



Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Toubeke Kecamatan Tondano Selatan Kabupaten Minahasa

Shinta P. Aleng^{#a}, Jeffry S. F. Sumarauw^{#b}, Liany A. Hendratta^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^ashintaaleng021@student.unsrat.ac.id, ^bjeffrysumarauw@unsrat.ac.id, ^clianyhendratta@unsrat.ac.id

Abstrak

Sungai Toubeke, yang terletak di Tondano, sering mengalami luapan yang menyebabkan banjir di Kecamatan Tondano Selatan. Banjir ini mengakibatkan genangan pada jalan serta merusak beberapa rumah di daerah tersebut. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap debit banjir dan elevasi tinggi muka air Sungai Toubeke guna mengantisipasi potensi banjir di masa mendatang. Analisis debit banjir dan tinggi muka air dilakukan dengan menentukan frekuensi hujan menggunakan metode *Log Pearson III*. Data curah hujan yang digunakan berasal dari dua pos hujan, yaitu Malalayang-Kakaskasen dan Peleloan, dengan data curah hujan harian maksimum selama 15 tahun (2009-2023). Setelah memperoleh besaran hujan, pemodelan hujan aliran dilakukan menggunakan program komputer *HEC-HMS* dengan metode *HSS Soil Conservation Service (SCS)*, sedangkan kehilangan air dihitung menggunakan metode *SCS Curve Number (CN)*. Untuk aliran dasar (*baseflow*), digunakan metode *recession*. Sebelum melakukan simulasi debit banjir, dilakukan kalibrasi parameter *HSS-SCS* dengan menyesuaikan debit puncak. Parameter yang dikalibrasi meliputi *lag time*, *curve number*, *recession constant*, *baseflow*, dan *ratio to peak*, dengan batasan yang disesuaikan berdasarkan nilai standar dalam program *HEC-HMS*. Selanjutnya, debit puncak hasil simulasi untuk berbagai kala ulang dimasukkan ke dalam program *HEC-RAS* guna mensimulasikan elevasi tinggi muka air pada penampang yang telah diukur. Hasil simulasi menunjukkan pada penampang melintang dari STA 0+25 menampung banjir pada kala ulang 5 tahun dan pada kala ulang 10 tahun sampai 100 tahun tidak dapat menampung banjir. Pada STA 0+50 sampai STA 0+200 tidak mampu menampung debit banjir untuk semua kala ulang rencana.

Kata kunci: debit puncak, Sungai Toubeke, tinggi muka air

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sungai Toubeke adalah salah satu sungai utama yang berada di Kecamatan Tondano Selatan, Kabupaten Minahasa, dan memainkan peran yang sangat signifikan baik dalam ekosistem lokal maupun dalam kehidupan masyarakat sekitar. Fungsi sungai ini mencakup penyediaan sumber air untuk pertanian, kebutuhan sehari-hari, dan mendukung ekosistem alami. Akan tetapi disamping memberi banyak manfaat untuk warga, sungai ini juga dapat membawa bencana salah satunya yaitu banjir.

Berdasarkan informasi dari warga di sekitar sungai dan informasi dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, Sungai Toubeke pernah beberapa kali meluap dan menyebabkan banjir. Banjir yang terjadi di Sungai Toubeke terjadi karena hujan dengan intensitas curah hujan yang tinggi hingga mengakibatkan air meluap dari sungai dan membanjiri rumah warga dan jalan yang ada di sekitar bantaran sungai.

Untuk mengurangi risiko dan dampak banjir, sangat penting untuk melakukan analisis mendalam terhadap debit banjir serta elevasi tinggi muka air di sekitar Sungai Toubeke, agar supaya dapat mengantisipasi dampak kerusakan dan mengurangi kerugian yang akan terjadi terhadap masyarakat maupun lingkungan di daerah tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Hujan dengan intensitas yang tinggi dapat menyebabkan meluapnya air, yang berpotensi menggenangi area di sekitar Sungai Toubeka, termasuk jalan-jalan, lahan pertanian, serta pemukiman warga di sekitar sungai. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan analisis mengenai debit banjir dan tinggi muka air agar dapat mengelola dan mengatasi masalah banjir yang mungkin terjadi di daerah tersebut.

1.3. Batasan Penelitian

1. Titik kontrol terletak pada $1^{\circ}17'15.29''$ Lintang Utara $124^{\circ}52'53.17''$ Bujur Timur dengan jarak 200 m ke arah hulu.
2. Analisis hidrologi menggunakan Data Hujan Harian maksimum.
3. Analisis Perhitungan menggunakan aplikasi *HEC-HMS* untuk Analisa Hidrologi Debit Banjir dan perhitungan menggunakan aplikasi *HEC-RAS* untuk menghitung tinggi muka air menggunakan perhitungan Hidrolika.
4. Kala ulang rencana yang digunakan yaitu kala ulang 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.

1.4. Tujuan Penelitian

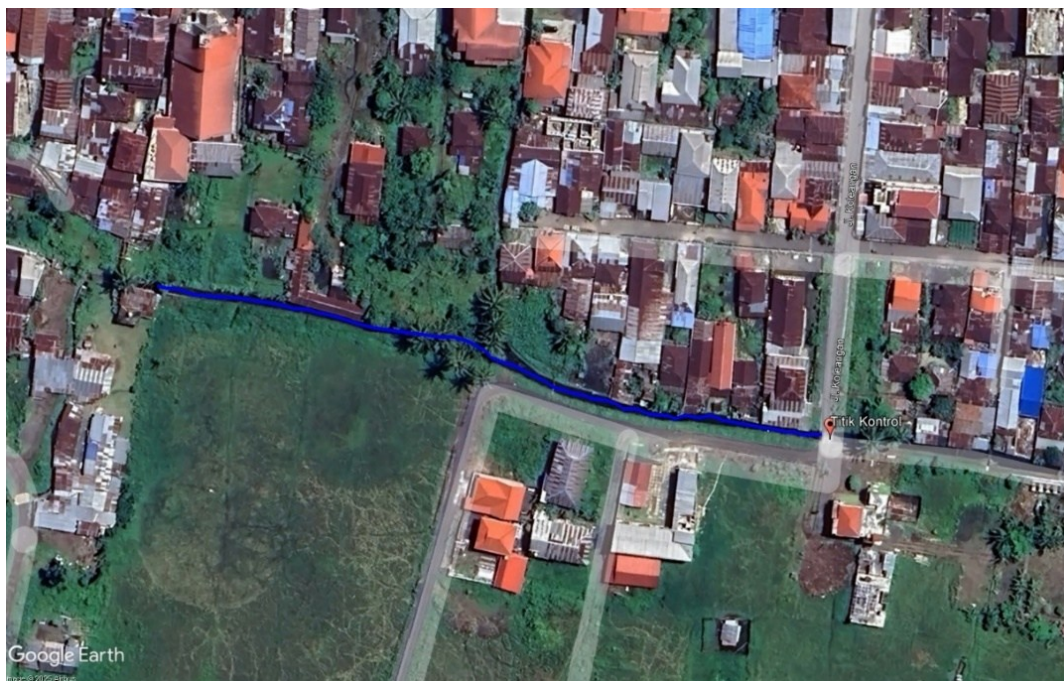
Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui besarnya debit banjir dengan berbagai kala ulang yang digunakan dan mengetahui elevasi tinggi muka air yang berpotensi terhadap penampang pada Sungai Toubeka, Kabupaten Minahasa.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini, diharapkan dapat memberikan tinjauan dan informasi yang berguna bagi instansi terkait yang berwenang dalam upaya penanggulangan banjir di Sungai Toubeka.

1.6. Lokasi Penelitian

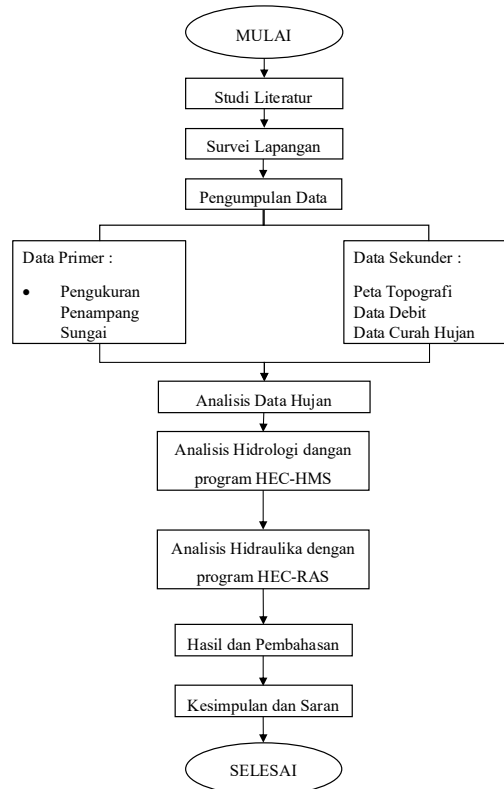
Sungai Toubeka terletak di Kelurahan Tataaran, Kecamatan Tondano Selatan, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Titik kontrol penelitian ini terletak pada 200 meter ke arah hulu Sungai Toubeka. Secara geografis terletak pada $1^{\circ}17'15.29''$ Lintang Utara $124^{\circ}52'53.17''$ Bujur Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (*Google Earth*)

2. Tahap Penelitian

Tahap penelitian digambarkan dalam alur yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1. Daur Hidrologi

Daur hidrologi, atau yang sering disebut juga siklus air, merupakan perputaran air secara terus-menerus dari bumi ke atmosfer dan kembali lagi ke bumi (Triadmodjo, 2008).

Air yang terdapat di permukaan tanah, sungai, danau, serta laut menguap ke atmosfer. Uap air ini kemudian bergerak naik dan mengalami kondensasi, membentuk titik-titik air yang membentuk awan. Titik-titik air tersebut kemudian jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan. Sebagian hujan tertahan oleh tumbuhan (intersepsi), sementara sisanya mencapai permukaan tanah. Sebagian air hujan yang sampai ke tanah meresap ke dalam tanah (infiltrasi), sedangkan sisanya mengalir di permukaan tanah (aliran permukaan atau *surface runoff*), mengisi cekungan tanah, danau, serta mengalir ke sungai dan akhirnya menuju laut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di bawah permukaan (perkolasi), mengisi cadangan air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Pada akhirnya, air yang mengalir di sungai akan menuju laut. Proses yang berlangsung secara berkelanjutan ini dikenal sebagai siklus hidrologi.

3.2. Daerah Aliran Sungai

DAS adalah suatu wilayah daratan yang dibatasi oleh punggung bukit dan berfungsi sebagai tempat mengumpulkan, menyimpan, serta mengalirkan air hujan melalui sungai utama dan anak sungainya menuju muara (Asdak, 2023).

Untuk menentukan batas DAS, diperlukan peta topografi. Peta topografi adalah peta yang menyajikan informasi lengkap tentang suatu wilayah, termasuk jalan, kota, desa, sungai, jenis tumbuhan, dan penggunaan lahan, lengkap dengan garis-garis kontur. Untuk keperluan analisis lebih lanjut dan mempertimbangkan segi kepraktisan, peta dengan skala 1:50.000 dianggap

memadai. Dari peta tersebut, ditentukan titik-titik tertinggi di sekitar sungai utama, yang kemudian dihubungkan untuk membentuk garis utuh yang akhirnya bertemu di ujungnya. Garis ini merupakan batas DAS pada titik kontrol tertentu.

3.3. Analisis Curah Hujan

Untuk memperkirakan besarnya banjir yang mungkin terjadi pada suatu penampang sungai, diperlukan data kedalaman hujan yang meliputi seluruh wilayah DAS. Oleh karena itu, tidak cukup hanya mengandalkan data hujan dari satu stasiun pengukuran, melainkan juga harus menggunakan data dari beberapa stasiun hujan yang tersebar di wilayah DAS tersebut.

Curah hujan rata-rata dari beberapa stasiun pengukuran dapat dihitung menggunakan metode Polygon Thiessen. Metode ini dianggap efektif karena memperhitungkan kedalaman hujan sebagai fungsi dari luas wilayah yang diwakili. Curah hujan rata-rata dengan cara Polygon Thiessen dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

dengan :

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \text{Curah hujan rata-rata} \\ R_1, R_2, \dots, R_n &= \text{Curah hujan di tiap titik pengamatan dan n adalah} \\ &\quad \text{jumlah titik-titik pengamatan} \\ A_1, A_2, \dots, A_n &= \text{Luas daerah yang mewakili tiap stasiun pengamatan} \end{aligned}$$

3.4. Analisis data outlier

Data *outlier* adalah data yang menyimpang secara signifikan, baik terlalu tinggi maupun terlalu rendah, dibandingkan dengan data lainnya dalam satu kumpulan. Uji *outlier* dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengoreksi data tersebut agar dapat digunakan secara efektif dalam analisis lebih lanjut.

Uji data *outlier* mempunyai 3 syarat, yaitu:

1. Jika $C_{slog} \geq 0,4$ maka: uji outlier tinggi, koreksi data, uji outlier rendah, koreksi data.
2. Jika $C_{slog} \leq -0,4$ maka: uji outlier rendah, koreksi data, uji outlier tinggi, koreksi data.
3. Jika $-0,4 < C_{slog} < 0,4$ maka : uji outlier tinggi atau rendah, koreksi data. Rumus yang digunakan:

$$\overline{\log x} = \frac{\sum \log x}{n} \quad (2)$$

$$S_{log} = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \overline{\log x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$C_{slog} = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_{log}^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (4)$$

$$\text{Outlier tinggi: } \log X_h = \overline{\log x} + Kn \cdot S_{log} \quad (5)$$

$$\text{Outlier rendah : } \log X_l = \overline{\log x} - Kn \cdot S_{log} \quad (6)$$

dengan:

$$\begin{aligned} C_{slog} &= \text{Koefisien kemencengan dalam log.} \\ S_{log} &= \text{Simpangan baku.} \\ \overline{\log x} &= \text{Nilai rata - rata.} \\ Kn &= \text{Nilai K (diambil dari outlier test K value) tergantung} \\ &\quad \text{dari jumlah data yang dianalisis.} \\ \log X_h &= \text{Outlier tinggi.} \\ \log X_l &= \text{Outlier rendah.} \\ n &= \text{Jumlah data.} \end{aligned}$$

Nilai Kn dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Untuk nilai C_{slog} lebih dari 0,4:

$$Kn = (-0,62201) + (6,28446 \times N^{1/4}) - (2,49835 \times N^{1/2}) + (0,491436 \times N^{3/4}) - (0,037911 \times N) \quad (7)$$

Untuk nilai C_{slog} kurang dari -0,4:

$$Kn = (-3,62201) + (6,28446 \times n^{1/4}) - (2,49835 \times n^{1/2}) + (0,491436 \times n^{3/4}) - (0,037911 \times n) \quad (8)$$

3.5. 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.

a) Rata – rata Hitung (*Mean*)

Rata-rata hitung merupakan nilai rata-rata dari sekumpulan data:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (9)$$

dengan:

\bar{X} = Nilai rata-rata

n = Jumlah data

X_i = Nilai varian

b) Simpangan Baku

Umumnya ukuran dispersi yang paling banyak digunakan adalah deviasi standar. 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.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (10)$$

dengan :

S = Standar deviasi.

\bar{X} = Nilai rata – rata.

n = Jumlah data.

X_i = Nilai varian.

c) Koefisien *Skewness* (Kemencengan).

Kemencengan (*Skewness*) adalah tingkat ketidaksimetrisan atau kejauhan simetri dari sebuah distribusi. Pengukuran kemencengan adalah mengukur seberapa besar suatu kurva frekuensi dari suatu distribusi tidak simetris atau menceng.

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2).S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \quad (11)$$

dengan :

Cs = Koefisien Kemencengan.

S = Standar deviasi.

\bar{X} = Nilai rata – rata

n = Jumlah data.

X_i = Nilai varian.

d) Koefisien Variasi

Koefisien variasi adalah ukuran variabilitas relatif dari data, dihitung dengan membagi standar deviasi dengan rata-rata.

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \quad (12)$$

dengan :

Cv = Koefisien variasi

S = Standar deviasi

\bar{X} = Nilai rata-rata

e) Koefisien Kurtosis

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur kemencengan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien kurtosis digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi, dan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 \quad (13)$$

dengan :

Ck = Koefisien Kurtosis

S = Standar deviasi

\bar{X} = Nilai rata-rata

N = Jumlah data

x_i = Nilai varian

3.6. Pemilihan Distribusi Probabilitas

Parameter – parameter yang digunakan sebagai langkah awal penentuan tipe distribusi adalah C_s , C_v , C_k . Kriteria pemilihan untuk tiap tipe distribusi berdasarkan parameter statistik adalah sebagai berikut:

1. Tipe Distribusi Normal

$C_s \approx 0$; $C_k \approx 3$

2. Tipe Distribusi Log Normal $C_s \approx 3C_v$

3. Tipe Distribusi *Gumbel*

$C_s \approx 1,139$; $C_k \approx 5,4$

Bila kriteria ketiga sebaran di atas tidak memenuhi, kemungkinan tipe sebaran yang cocok adalah:

4. Tipe Distribusi *Log Pearson III*

Persamaan Distribusi *Log Pearson Tipe III*:

$$\log X = \overline{\log x} + K_{TR,CS} \cdot S_{\log X} \quad (14)$$

dengan:

$\log X$ = Nilai varian X yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode ulang tertentu

$\overline{\log x}$ = Rata-rata nilai X hasil pengamatan

$K_{TR,CS}$ = Karakteristik dari distribusi *Log-Pearson Tipe III*

$S_{\log X}$ = Standar deviasi logaritmik nilai X hasil pengamatan

3.7. Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum suatu sungai yang dihitung berdasarkan periode ulang tertentu. Penentuan debit banjir rencana memerlukan data seperti curah hujan, luas daerah tangkapan air (*catchment area*), dan data penutup lahan.

3.8. Hidrograf Satuan Sintetis Soil Conservation Services (SCS)

Hidrograf tidak berdimensi SCS (Soil Conservation Services) merupakan hidrograf satuan sintetis di mana debit dinyatakan sebagai rasio antara debit (q) dan debit puncak (qp), sementara waktu dinyatakan sebagai rasio antara waktu (t) dan waktu naik hidrograf satuan (T_p). Apabila debit puncak dan waktu keterlambatan (*lag time*) dari durasi hujan efektif diketahui, maka hidrograf satuan dapat diperkirakan menggunakan metode hidrograf satuan sintetis SCS.

3.9. Kalibrasi Model

Kalibrasi merupakan suatu proses di mana nilai hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai hasil observasi lapangan. Kalibrasi Parameter HSS-SCS perlu dilakukan untuk mencari nilai parameter HSS-SCS teroptimasi dengan membandingkan hasil simulasi *HEC-HMS* dengan data debit terukur.

3.10. Simulasi Banjir Dengan Program Komputer HEC-HMS

Setelah kalibrasi, semua parameter terkalibrasi akan digunakan sebagai parameter pada komponen sub-DAS untuk perhitungan debit banjir.

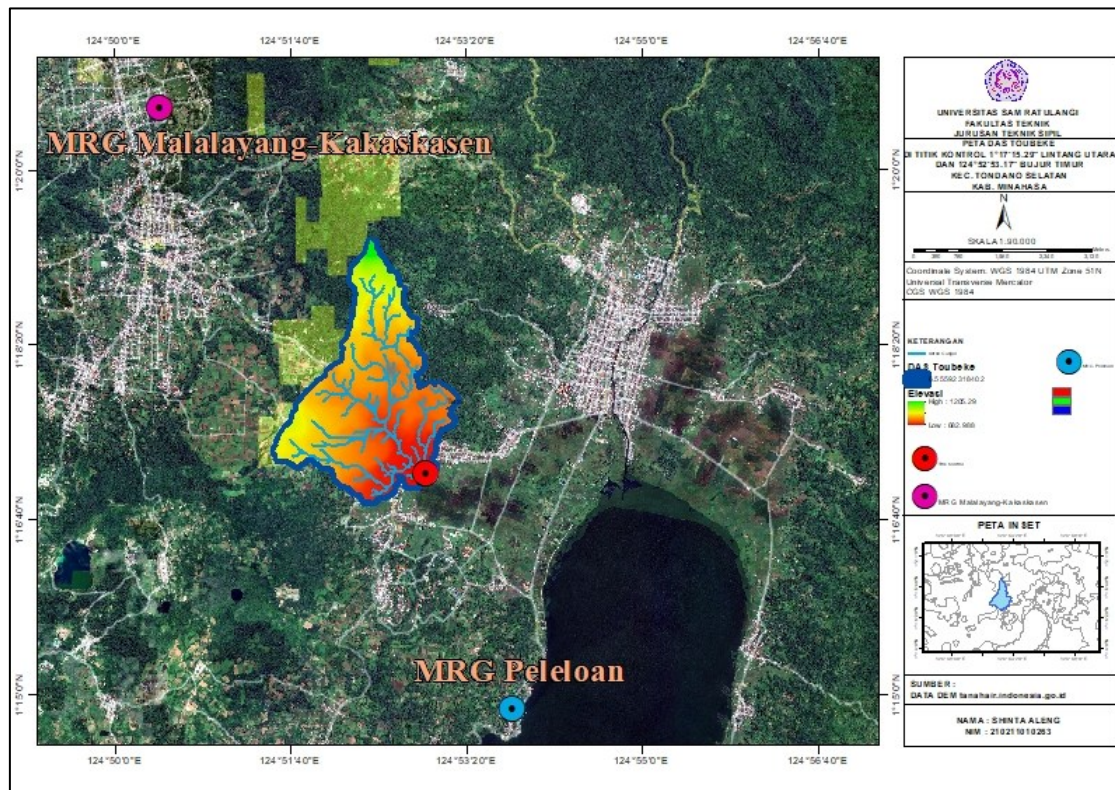
3.11. Analisis Tinggi Muka Air

Analisis Tinggi muka air menggunakan program komputer *HEC-RAS* membutuhkan data masukan yaitu penampang saluran, karakteristik saluran untuk nilai koefisien “ n ” *Manning*, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng (*Steady Flow*).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Daerah Aliran Sungai (DAS)

Analisa daerah aliran sungai (DAS) dilakukan untuk mengetahui luas DAS Toubeke. Perhitungan DAS dilakukan dengan bantuan *Software ArcMap 10.8* dengan menggunakan data yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I. Sehingga diperoleh luas DAS Toubeke sebesar 6,56 km².



Gambar 3. DAS Toubeke (*ArcGIS 10.8*, Data *DEM* www.tanahair.go.id)

4.2 Analisis Curah Hujan

Analisis curah hujan DAS Toubeke di titik koordinat 1°17'15.29" Lintang Utara dan 124°52'53.17" Bujur Timur dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I dengan periode pencatatan tahun 2009 sampai dengan tahun 2023. Pos hujan yang digunakan yaitu Pos Hujan Kakaskasen dan Pos Hujan Peleloan. Berikut merupakan data hujan harian maksimum dari tahun 2009 sampai 2023.

4.3 Analisis Data Outlier

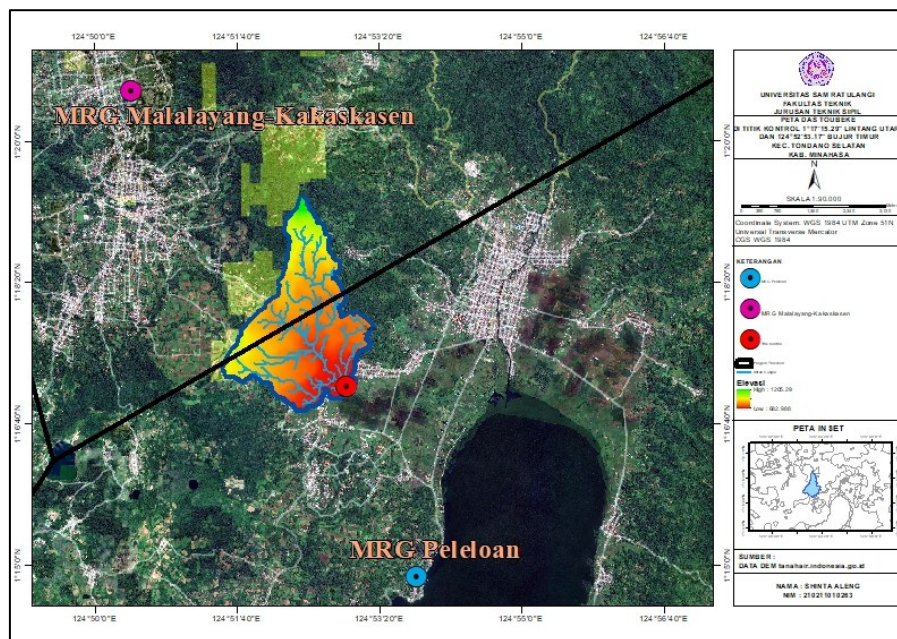
Ada 2 pos hujan yang mewakili daerah tangkapan hujan untuk DAS Toubeke di titik koordinat dan setelah melakukan uji outlier, tidak ada data hujan yang menyimpang terlalu tinggi ataupun terlalu rendah sehingga tidak perlu dilakukan koreksi dari data yang sudah ada.

4.4 Penentuan Tipe Distribusi Hujan

Hasil penentuan tipe sebaran menunjukkan tidak ada parameter statistik dari data pengamatan yang memenuhi syarat untuk distribusi normal, log normal, dan distribusi *gumbel*. Maka akan digunakan distribusi *Log Pearson* tipe III.

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum
(Sumber: Balai Wilayah Sungai Sulawesi I)

No	Tahun	Pos Hujan	
		Malalayang - Kakaskasen	Paleloan
		(mm)	(mm)
1	2009	38,00	43,00
2	2010	65,00	67,20
3	2011	92,00	90,90
4	2012	42,00	69,80
5	2013	157,00	66,50
6	2014	145,00	110,50
7	2015	204,00	64,90
8	2016	95,00	115,50
9	2017	96,00	160,20
10	2018	100,00	126,50
11	2019	104,00	157,30
12	2020	76,00	157,30
13	2021	165,00	106,10
14	2022	83,00	99,80
15	2023	76,00	118,40



Gambar 4. Polygon Thiessen pada DAS Toubeke (ArcGIS 10.8, Data DEM www.tanahair.go.id)

Tabel 2. Penentuan Jenis Sebaran Data

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Distribusi Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$	-0,93 3,58	Tidak Memenuhi
Distribusi Log-Normal	$C_s = C_v^3 + 3 C_v = 0,86$ $C_k = C_v^8 + 6 C_v^6 + 15 C_v^4 + 16 C_v^2 + 3 = 4,43$	-0,93 3,58	Tidak Memenuhi
Distribusi <i>Gumbel</i>	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,40$	-0,93 3,58	Tidak Memenuhi
Distribusi <i>Log-Pearson III</i>	Bila tidak memenuhi parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya	-	Memenuhi

4.5 Analisis Curah Hujan Rencana

Nilai $CS_{\log X}$ juga diperlukan untuk mencari nilai K. perhitungan dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung parameter statistik sehingga didapati : $CS_{\log} = -1,49$ (Kemencengan Negatif).

Faktor frekuensi K untuk tiap kala ulang terdapat pada tabel K_T untuk kemencengan negatif (terlampir) yang ditentukan dengan menggunakan nilai C_{SlogX} dan kala ulang dalam tahun.

Tabel 3. Nilai C_{Slog} Terhadap Kala Ulang
(Bambang Triatmodjo, 2008)

C_{Slog}	Periode Ulang/Kala Ulang (Tahun)					
	2	5	10	25	50	100
	<i>Exceedance Probability</i>					
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,494	0,239	0,825	1,019	1,159	1,220	1,260
-1,5	0,240	0,825	1,018	1,157	1,217	1,256

Selanjutnya adalah perhitungan hujan kala ulang 5 tahun :

$$\begin{aligned}\log X_{TR} &= \bar{Y} + K \cdot S_{\log x} = 1,99 + (0,83) \times 0,15 \\ &= 2,12 \\ X_{TR} &= 10^{2,12} = 130,76 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tabel 4. Nilai Curah Hujan Rencana

Kala Ulang (TR)	Curah Hujan (mm)
5 Tahun	130,76
10 Tahun	139,81
25 Tahun	146,73
50 Tahun	149,83
100 Tahun	151,89

Hasil tabel tersebut merupakan hasil perhitungan menggunakan rumus persamaan untuk tipe sebaran *Log Pearson III* untuk tiap kala ulang.

4.6 Pola Distribusi Hujan Jam – Jaman

Tabel 5. Curah Hujan Rencana
Berdasarkan Pola Distribusi Hujan Manado, Minahasa Utara dan Minahasa
(Sumarauw Jeffry Singly Frans, 2017)

Jam Ke-	1	2	3	4	5	6	7-10
% Distribusi Hujan	50,83	25,17	8,64	4,93	2,93	1,35	1,24

Tabel 6. Distribusi Hujan Rencana Berbagai Kala Ulang

Jam Ke	Kala Ulang (Tahun)				
	P (mm)				
	5	10	25	50	100
1	66,46	71,06	74,58	76,16	104,62
2	32,91	35,19	36,93	37,71	51,81
3	11,30	12,08	12,68	12,95	17,78
4	6,45	6,89	7,23	7,39	10,15
5	3,83	4,10	4,30	4,39	6,03
6	1,77	1,89	1,98	2,02	2,78
7	3,18	3,40	3,57	3,64	2,55
8-10	1,62	1,73	1,82	1,86	1,88
Total (mm)	127,51	136,34	143,09	146,12	197,60

Tabel di atas merupakan hasil perkalian dari curah hujan rencana dengan persentase distribusi hujan tiap jam.

4.7 Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Nilai *CN* rata – rata untuk DAS Toubeké didapat dengan menjumlahkan hasil kali antara nilai *CN* tiap tutup lahan dengan persentase luas lahan terhadap luas total.

Tabel 7. Perhitungan Nilai *CN* Rata – Rata DAS Toubeké
(Analisis Data, 2025)

Jenis Tutup Lahan	Luas (Km)	Presentase (%)	<i>CN</i> Tiap Lahan	<i>CN</i>
Hutan	2,13	32,46	77	24,99
Perkebunan	1,02	15,50	79	12,25
Pemukiman	0,66	10,07	91	9,16
Sawah/irigasi	1,18	18,06	84	15,17
Semak/belukar	1,57	23,91	79	18,89
Total	2,13	100	-	80,46

Nilai *CN* rata – rata DAS Toubeké adalah 80,46.

4.8 Analisa Banjir Rencana

Pemodelan hujan aliran pada program komputer *HEC – HMS* akan menggunakan metode *HSS Soil Conserve Service*, dan untuk kehilangan air dengan *SCS Curve Number (CN)* . Untuk aliran dasar (*baseflow*) akan menggunakan metode *recession*.

Asumsi *lag time* awal dari DAS Sario dengan data parameter DAS sebagai berikut:

L = 2550 m

S = 0,051 m/m

CN = 80,46

Perhitungan dilakukan sebagai berikut :

$$T_l = \frac{L^{0,8}(2540-22,86 \text{ CN})^{0,7}}{14,104 \text{ CN} \times S^{0,5}}$$

$$T_l = \frac{2550^{0,8}(2540-22,86 \times 80,46)^{0,7}}{14,104 \times 80,46 \times 0,051^{0,5}}$$

$$= 3,01 \text{ Jam}$$

$$= 180,55 \text{ Menit}$$

Selanjutnya, menghitung debit di Sungai Toubeké dengan menggunakan metode analisis regional. Didapatkan data debit rata-rata Sungai Toubeké tahun 2023 adalah 0,246 m³/det. Debit ini akan digunakan sebagai *initial discharge* pada program komputer *HEC-HMS*.

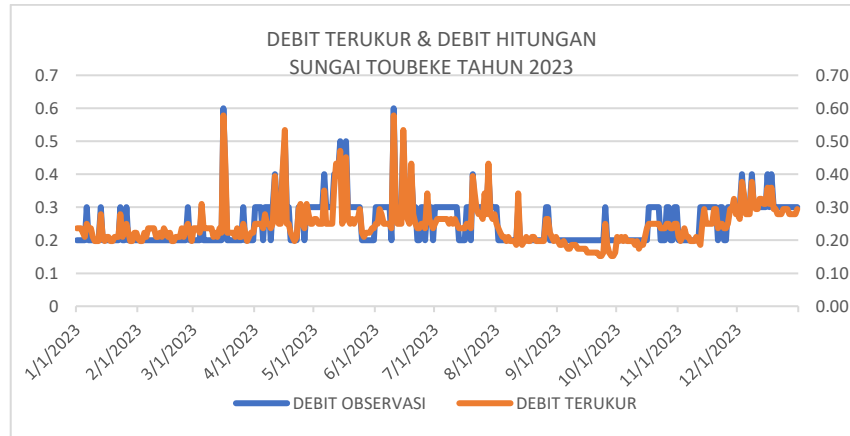
4.9 Parameter Hasil Kalibrasi

Parameter yang telah dioptimalkan menggunakan program komputer *HEC-HMS* dikarenakan hasil kalibrasi debit puncak sama dengan 5,1 m³/det yang melebihi nilai debit terukur 0,6 m³/det. Dengan metode *Trial and Error* pada parameter yang ada akan diperoleh debit hasil yang memenuhi ketentuan. Parameter hasil kalibrasi ditampilkan dalam Tabel 9. Parameter yang telah dioptimasi akan dipakai untuk simulasi debit banjir rencana menggunakan program komputer *HEC-HMS*.

Tabel 8. Parameter – Parameter Hasil Kalibrasi

<i>CN</i>	60
<i>Recession constant</i>	0,01
<i>Ratio to Peak</i>	0,1
<i>Initial Discharge</i>	0,1
<i>Lag Time</i>	180,55

4.10 Data Debit Hasil Perhitungan dan Data Debit Terukur

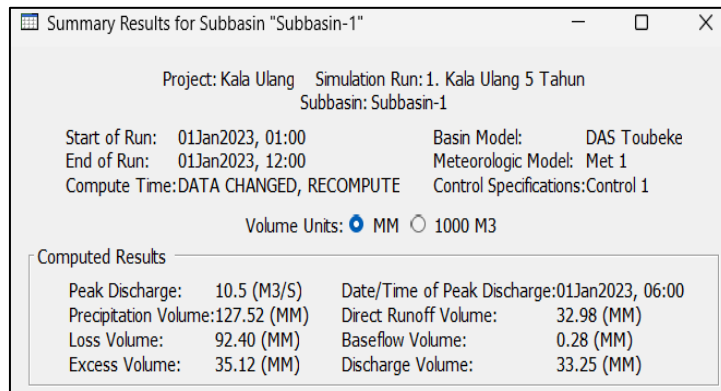


Gambar 5. Grafik Debit Hasil Perhitungan dan Debit Terukur

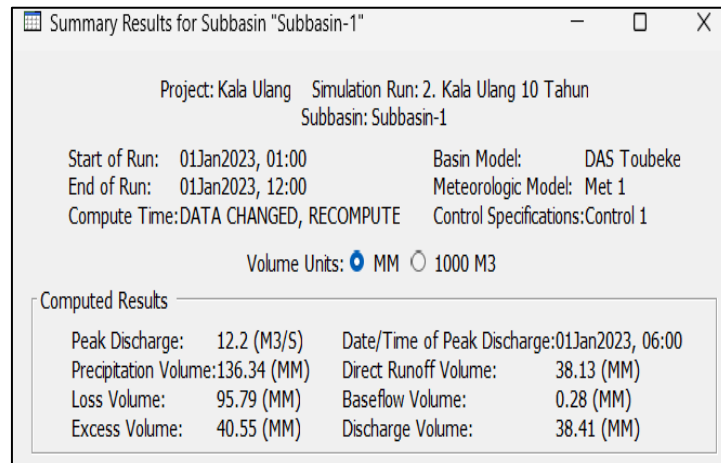
Grafik diatas adalah perbandingan dari data debit hasil perhitungan dan debit terukur, dimana nilai debit puncaknya sudah mendekati.

4.11 Simulasi Debit Banjir dengan Program Komputer HEC-HMS

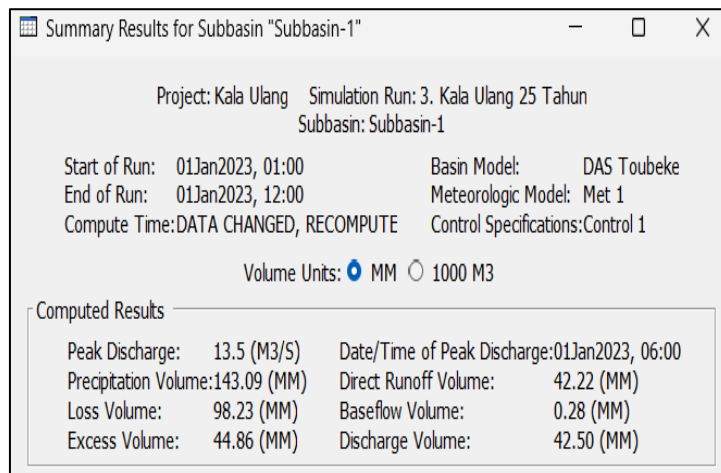
Setelah kalibrasi, semua parameter terkalibrasi akan digunakan sebagai parameter pada komponen sub-DAS untuk perhitungan debit banjir. Dengan data hujan rencana jam-jaman yang telah dihitung maka diperoleh hasil simulasi program komputer *HEC-HMS* sebagai berikut:



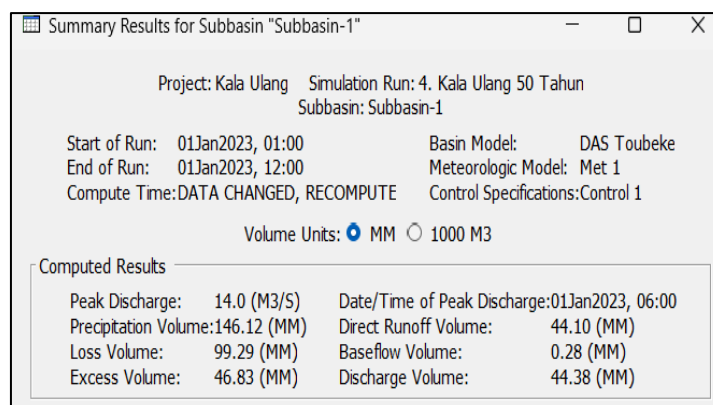
Gambar 6. Summary Result Kala Ulang 5 Tahun



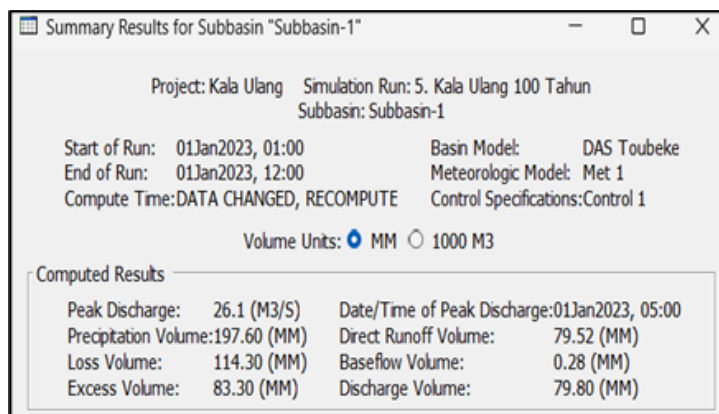
Gambar 7. Summary Result Kala Ulang 10 Tahun



Gambar 8. Summary Result Kala Ulang 25 Tahun



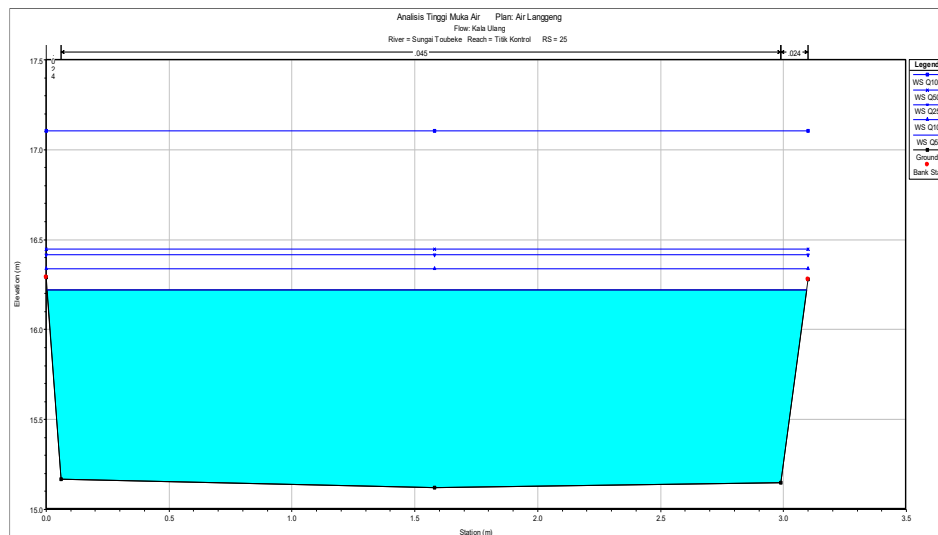
Gambar 9. Summary Result Kala Ulang 50 Tahun



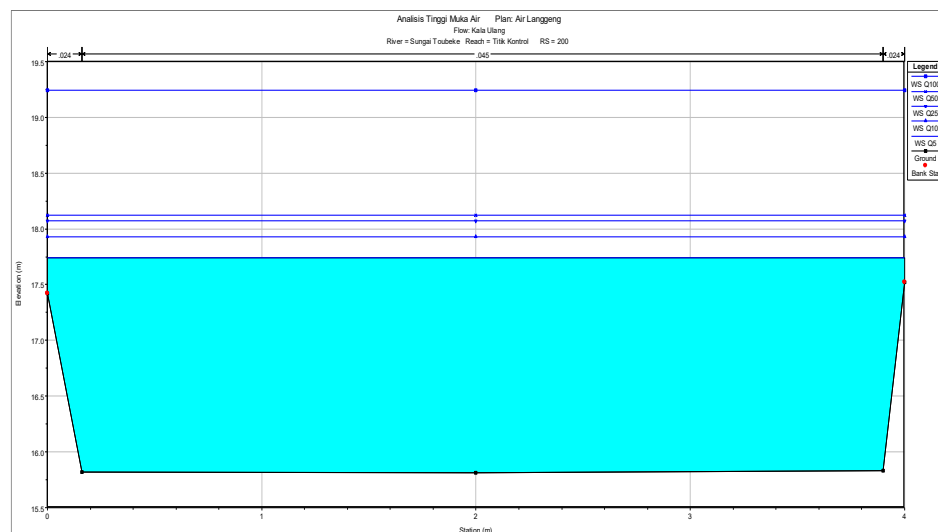
Gambar 10. Summary Result Kala Ulang 100 Tahun

4.12 Simulasi Tinggi Muka Air dengan Program Komputer HEC-RAS

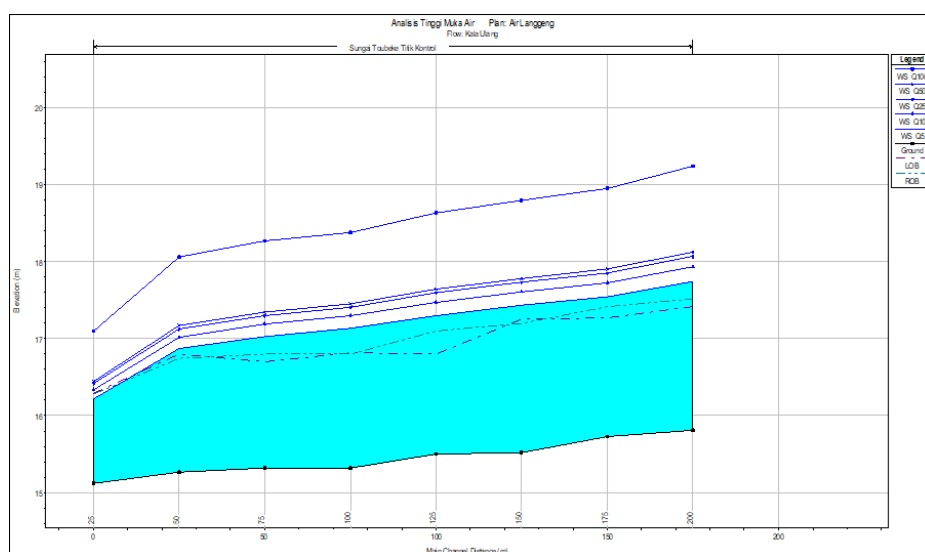
Analisis Hidraulika menggunakan program komputer *HEC-RAS* dilakukan dengan data masukan yaitu data debit puncak dari perhitungan *HSS-SCS* yang diolah menggunakan program komputer *HEC-HMS*, dan data penampang sungai serta koefisien kekasaran saluran (nilai "*n*" *mannig*). Hasil simulasi menunjukkan adanya luapan air yang terjadi pada STA 0+50, STA 0+100, STA 0+150, STA 0+200 pada debit banjir kala ulang 5 tahun (Q_5), 10 tahun (Q_{10}), 25 tahun (Q_{25}), 50 tahun (Q_{50}), 100 tahun (Q_{100}). Kemudian pada STA 0+25 dapat menampung debit banjir kala ulang 5 tahun (Q_5).



Gambar 11. Rangkuman Tinggi Muka Air STA 0+25 m



Gambar 12. Rangkuman Tinggi Muka Air STA 0+200m



Gambar 13. Rangkuman Tinggi Muka Air Potongan Memanjang Sungai Toubeke

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Debit banjir yang terjadi untuk kala ulang 5 tahun (Q_5) = 10,5 m³/det, kala ulang 10 tahun (Q_{10}) = 12,2 m³/det, kala ulang 25 tahun (Q_{25}) = 13,5 m³/det, kala ulang 50 tahun (Q_{50}) = 14 m³/det, kala ulang 100 tahun (Q_{100}) = 26,1 m³/det.

Hasil simulasi *HEC-RAS* menunjukkan adanya luapan air yang terjadi pada beberapa kala ulang (Q). Hanya kala ulang 5 tahun (Q_5) STA 0 + 25 m yang tidak mengalami luapan.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian mengenai tinggi muka air banjir Sungai Toubek, maka disarankan untuk menambah tinggi talud di antara STA 0+25 hingga STA 0+200 agar dapat mencegah air meluap ke daerah-daerah yang berada di sekitar sungai.

Referensi

- Asdak, C. (2023). Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. *Universitas Gadjah Mada Press*.
- Ersin, S. (1990). Dasar-dasar hidrologi. *Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.
- Hartini, E. (2017). Modul Hidrologi & Hidrolika Terapan. *Universitas Dian Nuswantoro Semarang*, 94.
- Hendratta, L. A., Laurentia, S. C., Koh, D., Mangangka, I., Thambas, A., Sumanti, F., & Monica, L. (2024). Tondano Lake Management-Environmental Issues and Integrated Counter Measurements. *Environment and Ecology Research*, 12(5), 480–491. <https://doi.org/10.13189/eer.2024.120502>
- Hendratta, L. A., Ratu, Y. A., Laurentia, S. C., Koh, D. K., & Monica, L. (2024). *Sedimentation Analysis Study in Lake Tondano Due to the Development of the Surrounding Area*. <https://doi.org/10.2174/0118741495347671240910115151>
- Kairupan, S. D., Sumarauw, J. S. F., & Hendratta, L. A. (2024). Analisis Kapasitas Penampang Terhadap Debit Banjir Anak Sungai Tikala. 22(88).
- Kamase, M., Hendratta, L. A., & Sumarauw, J. S. F. (2017). Analisis Debit dan Tinggi Muka Air Sungai Tondano di Jembatan Desa Kuwil Kecamatan Kalawat. *Jurnal Sipil Statik*, 5(4), 175–185.
- Mawikere, N. C., Sumarauw, J. S. F., & Supit, C. J. (2022). Analisis Tinggi Muka Air Banjir Sungai Bailang Di Lorong Simphony Kelurahan Sumompo Kota Manado. *Tekno*, 20, 787–796. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno/article/view/44176%0Ahttps://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno/article/download/44176/40317>
- Sakudu, D. J., Sumarauw, J. S. F., & Mananoma, T. (2023). Kajian Pengendalian Banjir Di Sungai Kombi Desa Kombi. 21(85).
- Scharffenberg. (2016). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual CPD-74A. Agosto*, 598. http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.0.pdf
- 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, J. S. F. (2017). Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman Daerah Manado, Minahasa Utara dan Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*, 5(10), 669–678.
- Sumarauw, J. S. F., & Ohgushi, K. (2012). Analysis on curve number, land use and land cover changes in the Jobaru River basin, Japan. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(7), 787–793.
- Supit, C. J. (2009). *The Impact Of Water Projects On River Hydrology*.
- Syafullah Fattah, R., Irwan, A., & Yunus, I. (2023). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Cipondoh Di Kota Tangerang. *Inter Tech*, 1(2), 51–62. <https://doi.org/10.54732/i.v1i2.1064>
- Syaloom, V., Jeffry, M., Sumarauw, S. F., & Hendratta, L. A. (2020). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Taler Di Kelurahan Papakelan Kecamatan Tondano Timur Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 539–544.
- Talumepa, M. Y., Tanudjaja, L., & Sumarauw, J. S. F. (2017). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Lombagin Kabupaten Bolaang Mongondow. *Tekno*, 17(71), 699–710.
- Tampi, A. C., Sumarauw, J. S. F., & Supit, C. J. (2023). Analisis Tinggi Muka Air Banjir Sungai Paniki. *Borgo, Di Desa Minahasa, Tanawangko Kabupaten*, 21(85).
- Triadmodjo, B. (2008). Hidrologi Terapan. *Beta Offset Yogyakarta*.
- US Army Corps of Engineers. (2016). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, February*, 547.