



Analisis Debit Banjir Dan Luas Genangan Sungai Tikala Di Titik Jembatan Maesa Kota Manado

Jillyani Momongan^{#a}, Jeffry S. F. Sumarauw^{#b}, Liany A. Hendratta^{#c}

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

^ajillianymomongan021@student.unsrat.ac.id, ^bjeffrysumarauw@unsrat.ac.id, ^clianyhendratta@unsrat.ac.id

Abstrak

Sungai Tikala di Kota Manado merupakan salah satu sungai yang sering mengalami banjir, terutama di sekitar Jembatan Maesa yang menghubungkan Kelurahan Perkamil dan Kelurahan Paal IV. Penelitian ini bertujuan menganalisis debit banjir rencana serta memodelkan tinggi muka air dan luas genangan banjir di lokasi tersebut. Analisis hidrologi dilakukan menggunakan HEC-HMS berdasarkan data curah hujan maksimum, sedangkan analisis hidraulika menggunakan HEC-RAS dengan memanfaatkan data topografi, debit sungai, dan penampang melintang sungai. Simulasi dilakukan pada segmen sungai sepanjang 100 m ke arah hulu dan 100 m ke arah hilir dari Jembatan Maesa untuk kala ulang 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Hasil penelitian menunjukkan debit banjir rencana berturut-turut sebesar 191,4; 251,5; 323,3; 382,1; dan 422,0 m³/detik. Pemodelan hidraulika mengidentifikasi luapan air yang konsisten pada penampang STA 0+050 hingga STA 0+200. Luas genangan meningkat dari 2,3796 km² pada kala ulang 5 tahun menjadi 3,2872 km² pada kala ulang 100 tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas penampang Sungai Tikala belum mampu menampung debit banjir rencana sehingga diperlukan upaya mitigasi banjir secara struktural maupun non-struktural.

Kata kunci: Sungai Tikala, debit puncak, tinggi muka air, luas genangan, Jembatan Maesa

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sungai Tikala di Kelurahan Perkamil, Kecamatan Paal Dua, Kota Manado, merupakan kawasan yang sering mengalami banjir akibat tingginya curah hujan. Peningkatan debit aliran sering melebihi kapasitas sungai sehingga menyebabkan luapan yang menggenangi permukiman dan mengganggu akses transportasi di sekitar Jembatan Maesa. Banjir besar pernah terjadi pada tahun 2014 dan kembali berulang pada tahun 2021, 2023, dan 2025. Kondisi ini dipengaruhi oleh penyempitan penampang sungai, sedimentasi, serta meningkatnya limpasan permukaan akibat perkembangan kawasan permukiman. Oleh karena itu, diperlukan analisis debit banjir dan luas genangan di Sungai Tikala pada titik Jembatan Maesa untuk mengetahui besarnya debit banjir dan luas wilayah terdampak. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar dalam perencanaan pengendalian banjir dan upaya mitigasi di masa mendatang.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, meluapnya Sungai Tikala mengakibatkan kerugian bagi warga sekitar Sungai Tikala. Maka diperlukan upaya penanganan dengan meng-analisis debit banjir rencana pada Sungai Tikala di Titik Jembatan Maesa serta bagaimana luas genangan yang ditimbulkan.

1.3. Batasan Penelitian

1. Titik kontrol berada di jembatan maesa dengan jarak 100 meter arah ke hilir dan 100 meter ke hulu dari jembatan.
2. Analisis hidrologi menggunakan data curah hujan harian maksimum
3. Kala ulang rencana dibatasi pada 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun
4. Metode yang digunakan: Analisis hidrologi dilakukan menggunakan program komputer HEC-HMS untuk mendapatkan besaran debit banjir rencana, sedangkan analisis hidraulika menggunakan program komputer HEC-RAS untuk mendapatkan tinggi muka air beserta luas genangan.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mengenai besaran debit banjir dan dampaknya terhadap luas genangan dalam berbagai kala ulang pada Sungai Tikala.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan bisa memberikan informasi sehingga dapat menjadi dasar pertimbangan dalam perencanaan dan pengendalian banjir bagi pihak-pihak yang berwenang dan juga dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

1.6. Lokasi Penelitian

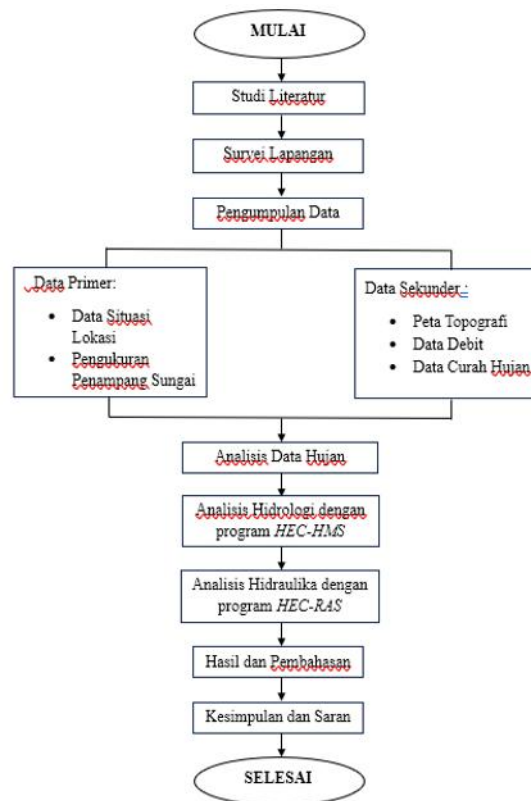
Titik Kontrol yang diambil untuk penelitian ini terletak di Jembatan Maesa yang menjadi penghubung antara kelurahan Perkamil dan kelurahan Paal-IV. Secara geografis terletak pada titik koordinat $1^{\circ}28'30.2''$ Lintang Utara $124^{\circ}52'09.5''$ Bujur Timur.



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. Siklus Hidrologi

Hidrologi merupakan ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam, antara lain meliputi bentuk air, yang terkait dengan perubahannya seperti kondisi cair, padat, dan gas di dalam atmosfer bumi yang berada di atas dan di bawah permukaan tanah.

3.2. Daerah Aliran Sungai

DAS merupakan daerah yang dibatasi oleh pemisah air topografik (*topographic water divide*), apabila terjadi hujan maka air akan mengalir menuju pada saluran air yang dapat saling bersambungan (sistem sungai), sehingga aliran air terkumpul pada satu sungai dan akan keluar melalui satu saluran (*outlet*) pada wilayah sungai tersebut.

3.3. Analisis Curah Hujan

Secara hidrologi, jenis curah hujan yang diperlukan untuk perencanaan pemanfaatan sumber daya air dan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata wilayah yang dinyatakan dalam mm. Karena distribusi hujan yang terjadi umumnya tidak merata, besarnya curah hujan wilayah ini harus diperkirakan berdasarkan tinggi hujan pada beberapa dalam stasiun pengamatan hujan (J. S. F. Sumarauw, 2023b).

3.4. Analisis Data Outlier

Data *outlier* adalah data yang secara statistik menyimpang jauh dari kumpulan datanya (Sumarauw, 2023). Ada kemungkinan kesalahan yang di kandung dari data hidrologi yang didapatkan dari stasiun pengamat sehingga dapat berpengaruh dalam analisis hidrologi. Uji *outlier* dilakukan untuk mengoreksi data sehingga baik untuk digunakan pada analisis selanjutnya.

Berdasarkan metode koefisien *skewness* syarat-syarat untuk pengujian data *outlier*, 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
- Untuk menghitung *outlier* tinggi maupun rendah digunakan rumus pada persamaan berikut:

- *Outlier* tinggi :

$$\text{Log } x_h = \overline{\log x} + Kn \cdot S_{\log} \quad (1)$$

- *Outlier* rendah :

$$\text{Log } x_l = \overline{\log x} - Kn \cdot S_{\log} \quad (2)$$

- $\text{Log } x = \frac{\sum \log x}{n} \quad (3)$

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

- $Cs_{\log} = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_{\log}^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (5)$

Dengan :

$Cs_{\log}$ = Koefisien kemenangan

$S_{\log}$ = Simpangan baku

$\overline{\log x}$ = Nilai rata-rata

Kn = Nilai K (diambil dari *outlier test K Value*) tergantung dari jumlah data yang di analisis

$\text{Log } X_h$ = *Outlier* tinggi

$\text{Log } X_l$ = *Outlier* rendah

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. (Hendratta et al., 2023).

3.6. Pemilihan Distribusi Probabilitas

Analisis hidrologi terhadap data curah hujan yang ada harus sesuai dengan tipe distribusi datanya. Masing –masing tipe distribusi memiliki sifat –sifat yang khusus sehingga tiap data hidrologi harus diuji kesesuaiannya dengan sifat masing –masing tipe distribusi tersebut. Parameter –parameter yang digunakan sebagai langkah awal penentuan tipe distribusi adalah Cs , Cv , Ck . Kriteria pemilihan untuk tiap-tipe distribusi berdasarkan parameter statistik adalah sebagai berikut :

1. Tipe Distribusi Normal

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

2. Tipe Distribusi Gumbel

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

3. Tipe Distribusi Log Normal

$Cs \approx 3Cv$

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:

$$\text{Log } X = \overline{\log X} + K_{TR,CS} \cdot S_{\log x}$$

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 Pola Distribusi Hujan Jam-jaman

Distribusi hujan jam-jaman adalah pembagi intensitas hujan berdasarkan pola hujan suatu

daerah. Pola hujan kota manado dan wilayah sekitarnya digunakan dalam penelitian ini. Pola distribusi hujan jam-jaman di Kota Manado dan sekitarnya terjadi dalam waktu 8-10 jam.

3.8 Debit Banjir Rencana

Pemodelan Hujan aliran program komputer *HEC-HMS* akan menggunakan metoode *HSS Soil Conservation Services*, dan untuk kehilangan air dengan *SCS Curve Number (CN)*. Untuk aliran dasar (*baseflow*) akan menggunakan metode *recession*.

3.9 Kalibrasi Model

Kalibrasi merupakan proses membandingkan hasil simulasi dengan data observasi untuk memperoleh parameter model yang optimal. Pada penelitian ini, kalibrasi metode *HSS SCS* dilakukan dengan membandingkan debit puncak hasil simulasi *HEC-HMS* terhadap data debit terukur.

3.10 Simulasi Banjir Dengan Program Komputer *HEC-HMS*

Setelah parameter *HSS SCS* dikalibrasi, nilai dari parameter-parameter tersebut digunakan sebagai parameter pada komponen sub DAS untuk melakukan perhitungan debit banjir.

3.11 Analisis Tinggi Muka Air

Perhitungan tinggi muka air dilakukan dengan menggunakan program komputer *HEC-RAS* yang memerlukan data masukan berupa penampang sungai, nilai koefisien kekasaran *Manning (n)*, serta debit banjir untuk analisis aliran tetap (*steady flow*).

3.12 Analisis Luas Genangan

Perhitungan luas genangan dilakukan dengan menggunakan program komputer *HEC-RAS* yang memerlukan data masukan yaitu kemiringan (*Friction Slope*) dan data debit rencana jam-jaman tiap kala ulang (*Flow Hydrograph*).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Curah Hujan

Analisis curah hujan pada DAS Tikala di titik Jembatan Maesa, Kota Manado, menggunakan data curah hujan harian maksimum yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I. Data yang digunakan mencakup periode tahun 2008-2024 dan berasal dari tiga pos hujan di sekitar DAS Tikala, yaitu Pos Hujan Tikala-Sawangan, Pos Hujan Tikala-Kaleosan, dan Pos Hujan Tikala-Rumengkor. Data curah hujan harian maksimum untuk periode tahun 2008-2024 ditampilkan pada Tabel 1.

4.2 Uji Outlier

Pengujian data *outlier* menentukan jumlah data yang menyimpang terlalu tinggi atau terlalu rendah. Kesalahan dalam pencatatan data atau kejadian ekstrim dapat menyebabkan data menyimpang. Hasil uji outlier data data hujan harian maksimum ketiga pos hujan didapatkan data curah hujan yang menyimpang terlalu tinggi pada pos hujan Tikala-Kaleosan dan pos hujan Tikala-Rumengkor, maka data tersebut dikoreksi.

4.3 Penentuan Tipe Distribusi Hujan

Faktor frekuensi K setiap kala ulang terdapat pada tabel nilai K_T untuk kemencengan negatif (terlampir) yang ditentukan menggunakan nilai $C_{s \log x} = -0,045$ dan kala ulang dalam tahun.

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

No.	TAHUN	MRG Tikala- Sawangan	MRG Tikala- Kaleosan	MRG Tikala- Rumengkor
1	2008	130,8	70	82,1
2	2009	100,3	50,3	118,4
3	2010	123	175,5	104,5
4	2011	120,3	57	87,8
5	2012	110	90,2	111,5
6	2013	180,4	80,6	146,6
7	2014	170,7	177	183
8	2015	90	105	108,5
9	2016	90,7	478	76,2
10	2017	180	149	96
11	2018	76	103,5	78
12	2019	130	96	44,2
13	2020	121	143	72
14	2021	175	149,5	113,5
15	2022	165	87,3	76
16	2023	150	85	73
17	2024	120	235	98

4.4 Curah Hujan Rencana

Nilai koefisien kemencengan log (C_{slog}) diperlukan untuk menentukan faktor frekuensi (K). Penentuan nilai tersebut diawali dengan perhitungan parameter statistik, sehingga diperoleh nilai C_{slog} sebesar -0,045 yang menunjukkan kemencengan negatif. Selanjutnya, nilai K untuk setiap kala ulang ditentukan berdasarkan Tabel KTR, C_s untuk kemencengan negatif dengan menggunakan nilai C_{slog} dan kala ulang yang direncanakan.

Tabel 2. Penentuan Jenis Sebaran Data

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Normal	$C_s = 0$	0,31	Tidak Memenuhi
	$C_k = 3$	3,1	
	$C_s = C_v3 + 3 C_v = 0,85$	1,08	
Log Normal	$C_k = C_v8 + 6 \cdot C_v6 + 15 \cdot C_v4 + 16 \cdot C_v2 + 3 = 4,31$	5,14	Tidak Memenuhi
Gumbell	$C_s = 1,14$	0,31	Tidak Memenuhi
	$C_k = 5,40$	3,1	
Log Pearson III	Bila Tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi sebelumnya	-	Memenuhi

Tabel 3. Nilai KTR, C_s Untuk Tiap Kala Ulang

C_{slog}	Periode Ulang/Kala Ulang (Tahun)				
	5	10	25	50	100
<i>Exceedance Probability</i>					
-0,4	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,457	0,855	1,222	1,584	1,834	1,987
-0,5	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955

Selanjutnya adalah perhitungan hujan rencana untuk kala ulang 5 tahun:

$$\text{Log}X_{TR} = \bar{Y} + K.S_{\log x} = 1,99 + (0,855) \times 0,16 = 2,12$$

$$X_{TR} = 10^{2,12} = 134,14$$

Tabel 4. Nilai Curah Hujan Rencana

Kala Ulang	Curah Hujan (Mm)
5 Tahun	134,14
10 Tahun	153,65
25 Tahun	175,61
50 Tahun	192,63
100 Tahun	203,82

Hasil yang disajikan pada tabel merupakan nilai yang diperoleh melalui perhitungan menggunakan metode distribusi Log Pearson Tipe III untuk setiap kala ulang yang dianalisis.

4.5 Pola Distribusi Hujan Jam-jaman

Untuk analisis tinggi muka air menggunakan program komputer HEC RAS dimasukkan penampang saluran, karakteristik saluran untuk nilai koefisien n manning, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng (steady flow).

Tabel 5. Pola Distribusi Hujan Kota Manado dan Sekitarnya
(Sumarauw, 2017)

Jam Ke-	1	2	3	4	5	6	8-10
% Distribusi Hujan	50,83	25,17	8,64	4,93	2,93	1,35	2,43

Tabel 6. Distribusi Hujan Rencana Berbagai Kala Ulang

Jam Ke	Kala Ulang (Tahun)				
	P (mm)				
	5	10	25	50	100
1	68,18	78,1	89,26	97,91	103,6
2	33,76	38,67	44,2	48,48	51,3
3	11,59	13,28	15,17	16,64	17,61
4	6,61	7,58	8,66	9,5	10,05
5	3,93	4,5	5,15	5,64	5,97
6	1,81	2,07	2,37	2,6	2,75
7	3,26	3,73	4,27	4,68	4,95
8-10	1,66	1,91	2,18	2,39	2,53
Total (mm)	129,15	147,94	169,07	185,46	196,24

Tabel di atas menyajikan hasil perhitungan yang diperoleh dari perkalian antara curah hujan rencana dan persentase distribusi hujan setiap jam.

4.6 Perhitungan Nilai SCS Curve Number

Tabel 7. Jenis Tutup Lahan DAS Tikala di Titik Jembatan Maesa, Kota Manado
(Analisis Data, 2025)

Jenis Tutup Lahan	Luas (Km)	Persentase (%)
Hutan Lahan Kering Sekunder	1,63	1,84
Belukar	6,68	7,54
Pemukiman	5,28	5,96
Tanah Terbuka	0,45	0,51
Pertanian Lahan Kering	6,41	7,24
Pertanian Lahan Kering Campur	68,15	76,93
Total	88,59	100,00

Tabel di atas menyajikan hasil perhitungan yang diperoleh dari perkalian antara curah hujan rencana dan persentase distribusi hujan setiap jam.

Tabel 8. Perhitungan Nilai CN Rata-rata DAS Sungai Tikala di Titik Jembatan Maesa, Kota Manado
(Analisis Data, 2025)

Jenis Tutup Lahan	Luas (Km ²)	Persentase (%)	CN Tiap Lahan	CN
Hutan Lahan Kering Sekunder	1,63	1,84	89	1,64
Belukar	6,68	7,54	73	5,5
Pemukiman	5,28	5,96	81	4,82
Tanah Terbuka	0,45	0,51	86	0,44
Pertanian Lahan Kering	6,41	7,24	85	6,15
Pertanian Lahan Kering Campur	68,15	76,93	85	65,39
Total	88,59	100	-	83,94

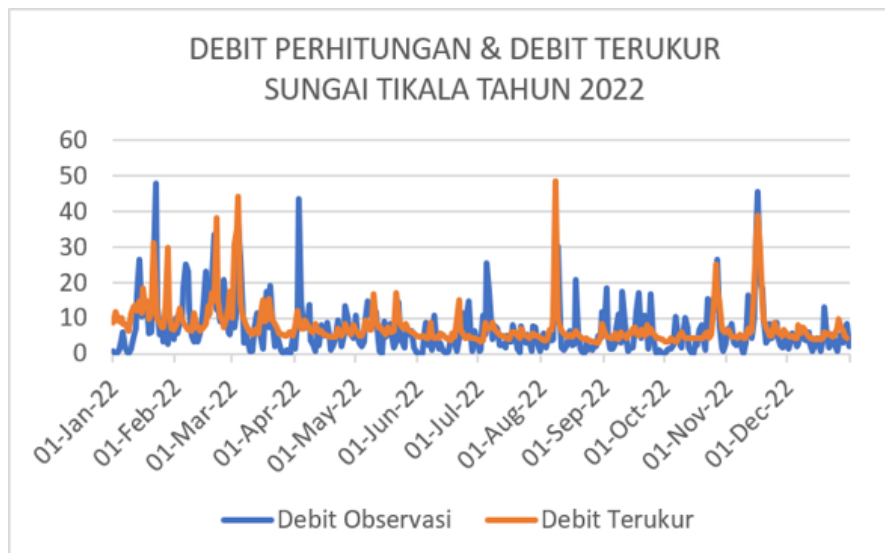
Nilai *Curve Number (CN)* rata-rata DAS Sungai Tikala di titik Jembatan Maesa, Kota Manado, diperoleh dari hasil penjumlahan perkalian nilai *CN* masing-masing jenis tutupan lahan dengan proporsi luasnya terhadap luas total DAS. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh nilai *CN* rata-rata sebesar 83,94.

4.7 Parameter Hasil Kalibrasi

Parameter model dioptimasi menggunakan program komputer *HEC-HMS* karena hasil kalibrasi awal menghasilkan debit puncak sebesar 59,1 m³/s, yang lebih besar dibandingkan debit terukur sebesar 48,6 m³/s. Optimasi dilakukan dengan metode *trial and error* terhadap parameter model hingga diperoleh debit hasil simulasi yang memenuhi kriteria kalibrasi. Parameter hasil optimasi disajikan pada Tabel 9 dan selanjutnya digunakan dalam simulasi debit banjir rencana menggunakan *HEC-HMS*.

Tabel 9. Parameter-Parameter Hasil Kalibrasi

<i>CN</i>	63,77
<i>Racession Constant</i>	0,1
<i>Ratio to Peak</i>	0,3
<i>Initial Discharge</i>	7,57
<i>Lag Time</i>	146,58

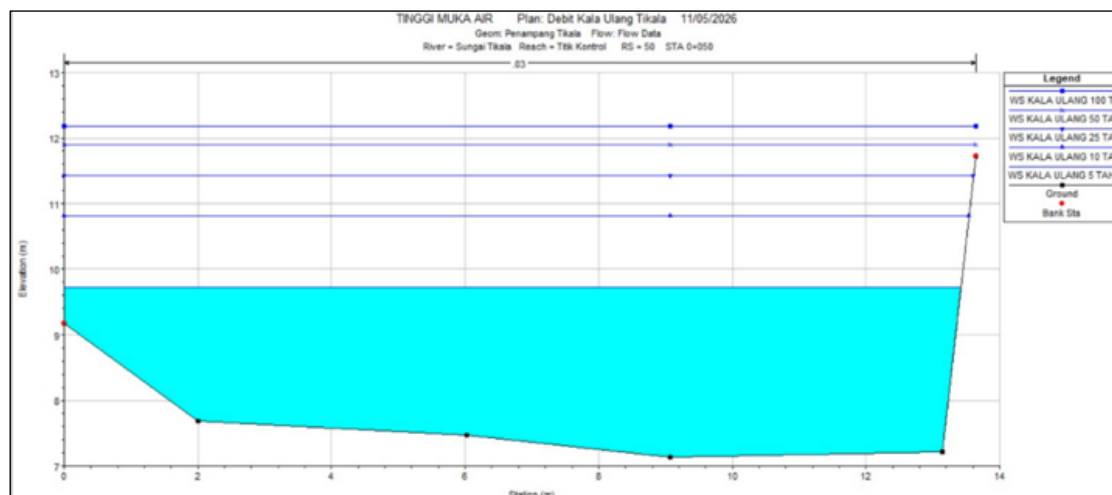


Gambar 3. Data Debit Hasil Perhitungan dan Data Debit Terukur

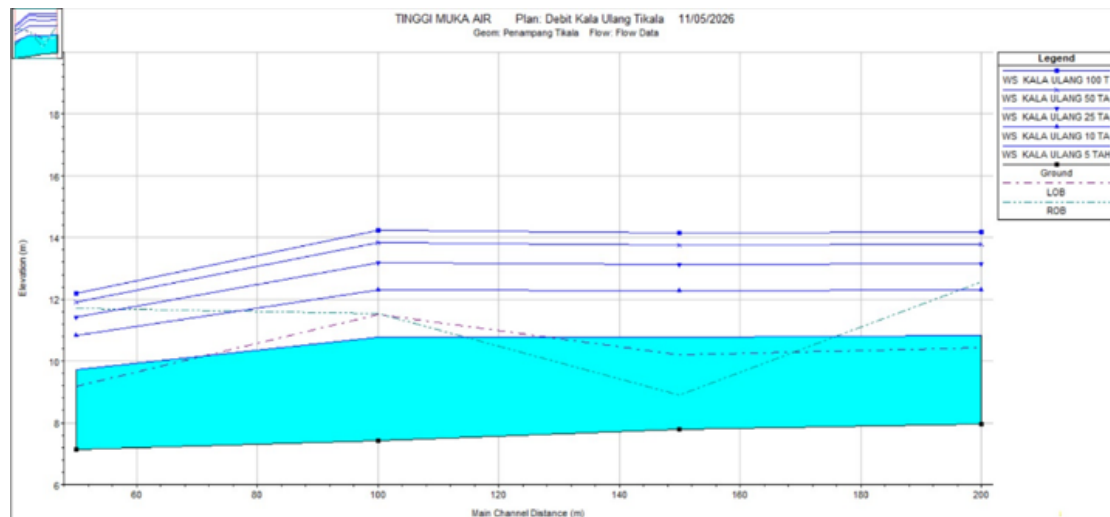
Grafik di atas menunjukkan perbandingan antara debit hasil simulasi dan debit terukur. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa nilai debit puncak hasil simulasi telah mendekati nilai debit terukur.

4.8 Hasil Simulasi Tinggi Muka Air dengan Program Komputer HEC-RAS

Analisis hidraulika untuk tinggi muka air dilakukan menggunakan perangkat lunak *HEC-RAS* dengan data masukan berupa debit puncak hasil perhitungan HSS-SCS yang diperoleh dari simulasi *HEC-HMS*, serta data penampang sungai dan koefisien kekasaran *Manning* (nilai n). Hasil simulasi menunjukkan bahwa luapan air terjadi pada setiap penampang, yaitu STA 0+50, STA 0+100, STA 0+150, dan STA 0+200, untuk seluruh debit banjir rencana dengan kala ulang 5 tahun (Q_5), 10 tahun (Q_{10}), 25 tahun (Q_{25}), 50 tahun (Q_{50}), dan 100 tahun (Q_{100}).



Gambar 4. Rangkuman Tinggi Muka Air STA. 0+50

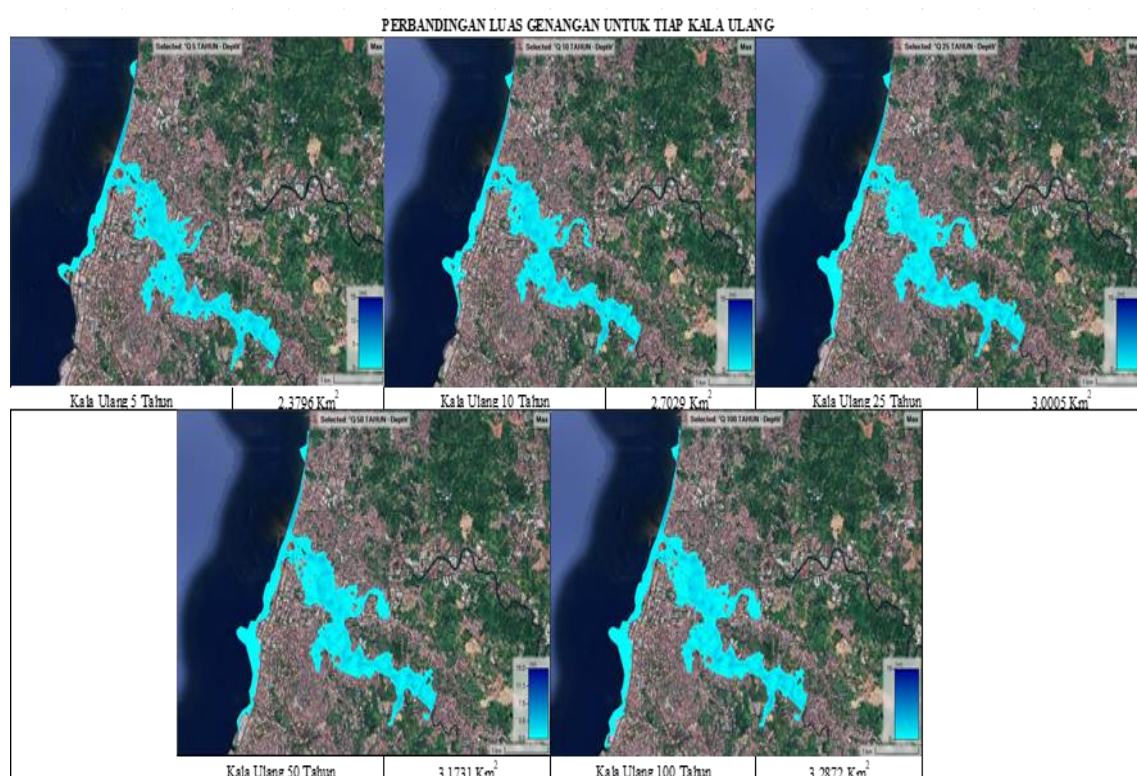


Gambar 5. Rangkuman Elevasi Tinggi Muka Air Profil Memanjang Sungai Bailang (Titik Kontrol Jembatan Cempaka)

4.9 Hasil Simulasi Luas Genangan dengan Program Komputer HEC-RAS

Analisis Hidraulika dilakukan menggunakan program komputer *HEC-RAS*, untuk melihat luas genangan dilakukan dengan memasukkan setiap data debit jam-jaman per-kala ulang dari hasil perhitungan *HSS-SCS* yang diolah menggunakan program komputer *HEC-HMS*.

Perhitungan dilakukan disetiap kala ulang yaitu 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun, sehingga diketahui sebaran dari luas genangan yang terjadi seiring meningkatnya debit banjir.



Gambar 6. Perbandingan Luas Genangan Untuk Tiap Kala Ulang

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi hidrologi menggunakan HEC-HMS, debit banjir rencana yang diperoleh berturut-turut sebesar 191,4 m³/det (Q5), 251,5 m³/det (Q10), 323,3 m³/det (Q25), 382,1 m³/det (Q50), dan 422,0 m³/det (Q100). Hasil tersebut menunjukkan bahwa debit puncak meningkat seiring bertambahnya kala ulang banjir.

Hasil simulasi menggunakan HEC-RAS menunjukkan bahwa luapan sungai terjadi pada seluruh penampang yang dianalisis, yaitu STA 0+050, STA 0+100, STA 0+150, dan STA 0+200. Luapan tersebut mengakibatkan genangan di wilayah sekitar sungai dengan luas yang terus meningkat sesuai kenaikan kala ulang banjir, yaitu 2,3796 km² (Q5), 2,7029 km² (Q10), 3,0005 km² (Q25), 3,1731 km² (Q50), dan 3,2872 km² (Q100). Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar debit banjir, semakin luas pula area genangan yang terbentuk di sekitar sungai.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan simulasi hidraulika, luapan terjadi pada setiap penampang sungai sehingga berpotensi menimbulkan genangan di sekitar aliran sungai. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian banjir, seperti pengerukan sungai untuk mengurangi kenaikan muka air serta pembangunan atau peninggian tanggul pada lokasi yang mengalami luapan, terutama di STA 0+050, STA 0+100, STA 0+150, dan STA 0+200.

Referensi

- Brunner, G. W. *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual Version 5.0*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, California. 2016.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York. 1988.
- 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.
- Hendratta, L. A., Monica, L., & Mangangka, I. R. (2023). Non-Metallic Material Sand, Gravel and Stone on Ongkag River: Method of Mining. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 10(5), 7-20.
- Kodoatie, R. J., & Sjarief, R. *Tata Ruang Air*. Penerbit Andi, Yogyakarta. 2010.
- Suripin. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Penerbit Andi, Yogyakarta. 2004.
- Swingly, J., & Sumarauw, J. S. F. (2017). Pola Distribusi Hujan Jam-Jaman di Kota Manado dan Sekitarnya. *Jurnal Sipil Statik*, 5(10), 669-678.
- Sumarauw, J., & Ohgushi, K. (2012). Analysis on Curve Number, Land Use and Land Cover Changes and the Impact to the Peak Flow in the Jobaru River Basin, Japan. *IJCEE-IJENS*.
- Sumarauw, J. S. F. *Analisis Frekwensi Hujan*. Bahan Ajar Mahasiswa. Universitas Sam Ratulangi, Manado. 2023.
- Sumarauw, J. S. F. *Hujan*. Bahan Ajar Mahasiswa. Universitas Sam Ratulangi, Manado. 2023.
- Sumarauw, J. S. F. *Pengujian Data Hidrologi*. Bahan Ajar Mahasiswa. Universitas Sam Ratulangi, Manado. 2023.
- Triatmodjo, B. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta. 2008.
- Islam Sumatera Utara, 16(2), 119–125.
- Sondak, S. W., Tangkudung, H., & Hendratta, L. (2019). Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air Sungai Girian Kota Bitung. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8), 1049–1058.
- <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/29979>
- Wismarini, Th. D., Ningsih, D. H. U., & Amin, F. (2011). Metode Perkiraan Laju Aliran Puncak (Debit Air) Sebagai Dasar Analisis Sistem Drainase Di Daerah Aliran Sungai Wilayah Semarang Berbantuan Sig. *Jurnal Teknologi Informasi Dinamik*, 16(2), 124–132.