

Pemodelan Pengendalian Banjir Pada Sungai Mahawu Kota Manado Menggunakan Aplikasi *Hec-Ras*

Ronald F. Parengkuan¹, Isri R. Mangangka², Cindy Supit³

Program Studi S2 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado
E-mail: rfphars@gmail.com

Abstrak

Banjir karena meluapnya Sungai Mahawu disebabkan oleh intensitas hujan tinggi, alih fungsi lahan, penyempitan badan sungai dan kapasitas tampung sungai berkurang. Banjir yang terjadi menyebabkan kerugian besar dan mengancam keselamatan penduduk. Penanganan pengendalian banjir Sungai Mahawu sangat mendesak, karena itu diperlukan studi pengendalian banjir untuk mendapatkan konsep penanganan yang efektif. Pemodelan menggunakan HEC-RAS 6.3.1 2D untuk mendapatkan kondisi genangan debit banjir kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun. Hasil penelitian debit banjir setiap kala ulang adalah 38.7 m³/det, 64.4 m³/det, 89.3 m³/det, 132.5 m³/det, 174.2 m³/det dengan luas genangan adalah 10.96 Ha, 11.83 Ha, 18.23 Ha, 19.67 Ha dan 72.07 Ha. Konsep penanganan yang dipilih dalam penelitian ini adalah gabungan normalisasi sungai, tanggul banjir dan floodway. Konsep penanganan yang efektif hasil pemodelan yaitu untuk kala ulang 2 tahun normalisasi lebar sungai 20 m dan tanggul banjir tinggi 4 meter (Skenario 2), kala ulang 5 tahun normalisasi lebar sungai 30 m dan tanggul banjir tinggi 5 meter (Skenario 2B), kala ulang 10 tahun normalisasi lebar sungai 30 m, tanggul banjir tinggi 5 meter dan floodway (Skenario 3). Hasil pemodelan dengan 3 konsep pengendalian untuk debit banjir kala ulang 25 tahun yang berdampak pengurangan luas genangan adalah skenario 3 sebesar 38.60 %.

Kata Kunci: Pengendalian Banjir, Genangan, HEC RAS, Sungai Mahawu.

Abstract

Floods caused by the overflow of the Mahawu River are due to high rainfall intensity, land use change, river channel narrowing, and reduced river capacity. These floods have resulted in significant losses and threaten the safety of residents. Urgent flood control measures are needed for the Mahawu River, requiring a flood control study to develop effective management concepts. Modeling using HEC-RAS 6.3.1 2D was employed to simulate inundation conditions for flood return periods of 2, 5, 10, 25, and 50 years. The study found flood discharge rates for each return period: 38.7 m³/sec, 64.4 m³/sec, 89.3 m³/sec, 132.5 m³/sec, and 174.2 m³/sec, with corresponding inundation areas of 10.96 Ha, 11.83 Ha, 18.23 Ha, 19.67 Ha, and 72.07 Ha respectively. The selected flood control concept in this research combines river normalization, flood embankments, and floodways. The most effective flood management concept resulting from the modelling includes, for a 2-year return period, river width normalization of 20 meters and flood embankment height of 4 meters (scenario 2); for a 5-year return period, river width normalization of 30 meters and flood embankment height of 5 meters. (scenario 2B); and a 10-year return period, river width normalization of 30 meters, flood embankment height of 5 meters, and floodways (scenario 3). The modeling results show that for the 25-year return period, the reduction in inundation area was 38.60 % for Scenario 3.

Keywords: Flood Control, Inundation, HEC-RAS, Mahawu River.

1. PENDAHULUAN

Kota Manado adalah ibu kota Propinsi Sulawesi Utara yang setiap tahun diperhadapkan dengan permasalahan banjir. Terdapat 5 (lima) Sungai besar yang melewati kota Manado, yaitu Sungai Bailang, Sungai Tikala, Sungai Tondano, Sungai Sario dan Sungai Malalayang. Selain sungai besar terdapat sungai – sungai kecil yang melintasi Kota Manado, diantaranya adalah Sungai Mahawu yang merupakan anak Sungai Bailang memanjang dari hulu ke hilir sepanjang 11.235 Km dan melintasi beberapa kecamatan yaitu kecamatan Tuminting, kecamatan Singkil, kecamatan bunaken dan kecamatan mapanget di Kota Manado. Sungai Mahawu adalah salah satu Sungai yang setiap tahun menyebabkan banjir di Kota Manado yaitu di wilayah kecamatan Tuminting.

Banjir yang terjadi setiap tahun menunjukkan bahwa kapasitas tampung sungai Mahawu sudah tidak mampu lagi untuk menampung dan mengalirkan debit banjir sehingga setiap kali terjadi hujan dengan intensitas tinggi akan menyebabkan banjir. Hujan dengan intensitas yang tinggi mengakibatkan limpasan aliran permukaan mengalir dengan cepat menuju ke badan sungai, perubahan penampang sungai akibat sedimentasi menyebabkan debit kapasitas penampang sungai tidak mampu menampung debit maksimum dan mengakibatkan daerah genangan banjir (Zevri dan Purwantoro, 2020). Sebagaimana penyebab banjir di kota Manado, meluapnya Sungai Mahawu disebabkan antara lain oleh curah hujan intensitas tinggi, perubahan tata guna lahan, kapasitas tampung sungai kecil karena penduduk mendirikan rumah di sempadan sungai, sedimentasi, erosi dan sampah menyebabkan sungai menjadi dangkal dan gampang meluap (Rinaldi et al., 2018). Terakhir pada tanggal 2 maret 2024 terjadi curah hujan intensitas tinggi dengan kategori sangat lebat yaitu 218 mm sehingga mengakibatkan meluapnya sungai Mahawu dan menggenangi permukiman warga dengan tinggi genangan 80 – 100 cm (BWS Sulawesi I, 2024). Kejadian banjir yang berulang setiap tahun mengakibatkan kerugian yang besar dan mengancam keselamatan penduduk yang bermukim di wilayah genangan banjir Sungai Mahawu.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan upaya pengendalian banjir yang tepat dan terpadu untuk meminimalisir kerugian akibat banjir (Al Amin et al. 2018). Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah adalah dengan melakukan normalisasi sungai tetapi masih belum cukup untuk mengendalikan banjir yang terjadi setiap tahun akibat meluapnya Sungai Mahawu. Agar lebih efektif dalam melakukan pengendalian banjir adalah dengan melakukan normalisasi sungai dan Pembangunan tanggul banjir (Zevri dan Purwantoro, 2020). Untuk mendapatkan rencana desain pengendalian banjir yang sesuai harus diketahui karakteristik banjir berupa luasan/cakupan genangan, kedalaman genangan, dan kecepatan aliran banjir (Al Amin et al. 2018).

Setiap terjadi banjir akibat limpasan air Sungai Mahawu selalu menggenangi daerah permukiman di hilir daerah aliran sungai Mahawu. Pemetaan genangan akibat banjir harus melalui analisis hidrologi dan analisis hidrolika untuk menentukan debit banjir rencana, kapasitas penampang sungai Mahawu, luas genangan dan kedalaman genangan (Al Amin et al. 2018). Agar daerah genangan banjir sungai Mahawu dapat dianalisis dengan detail dan mendekati kejadian sebenarnya maka perlu dilakukan pemodelan menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dua dimensi (Gunawan et al. 2023). Selain untuk mendapatkan genangan akibat banjir, pemodelan dengan aplikasi *HEC-RAS* juga dilakukan terhadap skenario penanganan banjir gabungan normalisasi, tanggul banjir dan *floodway*.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan upaya pengendalian banjir untuk mengetahui kapasitas tampung eksisting Sungai Mahawu, berapa besar debit banjir kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun serta kondisi genangan banjir untuk setiap kala ulang. Manfaat dari hasil

penelitian ini adalah untuk mendapatkan konsep pengendalian banjir Sungai Mahawu secara struktural yang maksimal sehingga dapat meminimalisir kerugian akibat banjir yang terjadi setiap tahun.

2. METODE PENELITIAN

Tempat, atau lokasi penelitian, yang diambil yaitu Daerah Aliran Sungai (DAS) Mahawu di Kota Manado. Sedangkan, waktu penelitian dilaksanakan selama empat bulan dimulai dari persiapan, studi literatur, pengumpulan data, sampai dengan penyusunan hasil penelitian.

2.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini:

- Data curah hujan minimal 10 tahun terakhir yang diperoleh instansi Balai Wilayah Sungai Sulawesi I
- Data Digital Elevation Model (DEM) menggunakan DEMNAS yang merupakan produk dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
- Data Tutupan Lahan menggunakan peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang diperoleh dari website BIG.
- Data Kejadian Banjir berdasarkan data di instansi Balai Wilayah Sungai Sulawesi I.

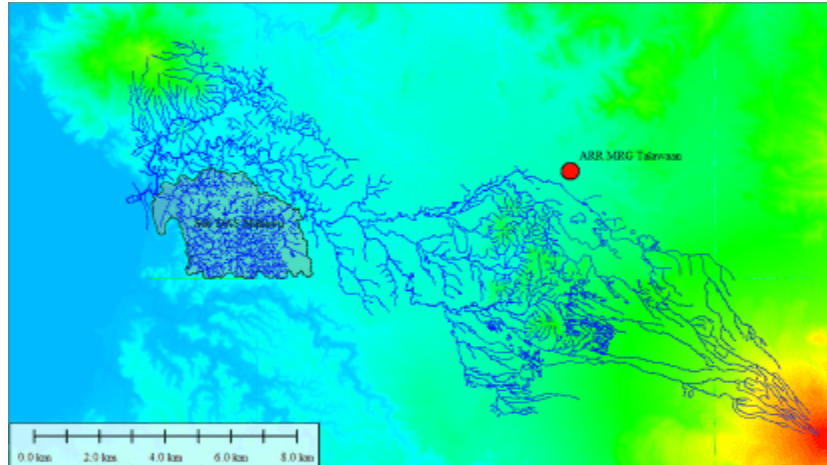
2.2 Prosedur Penelitian

Tahap awal penelitian yaitu dengan melakukan survey lapangan untuk mengetahui kondisi dan permasalahan Sungai Mahawu Kota Manado. Selanjutnya melakukan studi literatur dan pengumpulan data. Berdasarkan data hujan harian maksimum dilakukan analisis hidrologi dengan aplikasi *HEC-HMS* untuk mendapatkan debit banjir kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun (Wasono et al. 2022). Sedangkan analisis hidrolika dilakukan dengan menggunakan aplikasi *HEC-RAS 6.3.1 unsteady flow 2D*. Pemodelan diawali dengan simulasi kondisi banjir eksisting pada daerah hilir sungai Mahawu untuk mengetahui luas dan daerah genangan pada saat banjir dengan kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun. Selanjutnya pemodelan dilakukan terhadap 3 skenario pengendalian banjir yaitu: Skenario 1 dengan melakukan normalisasi sungai. Skenario 2 kombinasi normalisasi sungai dan tanggul banjir. Sedangkan skenario 3 kombinasi normalisasi sungai, tanggul banjir dan *floodway* (Modul metode pengendalian banjir, 2017).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Curah Hujan

Luas daerah aliran Sungai Mahawu yaitu 11.77 Km², dimana DAS Mahawu merupakan sub dari DAS Bailang. Analisis curah hujan menggunakan data curah hujan harian maksimum pos penakar hujan Talawaan (Pos MRG Talawaan-Talawaan, BWS Sulawesi I) dengan 39 tahun pengamatan sejak tahun 1978 sampai dengan tahun 2022. Persyaratan dalam perhitungan banjir rancangan untuk analisis frekuensi data dari periode pencatatan sebaiknya lebih dari 20 tahun (20 seri data) data curah hujan (Widyasari, 2023). Data curah hujan harian maksimum pos hujan Talawaan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Peta Sub DAS Mahawu dan Pos ARR MRG Talawaan

Data curah hujan harian maksimum pada Tabel 1. dijadikan sebagai curah hujan rata-rata wilayah yang terjadi pada daerah aliran Sungai Mahawu.

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum Pos Hujan Talawaan

Tahun	Hujan Harian Maksimum (mm)	Tahun	Hujan Harian Maksimum (mm)
1978	103	2004	81
1979	89	2005	96
1980	223	2006	129
1981	210	2007	118
1982	152	2008	161
1983	90	2009	106
1984	210	2010	110
1985	150	2011	141.5
1986	126	2012	118
1987	270	2013	94
1988	112	2014	94
1989	120	2015	131
1990	110	2016	151
1993	108	2017	183
1994	99	2018	102
1995	122	2019	208
1997	122	2020	148
1998	91	2021	123
2002	100	2022	108
2003	152		

3.2 Analisis Curah Hujan Rencana

Perhitungan curah hujan rencana menggunakan metode analisis distribusi frekuensi. Distribusi probabilitas atau distribusi peluang adalah suatu distribusi yang menggambarkan peluang dari sekumpulan varian sebagai pengganti frekuensinya (Monica et al., 2024). Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh dari rekaman data baik data hujan maupun data debit, sehingga diperlukan data yang cukup panjang (Widyasari, 2023). Metode perhitungan curah hujan rencana menggunakan metode distribusi frekuensi Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Person III seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan analisis distribuis frekuensi curah hujan DAS Mahawu

P(x >= Xm)	T Kala Ulang	Curah Hujan (MM) Menurut Probabilitasnya							
		NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III	
		XT	KT	XT	KT	XT	KT	XT	KT
0.9	1.1	66.651	-1.282	85.403	-0.929	76.303	-1.100	91.369	-1.066
0.5	2	134.910	0.000	127.710	-0.135	126.161	-0.164	119.756	-0.205
0.2	5	179.738	0.842	166.337	0.590	173.231	0.719	159.865	0.715
0.1	10	203.170	1.282	190.975	1.053	204.395	1.305	193.911	1.330
0.04	25	228.157	1.751	221.283	1.622	243.772	2.044	246.835	2.099
0.02	50	244.299	2.054	243.374	2.036	272.984	2.592	294.544	2.662
0.01	100	258.818	2.326	265.122	2.445	301.980	3.137	350.417	3.215
0.001	1000	299.505	3.090	336.984	3.794	397.793	4.936	617.328	5.018

Hasil perhitungan dilakukan uji kesesuaian distribusi frekuensi dengan uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov pada Tabel 3, untuk menentukan distribusi yang akan digunakan sebagai curah hujan rencana (Novalisae dan Ferdinandus, 2020) . Distribusi curah hujan terpilih hasil uji kesesuaian adalah distribusi Log-Pearson III sebagai curah hujan rencana dan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi Curah Hujan DAS Mahawu

	Distribusi			
	Normal	Log Normal	Gumbel	Log Pearson III
Uji Chi Square				
X ²	15,231	1,385	6	0.615
Dk	2	2	2	1
X _{cr}	5,991	5,991	5,991	3,841
Hipotesa	Ditolak	Diterima	Ditolak	Diterima

Uji Smirnov Kolmogorof				
Dmax	0,179	0,123	0,133	0,048
Dkritik	0,214	0,214	0,214	0,214
Hipotesa	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

Tabel 4. Curah Hujan Rencana

Kala Ulang (tahun)	Curah Hujan (mm)
2	119.756
5	159.865
10	193.911
25	246.835
50	294.544

3.3 Hujan Jam-Jaman

Distribusi hujan jam-jaman merupakan pembagian intensitas hujan berdasarkan polahujan suatu daerah (Limpong et al., 2022). Pola hujan jam-jaman memakai pola untuk kota Manado dan sekitarnya (Salem et al., 2016). Distribusi hujan jam-jaman kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Distribusi Hujan Jam-Jaman Kala Ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 Tahun

Jam Ke	Kala Ulang					
	2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun	100 tahun
1	64.668	86.327	104.712	133.291	159.057	189.225
2	26.346	35.170	42.660	54.304	64.801	77.092
3	9.580	12.789	15.513	19.747	23.564	28.033
4	7.185	9.592	11.635	14.810	17.673	21.025
5	3.593	4.796	5.817	7.405	8.837	10.513
6	1.198	1.599	1.939	2.468	2.946	3.504
7	3.593	4.796	5.817	7.405	8.837	10.513
8	3.593	4.796	5.817	7.405	8.837	10.513

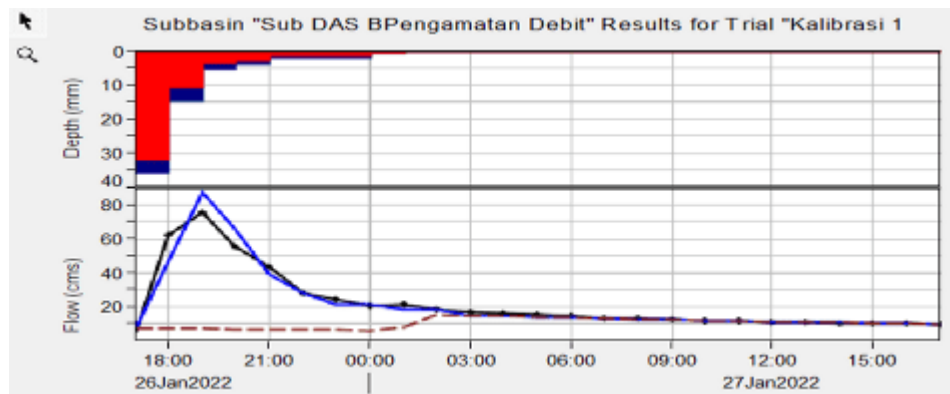
3.4 Analisis Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir rencana menggunakan Snyder Unit Hydrograph program *HEC-HMS*. Aplikasi *HEC-HMS* menghasilkan perhitungan debit banjir rencana dari suatu DAS (Daerah Aliran Sungai) dengan data – data yaitu: batas DAS dan Sub DAS, hujan rencana distribusi jam-jaman dan kondisi parameter DAS terkait dengan tata guna lahan (Gaffar et al., 2022). Dalam

menentukan debit banjir berbagai kala ulang sangatlah penting untuk dilakukan kalibrasi dengan kejadian yang sebenarnya untuk mendapatkan parameter-parameter daerah aliran sungai yang lebih akurat.

Kalibrasi Parameter HSS Snyder

Kalibrasi merupakan suatu proses dimana nilai hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai hasil observasi lapangan untuk mencari nilai parameter teroptimasi dengan membandingkan hasil simulasi *HEC-HMS* dengan data debit terukur (Hendratta et al., 2019; Raco et al., 2019). Hasil simulasi banjir dibandingkan dengan data observasi banjir Pos Debit Bailang-Bengkol tanggal 26 – 27 Oktober 2022 (BWS Sulawesi I, 2022) dan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Hasil kalibrasi debit analisis terhadap debit observasi 26 – 27 Oktober 2022

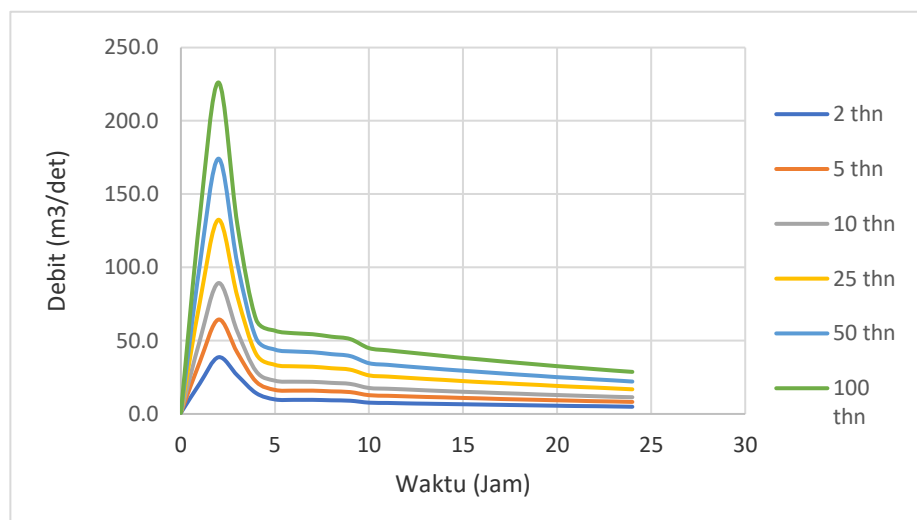
Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value
Sub DAS BPengam..	Snyder Unit Hydrograph - Peaking..		0.6	0.56076
Sub DAS BPengam..	Snyder Unit Hydrograph - Standar..	HR	1	0.36548
Sub DAS BPengam..	SCS Curve Number - Curve Numb..		56	52.519
Sub DAS BPengam..	SCS Curve Number - Initial Abstra..	MM	1	6.3146
Sub DAS BPengam..	Recession - Recession Constant		0.6	0.46555
Sub DAS BPengam..	Recession - Ratio to Peak		0.3	0.21524
Sub DAS BPengam..	Recession - Initial Discharge	M3/S	2.23	7.2745

Gambar 3. Parameter yang berubah setelah kalibrasi

Parameter-parameter Hydrograph hasil kalibrasi dipakai dalam penghitungan debit banjir rencana kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun dengan hasil seperti pada Tabel 4 dan gambar 4.

Tabel 4. Debit Puncak Banjir

Kala Ulang (Tahun)	Debit (m ³ /det)
2	38.7
5	64.4
10	89.3
25	132.5
50	174.2
100	226.2

**Gambar 4.** Hydrograph Banjir DAS Mahawu

3.5 Pemodelan Analisis Hidrolika

Pemodelan kondisi banjir menggunakan *HEC-RAS* 6.3.1 dengan Analisa 2D dengan simulasi *unsteady flow* (Aulia et al., 2024). Pemodelan dilakukan pada daerah hilir sungai Mahawu untuk mengetahui luas dan daerah genangan pada saat banjir dengan kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun. Hasil pemodelan debit banjir kala ulang 2 tahun memperlihatkan kapasitas tampung Sungai Mahawu tidak dapat menampung dan mengalirkan debit banjir. Dari hasil pemodelan genangan banjir, didapatkan luas genangan dan tinggi genangan untuk setiap debit banjir kala ulang rencana dalam Tabel 5.

Tabel 5. Luas Genangan dan Tinggi Genangan

Debit Kala Ulang	Luas Genangan (Ha)	Tinggi Genangan Maksimum (M)
2 Tahun	10.96	1.208
Tahun	11.83	1.95
10 Tahun	18.23	2.42
25 Tahun	19.67	4.07
50 Tahun	72.07	6.95

3.6 Skenario Pengendalian Banjir

Skenario alternatif pengendalian banjir Sungai Mahawu dalam penelitian ini dilakukan dengan 3 kondisi. Skenario 1 dengan melakukan normalisasi hilir Sungai Mahawu sepanjang 1514 m, beda tinggi 2.5 m, slope 0.116, lebar bawah normalisasi 20 m dan 30 m. Hasil pemodelan menunjukkan skenario 1 tidak dapat menampung dan mengalirkan debit banjir kala ulang 2 tahun dimana terjadi limpasan air Sungai Mahawu dengan luas genangan 10,96 Ha untuk lebar sungai 20 m dan 8.82 Ha untuk lebar sungai 30 m (skenario 1A). Pemodelan Skenario 1 A dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Genangan Banjir Hasil Pemodelan Skenario 1A Kala Ulang 2 Tahun

Pemodelan debit banjir kala ulang 2 tahun dengan skenario 2 yaitu gabungan normalisasi dan tanggul banjir dengan $h = 4$ m, efektif menampung dan mengalirkan banjir. Pemodelan skenario 2 dilanjutkan dengan debit banjir kala ulang 5 tahun dimana hasil pemodelan terdapat genangan dengan luas 8.12 Ha dan untuk lebar sungai 30 m (skenario 2A) terdapat genangan 0.07 Ha. Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan skenario 2B yaitu menaikkan tinggi tanggul menjadi 5 m dan lebar sungai 30 m dan dari hasil pemodelan dalam gambar 6, menunjukkan skenario ini mampu menampung dan mengalirkan banjir tetapi tidak efektif untuk debit banjir kala ulang 10 tahun karena terjadi genangan 5.07 Ha.



Gambar 6. Hasil Pemodelan Skenario 2B Kala Ulang 5 Tahun

Pemodelan dilanjutkan untuk debit banjir kala ulang 10 tahun dengan skenario 3 yaitu gabungan normalisasi sungai 30 m, tanggul banjir $h = 5$ m dan *floodway* di sisi kiri sungai. Hasil pemodelan seperti terlihat pada gambar 7, dimana skenario ini efektif menampung dan mengalirkan debit banjir kala ulang 10 tahun meskipun terjadi genangan 0.12 Ha. Sedangkan untuk debit banjir kala ulang 25 tahun saat dilakukan pemodelan dengan skenario 3 terjadi genangan 12.08 Ha atau mengalami pengurangan luas genangan sebesar 38.59% terhadap kondisi genangan tanpa penanganan.



Gambar 7. Hasil Pemodelan Skenario 3 Kala Ulang 10 Tahun

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis studi penelitian ini yaitu debit banjir Sungai Mahawu kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun adalah $38.7 \text{ m}^3/\text{det}$, $64.4 \text{ m}^3/\text{det}$, $89.3 \text{ m}^3/\text{det}$, $132.5 \text{ m}^3/\text{det}$, $174.2 \text{ m}^3/\text{det}$. Hasil pemodelan menunjukkan kapasitas tampung Sungai Mahawu tidak dapat menampung dan mengalirkan banjir dari kala ulang 2 tahun, dimana luas genangan akibat banjir untuk kala ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun adalah 10.96 Ha, 11.83 Ha, 18.23 Ha, 19.67 Ha dan 72.07 Ha dengan tinggi genangan maksimum masing-masing debit banjir kala ulang adalah 1.208 m, 1.95 m, 2.42 m, 4.07 m dan 6.95 m. Hasil pemodelan menunjukkan konsep pengendalian banjir Sungai Mahawu gabungan normalisasi sungai, tanggul banjir dan *floodway* dengan beberapa skenario tidak efektif untuk debit banjir kala ulang 25 tahun dan hanya efektif untuk debit banjir kala ulang 2, 5 dan 10 tahun. Dimana untuk desain pengendalian banjir Sungai Mahawu kala ulang 2 tahun yaitu dengan normalisasi sungai 20 m dan tanggul banjir tinggi 4 meter. Untuk desain pengendalian banjir Sungai Mahawu kala ulang 5 tahun yaitu dengan normalisasi sungai 30 m dan tanggul banjir tinggi 5 meter. Sedangkan untuk desain pengendalian banjir sungai Mahawu kala ulang 10 tahun yaitu dengan normalisasi sungai 30 m, tanggul banjir tinggi 5 meter dan *floodway* sisi kiri sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- 2017, *Modul Metode Pengendalian Banjir*, Modul 04, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, Bandung.
- .*Data Debit Harian Pos Debit Bailang-Bengkol*, Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- .*Data Hujan Harian Pos Curah Hujan Talawaan-Talawaan*, Balai Wilayah Sungai Sulawesi 1, Manado.
- Al Amin, M. Baitullah, Luthfiyyah Ulfah, Helmi Haki, and Sarino Sarino. 2018. "Simulasi Karakteristik Genangan Banjir Menggunakan Hec-Ras 5 (Studi Kasus Subsistem Sekanak Di Kota Palembang)." *Cantilever* 7(2). doi: 10.35139/cantilever.v7i2.67.
- Hendratta, Liany A, Sukarno, Hanny Tangkudung, (2019), *Penerapan Metode Interaksi Pasang Air Laut dan Aliran Sarat Sedimen Terhadap Analisis Tinggi Muka Air Banjir di Sungai Bailang Manado*, Laporan Akhir Riset Terapan Unggulan, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Lidya Anastaya Immanuella, Very Dermawan, and Bambang Winarta. 2022. "Studi Alternatif Pengendalian Banjir Sungai Welang Dengan Pendekatan Pemodelan Banjir Aliran 2D." *Jurnal Teknik Pengairan* 13(2):245–57. doi: 10.21776/ub.pengairan.2022.013.02.10.
- Limpong, J. A., T. Mananoma, and J. S. F. Sumarauw. 2022. "Kajian Pengendalian Banjir Di Sungai Bailang Kecamatan Bunaken Kota Manado." *Tekno* 20:719–29.
- Monica, La'la, Olivia M. Tumurang, and Liany Amelia Hendratta. 2024. "Tinjauan Bangunan Pengendali Sedimen Sungai Taler Kabupaten Minahasa." *Jurnal Teknik Sipil Terapan* 6(1):45. doi: 10.47600/jtst.v6i1.758.
- Raco, Maria Gloria, Tommy Jansen, Liany A. Hendratta, (2019), Pengaruh Pasang Surut Terhadap Tinggi Muka Air Di Muara Sungai Bailang, *Jurnal Sipil Statik*, Vol.7 No.6 Juni 2019 (627-636) ISSN: 2337-6732, Universitas Sam Ratulangi, Manado
- Rinaldi, Aris, Dasniari Pohan, Idham Riyando Moe., (2018), *Evaluasi Permasalahan Banjir Kota Manado Dengan Pemodelan Dua Dimensi*, Karya Tulis Ilmiah, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- 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
- Widyasari, Titiek. (2023). Hidrologi: Edisi Banjir Rancangan. *Eureka Media Aksara*.
- Gaffar, Farida, Nasrah, Adelia, and Farouk Maricar. 2022. "Analisis Perbandingan Debit Banjir Rencana Menggunakan Metode Empiris Dan Simulasi Aplikasi HEC-HMS Di Das Maros." *Teknik Hidro* 15(2):76–81.
- Gunawan, Gusta, Bes Peri, Rena Misliniyati, Iqbal Kurnia Trie Saputra, Iqbal Patrianusa, and Hauranda Aqilah. 2023. "Flood Inundation Modeling for the Lower Bengkulu Sub-Watershed of Bengkulu Province Using the Hec-Ras 5.0.7 Program Based on Ras Mapper and Arc-Gis 10.8." *Media Komunikasi Teknik Sipil* 29(1):84–92. doi: 10.14710/mkts.v29i1.53915.
- Muhammad, Aulia, Donny Harisuseno, and Jadfani Sidqi fidari. 2024. "Analisa Genangan Banjir Sungai Gembong Pasuruan Menggunakan Aplikasi Hec-Ras 2D." *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air* 4(1):754–66. doi: 10.21776/ub.jtresda.2024.004.01.064.
- Novalisae, and Ferdinandus. 2020. "Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi Curah Hujan Pada PT XYZ (Fitting Test Of Rain Frequency Distribution In PT XYZ)." XX(2):106–13.
- Wasono, Agung, Yuli Kunia Sari, Sri Sangkawati, Hari Nugroho, Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, and Universitas Diponegoro. 2022. "Analisis Debit Banjir Berdasarkan Data Curah Hujan Pada DAS Sekampung Menggunakan Pemodelan HEC-HMS." *Jurnal Teknik Sipil* 7(2):686–92.
- Zevri, Asril. 2020. "Analisis Rencana Tinggi Tanggul Banjir Das Bangkatan Sebagai Alternatif Pengendalian Banjir Kota Binjai." *Jurnal Sumber Daya Air* 16(2):63–76. doi: 10.32679/jsda.v16i2.613.