



Analisis Debit Banjir Dan Luas Genangan Sungai Tondano Di Titik Kantor Kelurahan Paal II, Kota Manado

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

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

^aindahsari021@student.unsrat.ac.id, ^bjeffrysumarauw@unsrat.ac.id, ^clianyhendratta@unsrat.ac.id

Abstrak

Sungai Tondano di Kota Manado mengalami penurunan kapasitas akibat sedimentasi dan perubahan tata guna lahan, meningkatkan risiko luapan di sekitar Kantor Kelurahan Paal II. Penelitian ini bertujuan mengestimasi debit banjir rencana dan memetakan pola genangan pada kala ulang 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Metode yang digunakan bersifat deskriptif kuantitatif dengan pemodelan hidrologi (*HEC-HMS*, metode *SCS Curve Number*) dan hidraulika (*HEC-RAS*). Data primer diperoleh dari pengukuran penampang sungai; data sekunder curah hujan harian maksimum dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I. Hasil analisis frekuensi dengan distribusi *Log-Pearson Tipe III* menghasilkan hujan rencana 133,222-213,832 mm. Debit puncak berkisar 912,7-1645,2 m³/s; tinggi muka air dan luas genangan meningkat seiring kala ulang, dari 2,06 km² (5 tahun) menjadi 2,75 km² (100 tahun). Temuan menunjukkan hubungan positif antara peningkatan debit dan luas genangan yang mengancam infrastruktur dan masyarakat sekitar. Direkomendasikan perencanaan mitigasi struktural berbasis data untuk mengurangi dampak sosial-ekonomi.

Kata kunci: debit banjir, genangan, Sungai Tondano, HEC-HMS, HEC-RAS

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sungai Tondano di Manado berperan sebagai sumber air dan saluran drainase utama, namun kapasitasnya menurun akibat sedimentasi, alih guna lahan, dan penumpukan sumpah serta endapan organik. Perubahan pola curah hujan turut memperbesar kejadian hujan ekstrem sehingga permukaan air cepat naik saat hujan deras.

Akibatnya, area sekitar Kantor Kelurahan Paal II memiliki risiko banjir tinggi, terbukti pada peristiwa 2022 yang merusak infrastruktur dan mengganggu aktivitas ekonomi. Diperlukan analisis komprehensif debit banjir dan luas genangan untuk merancang pengendalian banjir dan mitigasi berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, tingginya debit banjir menjadi faktor utama yang menyebabkan meluapnya Sungai Tondano, khususnya pada lokasi yang akan ditinjau. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap besaran debit banjir serta pola genangan pada berbagai kala ulang di Sungai Tondano, yang terletak di area wilayah Kantor Kelurahan Paal II, Kota Manado.

1.3. Batasan Penelitian

1. Titik mulai peninjauan berada di Kantor Kelurahan Paal II, Kota Manado, dengan jarak tinjauan 200 meter ke arah hilir.
2. Analisis Hidrologi menggunakan data curah hujan harian maksimum.

3. Kala ulang rencana dibatasi pada 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.
4. Proses analisis hidrologi melibatkan penggunaan dua perangkat lunak, yaitu *HEC-HMS* untuk memperoleh estimasi debit banjir rencana, dan *HEC-RAS* untuk melakukan analisis hidraulika dalam menentukan karakteristik serta distribusi genangan

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besaran debit banjir serta pola genangan pada berbagai periode kala ulang yang disebabkan oleh meluapnya Sungai Tondano di titik area Kantor Kelurahan Paal II

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai acuan dalam menentukan langkah-langkah strategis penanggulangan sungai, guna meminimalkan risiko luapan air di kawasan permukiman warga.

1.6. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kecamatan Paal II, dengan fokus pengamatan pada titik kontrol di depan Kantor Kelurahan Paal II. Secara geografis, lokasi tersebut berada pada koordinat $1^{\circ}29'25.64''$ Lintang Utara dan $124^{\circ}51'39.40''$ Bujur Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth)

2. Tahap Penelitian

Tahap penelitian digambarkan dalam alur yang ditunjukkan pada Gambar 2.

3. Kajian Literatur

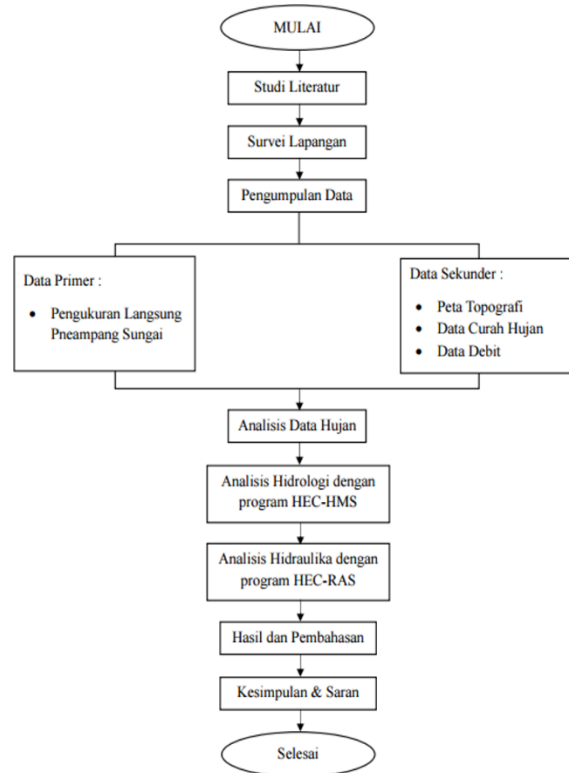
3.1. Daerah Aliran Sungai

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 sasling bersambung (sistem sungai), sehingga aliran air terkumpul pada satu sungai

dan akan keluar melalui satu saluran (outlet) pada wilayah sungai tersebut (Amin et al, 2018)

3.2. Analisis Curah Hujan

Secara hidrologi, jenis curah hujan yang diperlukan untuk perencanaan pemanfaatan sumberdaya 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 stasiun pengamatan hujan (J. S. F. Sumarauw, 2023).



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3.3. 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 $Cslog \geq 0,4$ 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 $-0,4 \leq Cslog \leq 0,4$ maka: uji *outlier* tinggi dan rendah sekaligus koreksi data.

Rumus yang digunakan:

$$Logx = \frac{\sum \text{Log } x}{n}$$

$$Slog = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } x - (\log \bar{x}))^2}{n - 1}}$$

$$Cslog = \frac{n}{(n - 1)(n - 2)Slog^3} \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^3$$

Outlier tinggi: $Log_{xh} = loh \bar{x} + Kn . SLog$

Outlier rendah: $Log_{xl} = log \bar{x} - Kn . SLog$

Dengan:

$CS_{\log}$: Koefisien kemencengan dalam log

$S_{\log}$: Simpangan baku

$\log \bar{x}$: Nilai rata-rata

K_n : Nilai K (diambil dari outlier test K value) tergantung dari jumlah data yang di analisis.

$\log x_h$: Outlier tinggi

$\log x_l$: Outlier rendah

n : Jumlah data

Nilai K_n dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Tabel Nilai K_n (Uji Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov))

n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n	N	K_n
10	2,036	21	2,408	32	2,591	43	2,710	70	2,893
11	2,088	22	2,429	33	2,604	44	2,719	75	2,917
12	2,134	23	2,448	34	2,616	45	2,727	80	2,940
13	2,175	24	2,467	35	2,628	46	2,736	85	2,961
14	2,213	25	2,486	36	2,639	47	2,744	90	2,981
15	2,247	26	2,502	37	2,650	48	2,753	95	3,000
16	2,279	27	2,519	38	2,661	49	2,760	100	3,017
17	2,309	28	2,534	39	2,671	50	2,768	110	3,049
18	2,335	29	2,549	40	2,682	55	2,804	120	3,078
19	2,361	30	2,563	41	2,692	60	2,837	130	3,104
20	2,385	31	2,577	42	2,700	65	2,866	140	3,129

3.4. 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.(Hendratta et al., 2023).

a) Rata – rata hitung

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

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Dengan:

$\bar{x}$: Nilai rata - rata

N : Jumlah data

x_i : Nilai varian

b) Simpangan Baku

Secara umum, ukuran dispresi yang paling sering digunakan adalah deviasi standar. Jika penyebaran data sangat besar dibandingkan dengan nilai rata-rata, maka nilai S akan menjadi besar. Sebaliknya, jika penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata, maka nilai S akan menjadi kecil.

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

Dengan:

S : Standar deviasi

$\bar{x}$: Nilai rata - rata

N : Jumlah data

x_i : Nilai varian

c) Koevisien variasi (Cv)

Koefisien variasi (*Coefficient Of Variation*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Semakin besar nilai variasi berarti datanya kurang merata (heterogen). Semakin kecil berarti data pengamatan semakin merata (homogen).

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}}$$

Dengan:

Cv : Koefisien variasi

S : Standar deviasi

$\bar{x}$: Nilai rata-rata

d) Koefisien Skewness (Cs)

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

$$Cs = \frac{n}{(n-1) - (n-2)s^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

Dengan:

Cs : Koefisien kemencengan

S : Standar deviasi

$\bar{x}$: Nilai rata - rata

N : Jumlah data

x_i : Nilai varian

e) Koefisien Kurtosis (Ck)

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

$$Cs = \frac{n}{(n-1) - (n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4$$

Dengan:

Ck : Koefisien kurtosis

S : Standar deviasi

$\bar{x}$: Nilai rata - rata

N : Jumlah data

x_i : Nilai varian

3.5. Distribusi Probabilitas

Distribusi probabilitas, atau distribusi peluang, adalah suatu bentuk distribusi yang menggambarkan probabilitas variasi sebagai pengganti frekuensi. Salah satu tujuan utama dari analisis distribusi peluang adalah untuk menentukan periode ulang (*return period*). Periode ulang didefinisikan sebagai waktu hipotetik dimana debit atau hujan dengan suatu besaran tertentu (XT) akan disamai atau dilampaui satu kali dalam jangka waktu tertentu (Triatmodjo, 2008). Penelitian ini menggunakan beberapa jenis distribusi peluang, yaitu sebagai berikut:

a) Tipe Distribusi normal

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

b) Tipe Distribusi Log Normal

$$Cs \approx Cv + 3Cv^2$$

$$Ck \approx Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$$

c) Tipe Distribusi Gumbel

$$Cs \approx 1,14$$

$$Ck \approx 5,40$$

d) Tipe Distribusi Log-Pearson Tipe III

Bila kriteria ketiga sebaran di atas tidak memenuhi, kemungkinan tipe sebaran yang cocok adalah tipe distribusi Log Pearson III.

3.6. Pola Distribusi Jam-jaman

Distribusi hujan jam-jaman merupakan pembagian intensitas hujan berdasarkan pola hujan suatu daerah. Dalam penelitian ini digunakan pola hujan Kota Manado, Minahasa dan sekitarnya.

Pola distribusi hujan jam-jaman di Kota Manado dan sekitarnya terjadi dalam waktu 8-10 jam. (Sumarauw, 2017).

3.7. *Debit Banjir Rencana*

Debit banjir rencana merupakan debit maksimum pada suatu sungai yang terjadi dalam periode ulang tertentu. Beberapa data yang diperlukan untuk menghitung debit banjir rencana antara lain data curah hujan, luas wilayah tangkapan air, dan informasi tentang tutupan lahan.

3.8. *Hidrograf Satuan*

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif dengan kedalaman 1 mm atau 1 cm yang terjadi secara merata di seluruh daerah aliran sungai (DAS) selama suatu periode waktu tertentu (Triatmodjo Bambang, 2008).

3.9. *Kalibrasi Model*

Kalibrasi didefinisikan sebagai prosedur perbandingan antara nilai output komputasi dengan data observasi empiris dilapangan. Kalibrasi parameter HSS-SCS diperlukan guna menentukan nilai optimal parameter tersebut melalui perbandingan antara hasil simulasi *HEC-HMS* dan data debit pengukuran actual. Selepas memperoleh debit simulasi dari model *HEC-HMS*, nilai tersebut kemudian dibandingkan secara sistematis dengan data debit terukur.

3.10. *Ananlisis Debit Banjir*

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

3.11. *Ananlisis 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*).

3.12. *Ananlisis Luas Genangan*

Analisis Luas Genangan menggunakan program komputer *HEC-RAS* membutuhkan data masukan yaitu data topografi, karakteristik saluran untuk nilai koefisien “n” Manning, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng (*unsteady flow*)

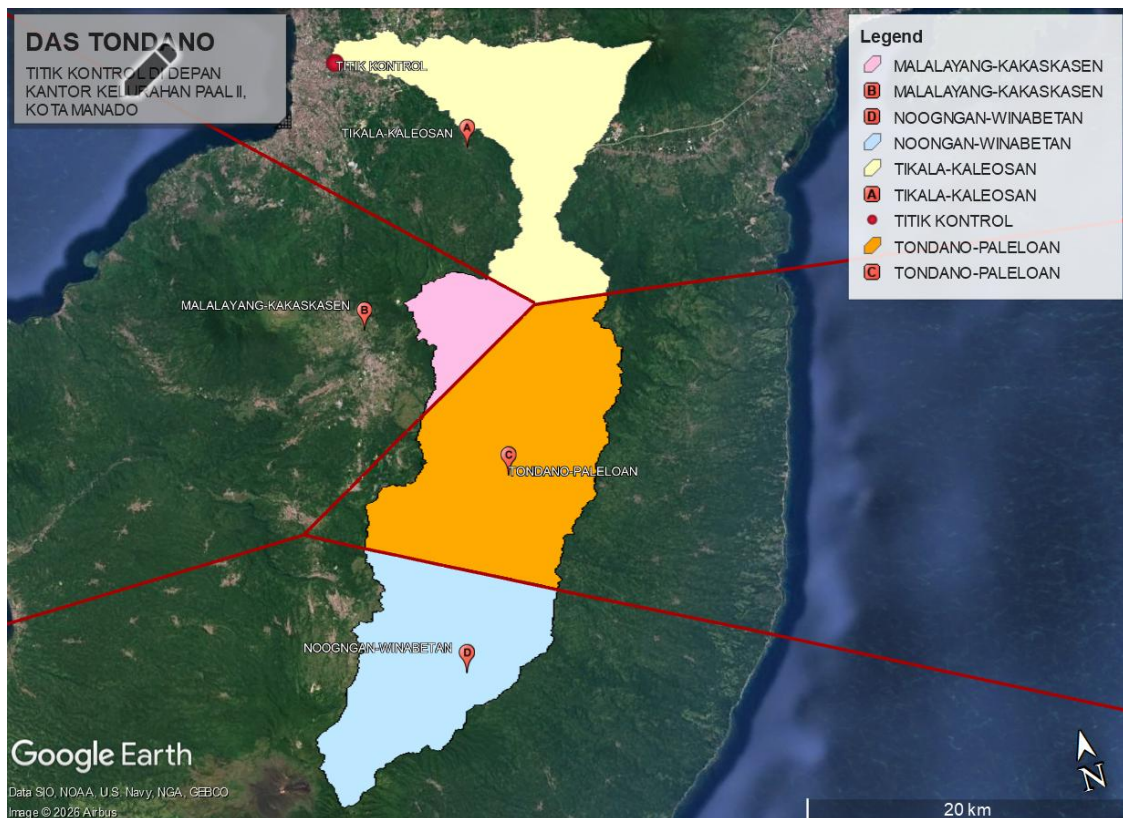
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 *Analisis Daerah Aliran Sungai*

Analisis daerah aliran sungai (DAS) dilakukan untuk mengetahui luas DAS Tondano. Perhitungan DAS dilakukan dengan bantuan Program Komputer Arcgis. Sehingga diperoleh luas DAS Tondano sebesar 432,00 km².

4.2 *Data Curah Hujan*

Analisis curah hujan DAS Tondano dilakukan dengan menggunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I dengan periode pencatatan tahun 2008 sampai dengan tahun 2024. Analisis pos hujan yang berpengaruh di DAS dilakukan dengan menggunakan Poligon *Thiessen*. Pos hujan yang digunakan sebanyak 4 stasiun hujan, yaitu stasiun hujan MRG Tikala-Kaleosan, MRG Malalayang Kakaskasen, MRG Noongan-Winabetan, Klimatologi Tondano-Paleloan. Berikut adalah tampilan polygon thiessen dan data curah hujan maksimum yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. Polygon Thiessen Tahun 2008-2024

Tabel 1. Hujan Harian Maksimum (Balai Wilayah Sungai Sulawesi I)

No	Tahun	Data Curah Hujan Harian Maksimum			
		Stasiun Hujan Tikala-Kaleosan (mm)	Stasiun Hujan Malalayang-Kakaskasen (mm)	Stasiun Hujan Tondano-Paleloan (mm)	Stasiun Hujan Noongan-Wanabetan (mm)
1	2008	70	80	71.5	57.6
2	2009	50	38	43	98.2
3	2010	175.5	65	67.2	54.4
4	2011	57	92	90.9	116.4
5	2012	90.2	42	69.8	94.8
6	2013	80.6	157	66.5	84.6
7	2014	177	145	110.5	100
8	2015	105	204	64.9	95
9	2016	478	95	115.5	92.5
10	2017	149	96	160.2	122
11	2018	103.5	100	126.5	79.4
12	2019	96	104	157.3	76.5
13	2020	143	76	157.3	88.5
14	2021	149.5	165	157.3	101.3
15	2022	87.3	83	99.8	97
16	2023	85	76	118.4	73
17	2024	235	85	82.5	115

4.3 Penentuan Tipe Distribusi

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 Type III*.

4.4 Analisis Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana menggunakan Distribusi Log Pearson Tipe III didasarkan pada parameter $S_{\log x}$, $K_{TR,CS}$, dan $\log \bar{X}$. Nilai $Cs_{\log}$ diperoleh melalui analisis parameter statistik, yaitu sebesar 0,129, yang menunjukkan kemencengan positif. Selanjutnya, nilai (K) untuk setiap kala ulang ditentukan dengan interpolasi pada tabel faktor frekuensi berdasarkan nilai $Cs_{\log}$.

Tabel 3. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Tipe Sebaran	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
Normal	$C_s = 0$	0.909	Tidak Memenuhi
	$C_k = 3$	4.547	Tidak Memenuhi
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3 C_v$	0.909	Tidak Memenuhi
	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	4.547	Tidak Memenuhi
Gumbell	$C_s = 1.14$	0.909	Tidak Memenuhi
	$C_k = 5.4$	4.547	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Bila tidak ada parameter statistik yang sesuai dengan ketentuan distribusi	-	Memenuhi

Tabel 4. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Return Period In Years /Kala Ulang (Tahun)					
Cslog	Periode Ulang Dalam tahun				
	5	10	25	50	100
0.2	0.83	1.301	1.818	2.159	2.472
0.129	0.83426	1.30131	1.79456	2.12206	2.42085
0.1	0.836	1.292	1.785	2.107	2.4

$$\log X_T = \overline{\log X} + K_{TR,Cs} . S_{\log} = 2,02 + 0,83 . 0,129 = 2,124$$

$$X_T = 133,222 \text{ mm}$$

Tabel 5. Curah Hujan Rencana

Kala Ulang (Tahun)	Curah Hujan Rencana
5 Tahun	133.222
10 Tahun	153.133
25 Tahun	177.401
50 Tahun	195.602
100 tahun	213.832

4.5 Pola Distribusi Hujan Jam-jaman

Tabel 6. Pola Distribusi Hujan Kota Manado, Minahasa Utara dan Minahasa (Sumarauw Jeffry, 2017)

Jam Ke-	1	2	3	4	5	6	7	8 s/d 10
% Distribusi Hujan	50.83	25.17	8.64	4.93	2.93	1.35	2.43	1.24

Perhitungan dilakukan dengan mengalikan besar hujan tiap kala ulang pada Tabel 5 ke tiap persentasi distribusi hujan. Hasil perhitungan untuk tiap kala ulang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Distribusi Hujan Rencana Tiap Kala Ulang

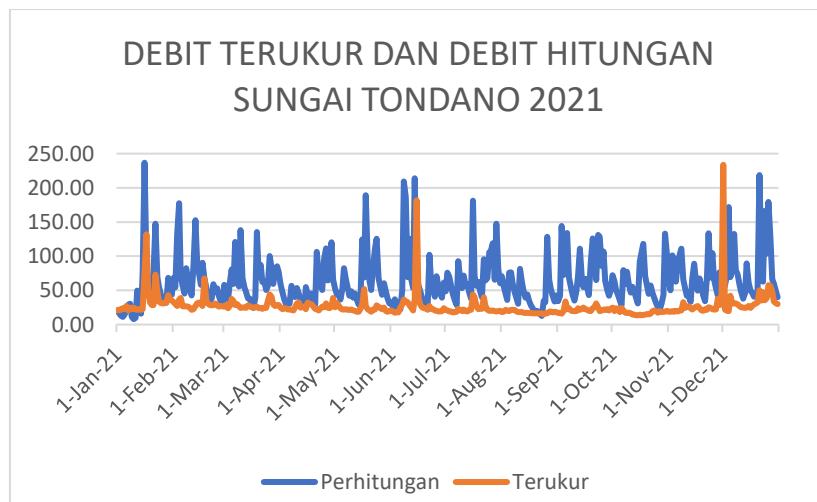
Jam	% Hujan	P (mm)				
		Kala Ulang				
		5	10	25	50	100
1	50.83	67.717	77.838	90.173	99.425	108.691
2	25.17	33.532	38.544	44.652	49.233	53.822
3	8.64	11.510	13.231	15.327	16.900	18.475
4	4.93	6.568	7.549	8.746	9.643	10.542
5	2.93	3.903	4.487	5.198	5.731	6.265
6	1.35	1.798	2.067	2.395	2.641	2.887
7	2.43	3.237	3.721	4.311	4.753	5.196
8	1.24	1.652	1.899	2.200	2.425	2.652
9	1.24	1.652	1.899	2.200	2.425	2.652
10	1.24	1.652	1.899	2.200	2.425	2.652
Total (mm)	100	133.222	153.133	177.401	195.602	213.832

4.6 Parameter Hasil Kalibrasi

Karena hasil kalibrasi debit puncak adalah 258,40 m³/det melebihi debit terukur 233,63 m³/det maka setiap parameter yang ada dicoba-coba hingga debit hasil simulasi dianggap memenuhi ketentuan.

Tabel 8. Parameter-parameter Hasil Kalibrasi

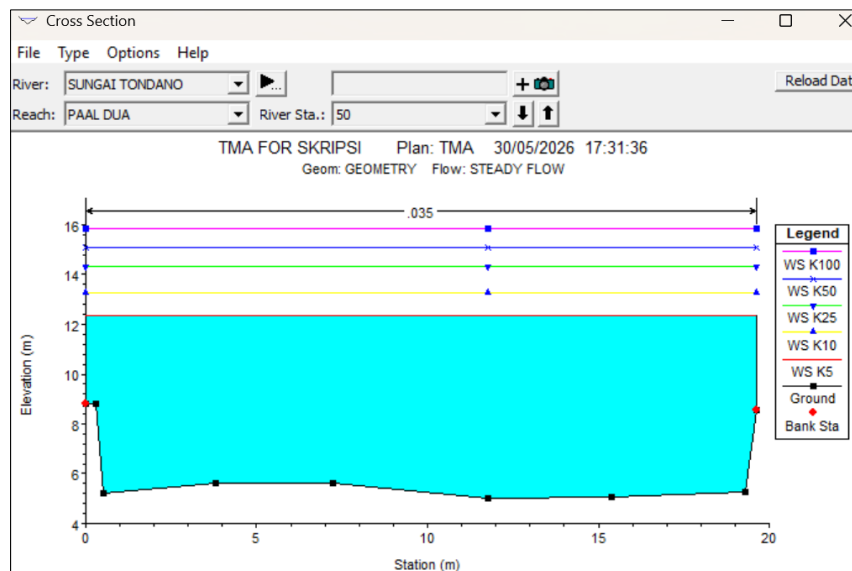
CN	77.5
Recession Constant	0.8
Rasio to Peak	0.3
Initial Discgarge	25.89
Lag Time	400

**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Debit Hitungan dan Debit Terukur

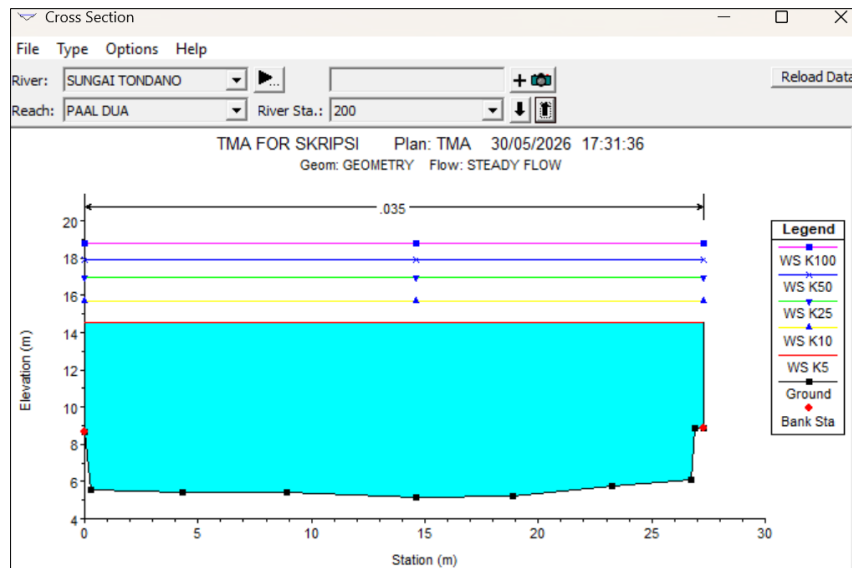
Berdasarkan kesesuaian bentuk grafik antara debit hasil simulasi dan debit pembandingan, serta selisih nilai yang masih dalam batas wajar, kalibrasi dinyatakan sudah baik dan model dianggap mampu merepresentasikan kondisi lapangan.

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

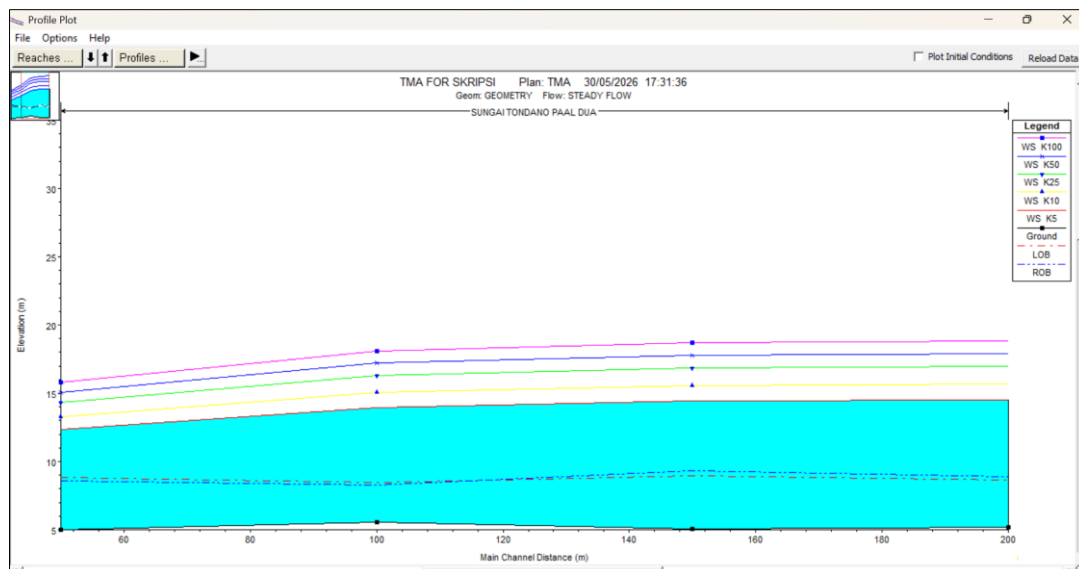
Analisis Tinggi Muka Air menggunakan program komputer *HEC-RAS* membutuhkan data masukan yaitu penampang saluran, karakteristik saluran untuk nilai koefisien “n” Manning, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng (*Steady flow*). Data penampang Sungai Tondano diambil sepanjang 200 meter kearah hilir. Hasil simulasi menunjukkan luapan air terjadi pada seluruh STA pada setiap kala ulang yang ada.



Gambar 5. Rangkuman Tinggi Muka Air STA. 0+50



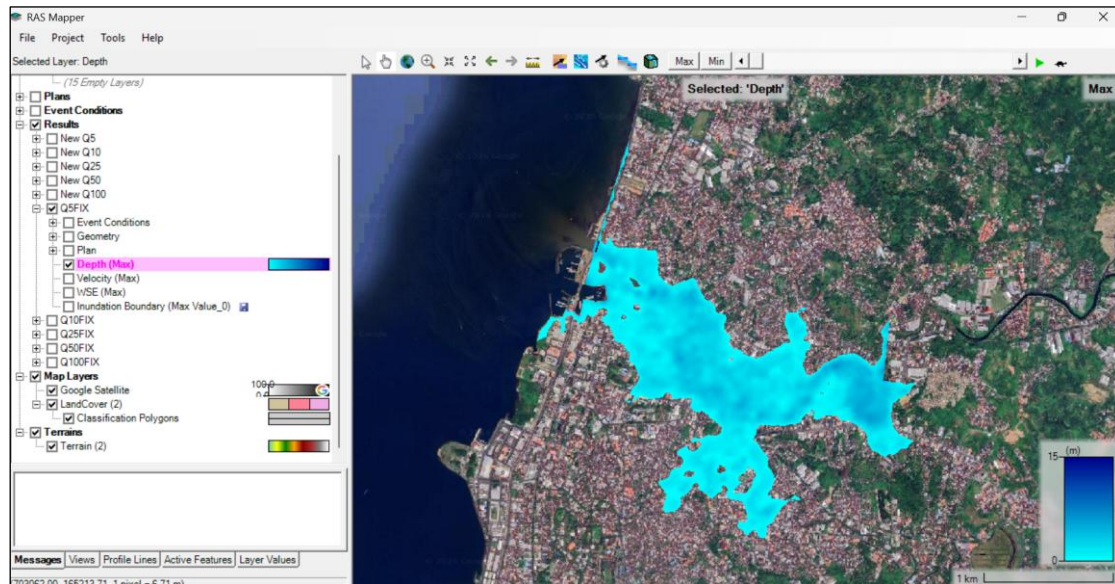
Gambar 6. Rangkuman Tinggi Muka Air STA. 0+200



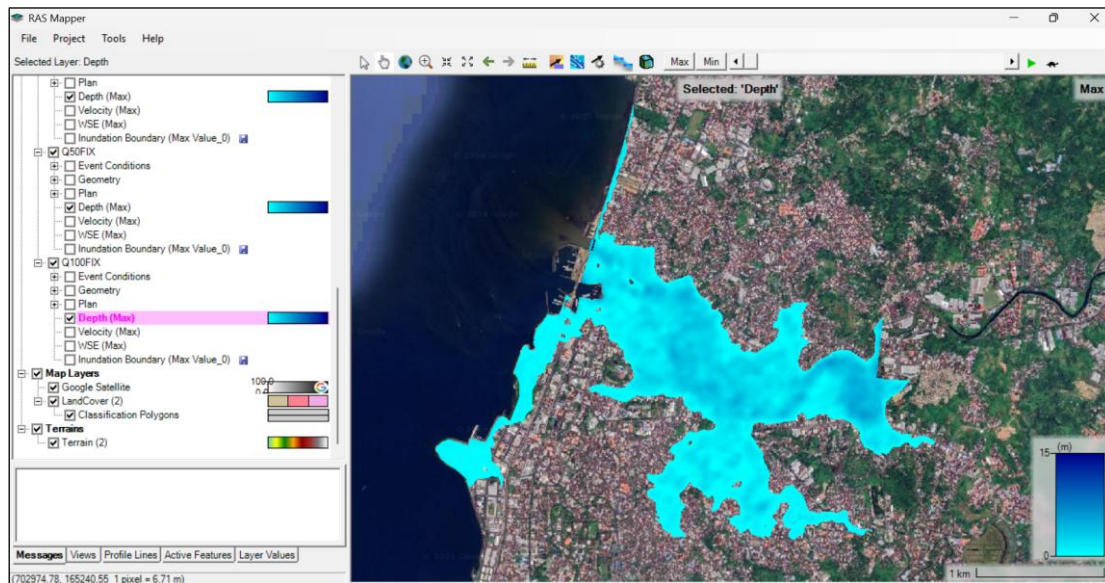
Gambar 7. Rangkuman Tinggi Muka Air Potongan Memanjang

4.8 Hasil Simulasi Luas Genangan dengan Program Komputer HEC-RAS

Analisis Luas Genangan menggunakan program komputer *HEC-RAS* membutuhkan data masukan yaitu data topografi, karakteristik saluran untuk nilai koefisien “n” Manning, dan data debit banjir untuk perhitungan aliran langgeng (*unsteady flow*) untuk menentukan luas genangan pada lokasi penelitian.



Gambar 8. Luas Genangan Kala Ulang 5 Tahun



Gambar 9. Luas Genangan Kala Ulang 100 Tahun

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Simulasi HEC-HMS pada DAS Tondano (432 km^2) menghasilkan debit puncak: $912,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (tahun), $1093,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (10 tahun), $1316 \text{ m}^3/\text{s}$ (25 tahun), $1484,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (50 tahun), dan $1654,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (100 tahun) menunjukkan debit meningkat seiring periode kala ulang.

Pemodelan penampang menunjukkan luapan di STA 0+50, 0+100, 0+150, dan 0+200 dengan luas genangan berturut-turut $2,06 \text{ km}^2$ (5 tahun), $2,24 \text{ km}^2$ (10 tahun), $2,45 \text{ km}^2$ (25 tahun), $2,59 \text{ km}^2$ (50 tahun), dan $2,75 \text{ km}^2$ (100 tahun), menandakan peningkatan debit berkontribusi pada perluasan area genangan di sekitar Kantor Kelurahan Paal II.

5.2 Saran

1. Membangun tanggul pada titik-titik kritis khususnya pada STA 0+50, STA 0+100, STA 0+150, STA 0+200.
2. Melaksanakan pengerukan material sedimen di dasar sungai secara berkala untuk mengoptimalkan kapasitas tampung penampang dan menekan kenaikan elevasi muka air banjir.
3. Diperlukan sistem pengelolaan sampah agar tidak terjadi penyumbatan pada alur sungai yang dapat menghambat laju aliran.

Referensi

- Amin, M., Ir Ridwan, Ms., Ir Iskandar Zulkarnaen, M., & Jurusan Teknik Pertanian, Ms. (2018). *Pengelolaan daerah aliran sungai*.
- 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.2024.12502>
- Hendratta, L. A., Monica, L., & Mangangka, I. R. (2023). Non-Metalic Material Sand, Gravel and Stone on Ongkag River: Method of Mining. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 10(5), 7–20. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V10I5P102>
- Prof. Dr. Ir. H.Syarifuddin Kadir, M. Si., Dr.Badaruddin, S. Hut. ,M. P., & Dr.Ir.Eko Rini Indrayatie, M. P. (2020). *Pengelolaan daerah aliran sungai*. www.irdhcenter.com
- Sumarauw, J. (2017). Pola distribusi hujan jam-jaman daerah Manado, Minahasa Utara dan Minahasa. *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. (2023a). *Analisis Frekwensi Hujan*.
- Sumarauw, J. S. F. (2023b). *Hujan*.
- Sumarauw, J. S. F. (2023c). *Pengujian Data Hidrologi*.
- Syahrul, M. (2022). Studi Analisis Genangan Banjir pada Saluran Drainase Jalan Cendrawasih Kota Tarakan. Skripsi, Tarakan: Universitas Borneo Tarakan.
- Toding Datu, R., Sumarauw, J. S. F., & Hendratta, L. A. (2025). Perencanaan Sistem Drainase Perumahan Sawangan Permai Klaster De Hoek, Desa Sawangan, Kabupaten Minahasa. *TEKNO*.
- Triatmodjo Bambang. (2008). *Hidrologi terapan*. Beta Offset. Yogyakarta
- Yosua, M., Lambertus Tanudjaja, T., & Sumarauw, J. S. F. (2017). Analisis debit banjir dan tinggi muka air Sungai Sangkub Kabupaten Bolaang Mongondow Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 5(10), 699–710.