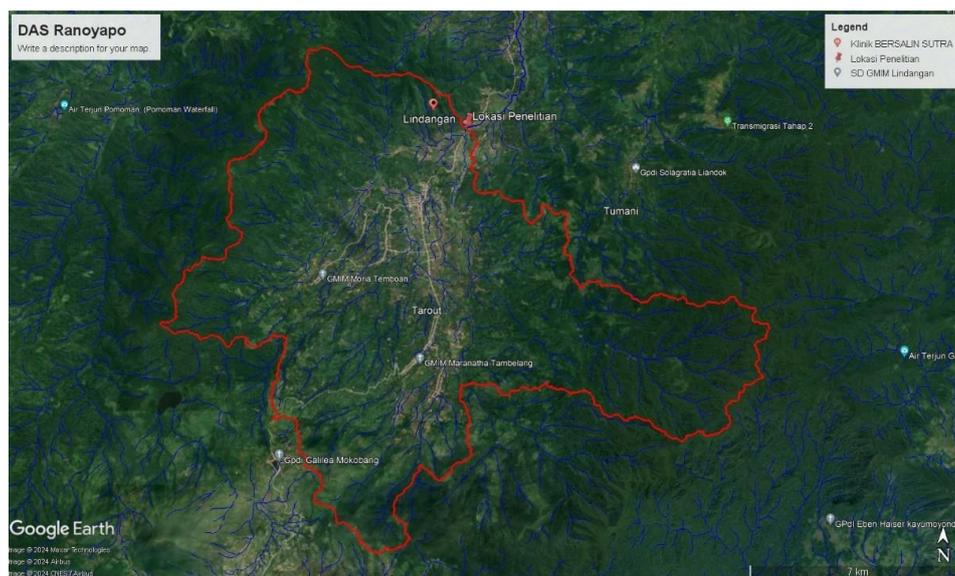
$$T_c = \text{Waktu konsentrasi (jam).}$$

- L = Panjang sungai utama terhadap titik kontrol yang ditinjau (km).
 S = Kemiringan lahan antara elevasi maksimum dan minimum
 n = Koefisien kekasaran lahan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Daerah Aliran Sungai

Analisis daerah aliran sungai (DAS) dilakukan untuk mengetahui luas DAS Ranoyapo. Perhitungan luas DAS dilakukan dengan bantuan program komputer Google Earth dengan menggunakan data yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I. Sehingga diperoleh luas DAS Ranoyapo sebesar 209 km².



Gambar 3. DAS Sungai Ranoyapo
 (Sumber : Google Earth, Data Balai Wilayah Sungai Sulawesi I)

3.2 Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan di DAS Ranoyapo dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I dengan periode pencatatan tahun 2012 sampai dengan tahun 2021. Pos hujan yang digunakan sebanyak 1 pos hujan, yaitu pos hujan MRG Pinaling.

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum (Balai Wilayah Sungai Sulawesi I; 2023)

No.	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)
		MRG Pinaling
1	2012	211
2	2013	59
3	2014	156.2
4	2015	29.4
5	2016	58.7
6	2017	83.2
7	2018	89.5
8	2019	70.4
9	2020	76.1
10	2021	105.5

3.3 Uji Data Oulier

Hasil uji outlier data hujan harian maksimum pos hujan MRG Pinaling menunjukkan bahwa data-data curah hujan dari pos hujan tersebut tidak ada yang menyimpang.

3.4 Penentuan Tipe Distribusi Hujan

Jenis sebaran hujan bergantung pada nilai parameter statistik yaitu rata-rata hitung atau mean (\bar{X}), simpangan baku (S) koefisien kemencengan (Cs), koefisien variasi (Cv) dan koefisien kurtosis (Ck). Perhitungan parameter untuk penentuan tipe distribusi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penentuan Jenis Sebaran Data

Jenis Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data	Kesimpulan
Normal	$Cs \approx 0$	1,3703	Tidak Memenuhi
	$Ck \approx 3$	5,5992	
Log Normal	$Cs \approx Cv^3 + 3 Cv$ $Ck \approx Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$	1,3703	Tidak Memenuhi
		1,8761	
		5,5992	
		9,8474	
Gumbell	$Cs \approx 1.14$	1,3703	Tidak Memenuhi
	$Ck \approx 5.4$	5,5992	
Log Pearson III	Jika tidak memenuhi ketiga syarat di atas	-	Memenuhi

3.5 Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana dengan tipe sebaran Log Pearson tipe III. Perhitungan dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung parameter statistik.

Rata-rata hitung:

Rata – rata hitung :

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{10} \times 19,149 = 1,914$$

Simpangan Baku:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,505652}{10-1}} = 0,237$$

Koefisien *Skewness* (Kemencengan):

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2) \times S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 = \frac{10}{(10-1)(10-2) \times 48,219^3} \times (-0.00405) = -0,04228 \text{ (Kemencengan Negatif)}$$

Tabel 3. Hujan Rencana Tiap Kala Ulang

TR	Log X TR	X TR
5	2.115177	130.3697
10	2.218778	165.4925
25	2.328115	212.8703
50	2.396883	249.3922
100	2.459588	288.1298

3.6 Pola Distribusi Hujan Jam-jaman

Distribusi hujan jam-jaman merupakan pembagian intensitas hujan berdasarkan pola hujan

suatu daerah. Dalam penelitian ini digunakan pola hujan Kota Manado dan sekitarnya. Pola distribusi hujan jam-jaman di Kota Manado dan sekitarnya terjadi dalam waktu 8-10 jam (Salem dkk., 2016).

Tabel 4. Pola Distribusi Hujan Manado dan Sekitarnya(Salem Haniedo Pratama; 2016)

Jam ke-	1	2	3	4	5	6	7	8
% Distribusi Hujan	55	22	8	6	3	1	3	3

3.7. Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Tabel 5. Perhitungan Nilai CN Rata-Rata DAS Sungai Ranoyapo

Jenis Penutup Lahan	Luas (km ²)	Presentase (%)	CN Tiap Lahan	CN
Hutan	70.118	80.36%	73	58.66606
Sawah	7.392	8%	71	6.015266
Ladang	5.33	6%	77	4.70384
Pemukiman	4.41	5.05%	83	4.195186
Total	87.25	100.00%		73.58036

Nilai CN rata – rata DAS Ranoyapo adalah 73,58036

3.8. Analisis Debit Banjir Rencana

Pemodelan hujan aliran pada program komputer HEC-HMS akan menggunakan metode HSS Soil Conservation Services, dan untuk kehilangan air dengan SCS Curve Number (CN). Untuk aliran dasar (baseflow) akan menggunakan metode recession. Pertama, akan dihitung asumsi lag time awal dari DAS Ranoyapo dengan data parameter DAS sebagai berikut:

$$L = 87,25 \text{ km}^2$$

$$s = \frac{\text{Titik elevasi tertinggi} - \text{Titik elevasi terendah}}{\text{Panjang Sungai}} = \frac{1504,443 \text{ m} - 347,341 \text{ m}}{152 \text{ m}} = 0,076 \text{ m/m}$$

$$CN = 73,580$$

3.9. Kalibrasi Model

Kalibrasi merupakan suatu proses dimana nilai hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai hasil observasi lapangan. Kalibrasi Parameter HSS SCS perlu dilakukakn untuk mencari nilai parameter HSS SCS teroptimasi dengan membandingkan hasil simulasi HEC-HMS dengan data debit terukur. Setelah mendapatkan hasil debit hitungan dari simulasi HEC-HMS, maka dibandingkan dengan data debit terukur. Kalibrasi dilakukan pada DAS lokasi penelitian dengan data debit terukur di lapangan. Dikarenakan lokasi penelitiaan di titik kontrol tidak memiliki data debit terukur, maka perlu dilakukan perhitungan dengan metode analisis regional sehingga data debit Sungai Ranoyapo di lokasi penelitian dapat diketahui.

Tabel 6. Parameter Hasil Kalibrasi

CN	65
Recesion Constant	0.1
Ratio to Peak	0.3
Initial Discharge	0.14
Lag Time	273 menit

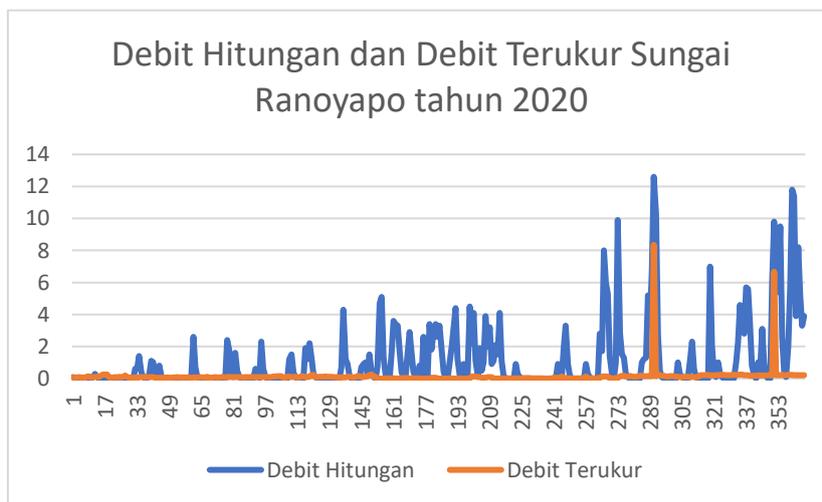
Time-Series Results for Subbasin "sungai ranoyapo"

Project: analisis debit banjir Simulation Run: Run 1
Subbasin: sungai ranoyapo

Start of Run: 01Jan2020, 00:00 Basin Model: sungai ranoyapo
End of Run: 31Dec2020, 00:00 Meteorologic Model: Kalibrasi
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01Jan2020	00:00				0.0	0.1	0.1
02Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
03Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
04Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
05Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
06Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
07Jan2020	00:00	0.10	0.10	0.00	0.0	0.0	0.0
08Jan2020	00:00	0.30	0.30	0.00	0.0	0.0	0.0
09Jan2020	00:00	0.30	0.30	0.00	0.0	0.0	0.0
10Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
11Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
12Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
13Jan2020	00:00	0.30	0.30	0.00	0.0	0.0	0.0
14Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
15Jan2020	00:00	0.50	0.50	0.00	0.0	0.0	0.0
16Jan2020	00:00	0.60	0.60	0.00	0.0	0.0	0.0
17Jan2020	00:00	0.60	0.60	0.00	0.0	0.0	0.0
18Jan2020	00:00	0.60	0.60	0.00	0.0	0.0	0.0
19Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
20Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
21Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
22Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
23Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
24Jan2020	00:00	0.30	0.30	0.00	0.0	0.0	0.0
25Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
26Jan2020	00:00	0.30	0.30	0.00	0.0	0.0	0.0
27Jan2020	00:00	0.50	0.50	0.00	0.0	0.0	0.0
28Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
29Jan2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
30Jan2020	00:00	0.10	0.10	0.00	0.0	0.0	0.0
31Jan2020	00:00	0.10	0.10	0.00	0.0	0.0	0.0
01Feb2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
02Feb2020	00:00	0.10	0.10	0.00	0.0	0.0	0.0
03Feb2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
04Feb2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
05Feb2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
06Feb2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0
07Feb2020	00:00	0.20	0.20	0.00	0.0	0.0	0.0

Gambar 4. Hasil Data Debit Hitungan Sungai Ranoyapo



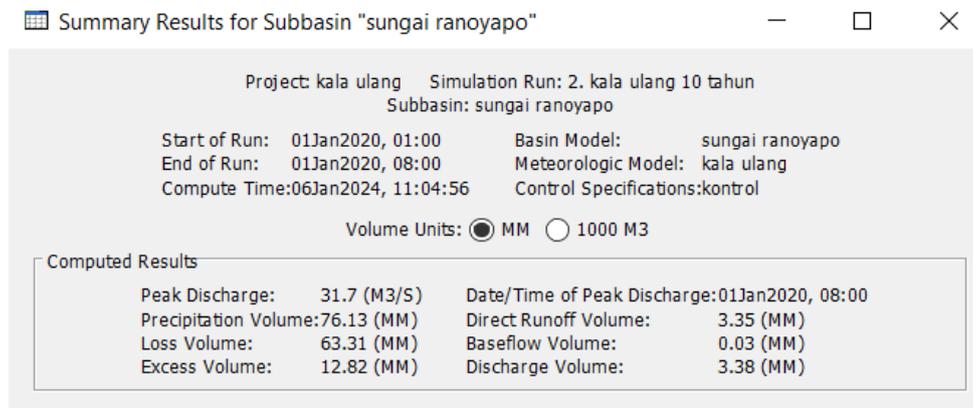
Gambar 5. Grafik Debit Hasil Perhitungan dan Debit Terukur

3.10. Simulasi Debit Banjir dengan Program HEC-HMS

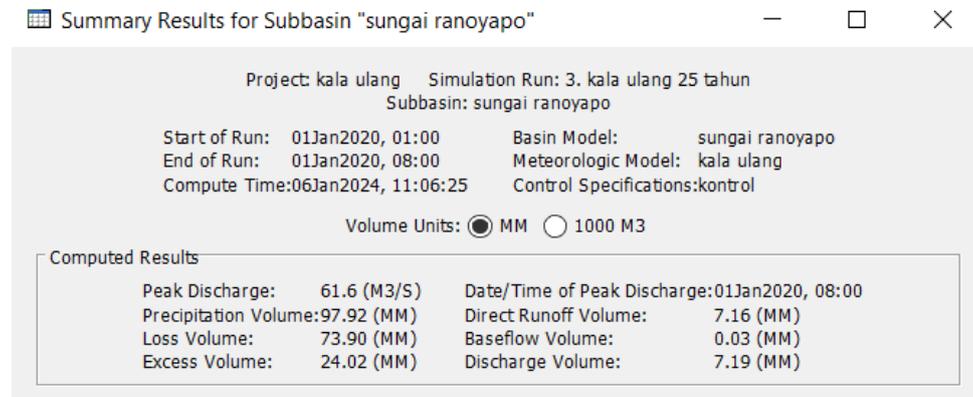
Semua parameter terkalibrasi akan digunakan sebagai parameter pada komponen sub-DAS untuk perhitungan debit banjir. Dengan data hujan rencana jam-jaman yang telah dihitung maka diperoleh hasil simulasi program computer HEC-HMS sebagai berikut:



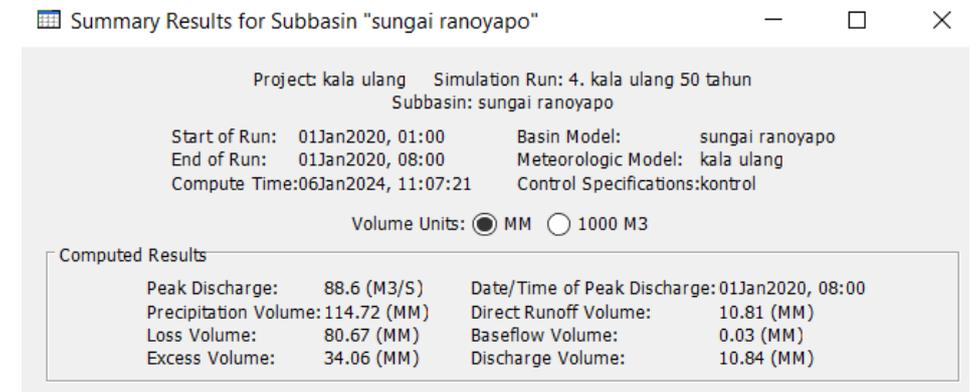
Gambar 6. Summary Result Kala Ulang 5 Tahun



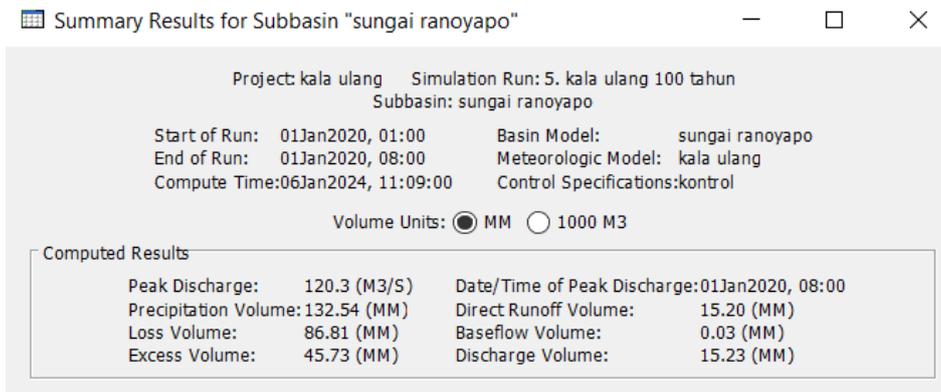
Gambar 7. Summary Result Kala Ulang 10 Tahun



Gambar 8. Summary Result Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 9. Summary Result Kala Ulang 50 Tahun



Gambar 10. Summary Result Kala Ulang 100 Tahun

3.11. Simulasi Tinggi Muka Air dengan Program HEC-RAS

Analisis tinggi muka air menggunakan program komputer HEC-RAS membutuhkan data masukan yaotu penampang saluran, karakteristik saluran untuk nilai koefisien n Manning, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng (Steady Flow). Data penampang Sungai Ranoyapo di jembatan Desa Lindangan diambil sejauh 200 meter, yaitu 100 meter di bagian hulu jembatan dan 100 meter di bagian hilir jembatan.

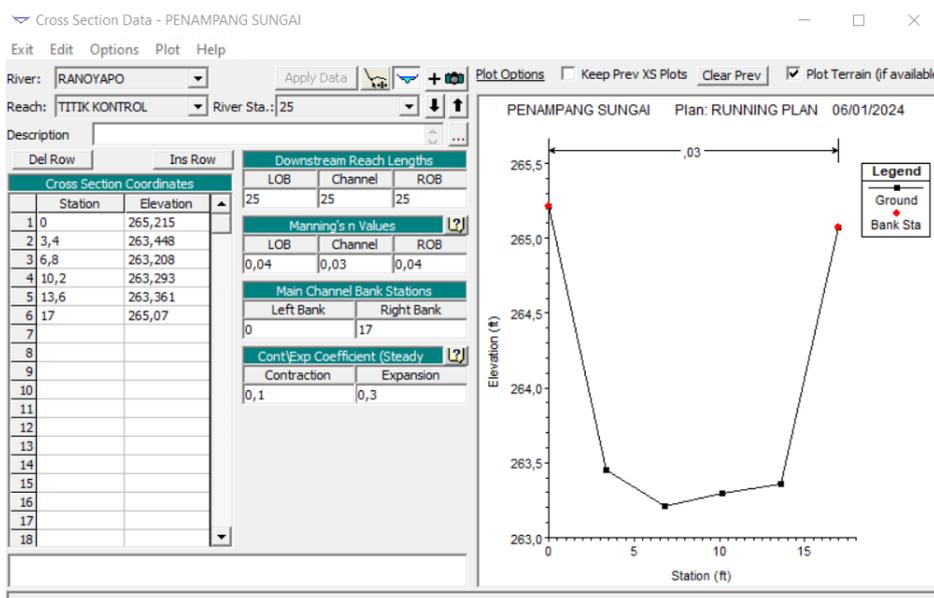
4. Kesimpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa debit banjir yang terjadi untuk kala ulang 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun berturut-turut adalah 14,6 31,7, 61,6, 88,6 dan 120,3 m3/det.

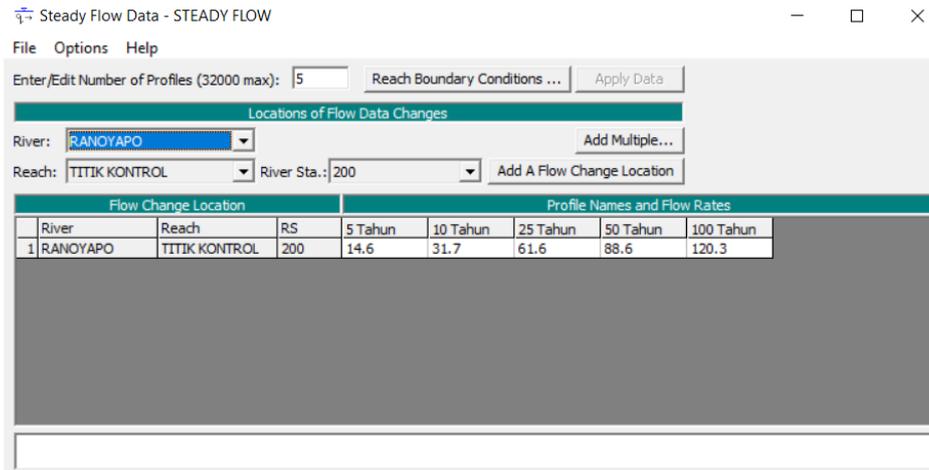
Hasil simulasi dengan menggunakan program komputer HEC-RAS menunjukkan adanya luapan di STA 0+25 pada kala ulang 50 dan 100 tahun. Luapan terjadi pada STA 0+50 pada kala ulang 25 sampai 100 tahun. Pada STA 0+125, STA 0+150, STA 0+175 dan STA 0+200 luapan terjadi pada kala ulang 10 sampai 100 tahun. Hasil simulasi menunjukkan luapan terjadi pada STA 0+100 pada setiap kala ulang.

5. Saran

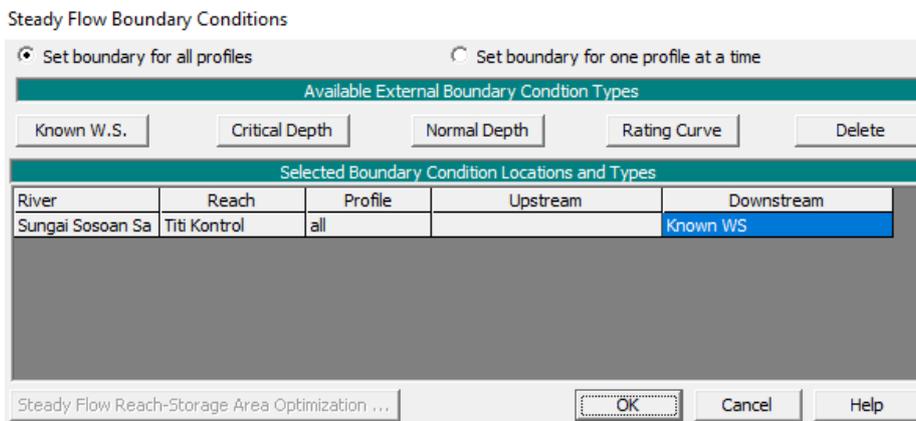
Hal yang disarankan adalah memperbaiki dan menambah tinggi tanggul yang sudah ada disepanjang STA 0+25 sampai STA 0+200.



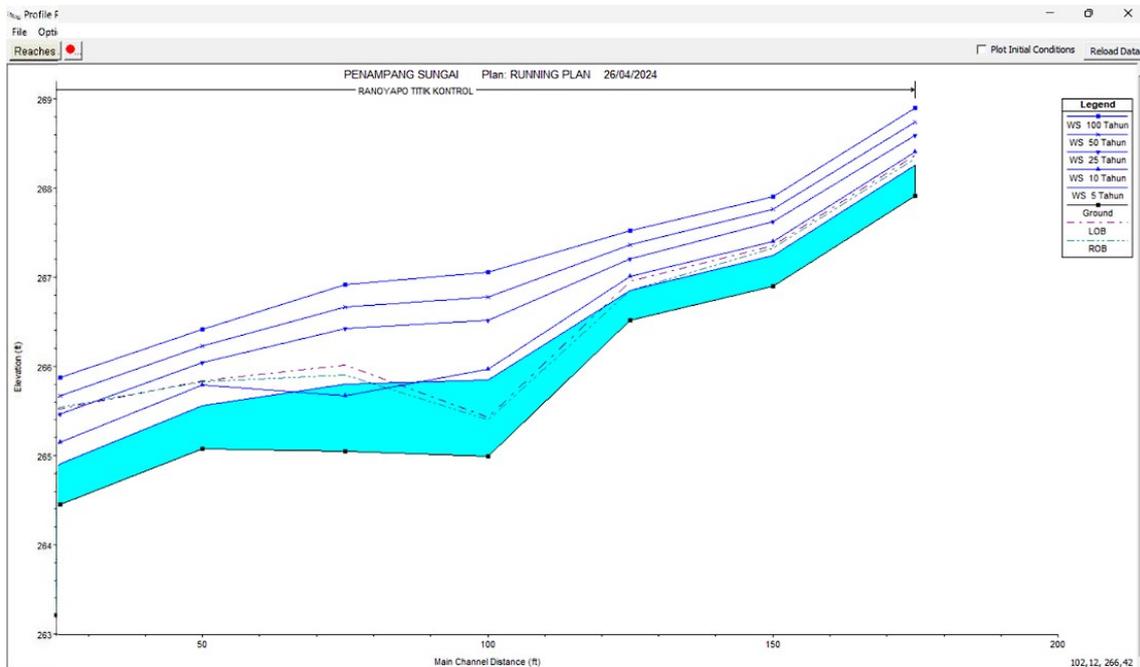
Gambar 11. Data Penampang Melintang Sungai STA 0+25



Gambar 12. Pengisian Data Debit



Gambar 13. Pengisian Reach Boundary Conditions



Gambar 14. Rangkuman Elevasi Tinggi Muka Air Profil Memanjang Sungai Ranoyapo di Titik Kontrol

Referensi

- Bambang, Triadmodjo, 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Data Hujan Harian Pos Hujan Pinaling*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- Data Debit Harian Sungai Ranoyapo*. Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- Hydrologic Engineering Center – Hydrograph Modeling System Technical 6.0 Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA. 2000.
- Hydrologic Engineering Center – River Analysis System Technical 5.0 Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, U.S Army Corps of Engineers, USA. 2016.
- Mawikere, N. C., Sumarauw, J. S., & Supit, C. J. (2022). Analisis Tinggi Muka Air Banjir Sungai Bailang Di Lorong Symphony Kelurahan Sumompo Kota Manado. *TEKNO*, 20(82), 787-796. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno/article/view/44176>
- Nadia, Kivani., Tiny Mananoma, Hanny Tangkudung. 2019. *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Tembran Di Kabupaten Minahasa Utara*. *Jurnal Sipil Statik* Vol.7 No.6 Juni 2019 (703-710) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sakudu, D. J., Sumarauw, J. S., & Mananoma, T. (2023). Kajian Pengendalian Banjir Di Sungai Kombi Desa Kombi Kabupaten Minahasa. *TEKNO*, 21(85), 1199-1209.
- Salem, Haniedo P., Jeffry S. F. Sumarauw, E. M. Wuisan, 2016. *Pola Distribusi Hujan Jam – Jaman Di Kota Manado Dan Sekitarnya*. *Jurnal Sipil Statik* Vol.4 No.3 Maret 2016 (203-210) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sri Harto. 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Suadnya, D., Sumarauw, J., & Mananoma, T. (2017). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air. *Jurnal Sipil Statik*, 5(3), 143–150. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/29979>
- Sumarauw, Jeffry. 2013. *Hujan*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, Jeffry. 2017. *Analisis Frekwensi Hujan*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Sumarauw, Jeffry. 2017. *Hidrograf Satuan Sintetis*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sumarauw, Jeffry. 2018. *HEC-HMS*. Bahan Ajar Mahasiswa, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Talumepa, Marcio Yosua. Lambertus Tanudjaja. Jeffry S. F. Sumarauw. 2018. *Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Sungai Sangkub Kabupaten Bolaan Mongondow Utara*. *Jurnal Sipil Statik* Vol.5, No.10, Desember 2017(699-719), ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado.