

Operasional Buka-an Pintu Air Pada Bendungan Pengendali Air (Bendali) Manggar Kecil sebagai Pengendalian Banjir

Putra Lufian Tiko^{1*}, Vita Ayu Kusuma Dewi¹, Gilang Id'fi¹, dan Muhammad Abdul Rahman¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Malang, 65145, Indonesia

*penulis koresponden: putralufiant@gmail.com

Abstrak: Daerah Aliran Sungai (DAS) Manggar Kecil adalah salah satu kawasan di Kota Balikpapan yang memiliki potensi banjir. Upaya pemerintah Kota Balikpapan dalam menangani masalah banjir di DAS tersebut melalui perencanaan pembangunan Bendungan Pengendali Air (Bendali). Salah satu perencanaannya yaitu Bendali Primer Manggar Kecil Hilir, Kota Balikpapan. Perencanaan Bendali tersebut, belum memiliki optimalisasi dalam pengendalian banjir. Oleh karena itu, diperlukan pengaplikasian pintu air dan diskenariokan buka-an pintu air. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengendalian banjir pada DAS Manggar Kecil. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis numerik dan analisis statistik. Dilakukan pemodelan Bendali dengan menerapkan dan mengoperasikan pintu air. Untuk mendapatkan debit banjir kala ulang 100 tahun dilakukan analisis HSS Nakayasu. Selanjutnya, dilakukan pemodelan Bendali pada HEC-RAS dan menganalisis buka-an pintu air untuk mengukur elevasi muka air banjir, volume tampungan, debit *outflow* air banjir dan tinggi jagaan. Hasil analisis ini dievaluasi berdasarkan indikator untuk menentukan skenario buka-an pintu air yang paling optimal. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh debit banjir periode 100 tahun metode HSS Nakayasu sebesar $212.9 \text{ m}^3/\text{detik}$. Pintu ke-1, pintu ke-2, pintu ke-3 dan pintu ke-4 dibuka sebesar 5 meter, membuktikan bahwa banjir mengalami penurunan elevasi di belakang Bendali berada di ketinggian $+18.84 \text{ m} \leq +22.6 \text{ m}$, elevasi air di hulu $+18.91 \text{ m} \leq +22.6 \text{ m}$, dan elevasi air di hilir $+8.65 \text{ m} \leq +22.6 \text{ m}$. Pada elevasi ini, tampungan Bendali dapat menampung volume air sebesar $5,236.486 \text{ m}^3 \leq 13,830.15 \text{ m}^3$. Debit *outflow* banjir sebesar $195.2 \text{ m}^3/\text{detik} \leq 212.9 \text{ m}^3/\text{detik}$. Memiliki elevasi jagaan (*freeboard*) sebesar $3.59 \text{ m} \geq 2 \text{ m}$. Dengan demikian, skenario buka-an pintu air tersebut optimal dalam mengurangi risiko banjir di daerah aliran sungai (DAS) Manggar Kecil.

Kata kunci: Bendali, Hidrograf, HEC-RAS, Pintu Air

Diterima: 7 Juli 2024
Diperbaiki: 14 Oktober 2024
Disetujui: 18 October 2024

1. Pendahuluan

Banjir merupakan fenomena alam dimana terjadinya kenaikan tingkat elevasi air dan volume air di suatu wilayah saat musim penghujan [1]. Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki potensi banjir yang adalah kota Balikpapan. Pada musim penghujan di daerah Balikpapan terdapat beberapa kawasan yang terendam banjir, salah satunya di daerah Daerah Aliran Sungai (DAS) Manggar Kecil Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Hal tersebut menunjukkan bahwa DAS Manggar Kecil memerlukan pengendalian banjir yang tepat untuk mengatasi bencana banjir. Salah satu upaya penanganan masalah banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Manggar Kecil Kota Balikpapan melalui pembangunan Bendungan Pengendali Banjir atau Bendali [2]. Pembangunan Bendali ini sesuai dengan program pemerintah Kota Balikpapan yang direncanakan pada Revisi Masterplan Drainase Kota Balikpapan Tahun 2022. Pada perencanaan tersebut

pemerintah Kota Balikpapan membangun beberapa Bendali di berbagai lokasi di Kota Balikpapan, salah satunya adalah Bendali Primer Manggar Kecil Hilir yang berlokasi di Kelurahan Manggar, Kecamatan Balikpapan Timur, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Bendali tersebut dirancang untuk mampu mereduksi debit aliran DAS Manggar Kecil. Pada Revisi Masterplan Drainase Kota Balikpapan Tahun 2022, tidak terdapat debit lapangan DAS Manggar Kecil, sehingga pendekatan hidrograf digunakan untuk menghitung debit air. Pendekatan hidrograf dalam menentukan besaran debit air menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu.

Salah satu komponen struktur yang sangat penting dalam perencanaan Bendali adalah pintu air [3]. Penerapan pintu air ini dapat mengefisienkan suatu bangunan air dalam mengendalikan banjir [4]. Pada perencanaan dan pengaturan operasional pintu air pada bendungan pengendali, direncanakan pengaplikasian 4 (empat) pintu air tipe sorong atau *sluice gate*. Pengoperasian pintu air tipe *sluice gate* dilakukan dengan membuka dan menutup pintu secara vertikal sehingga sangat bermanfaat ketika dalam situasi darurat. Pengoperasian pintu air ini menerapkan bukaan pintu sebagai solusi dalam menurunkan elevasi muka air agar tidak terjadinya *overtopping* [5].

Dalam pengoperasian bukaan pintu air pada Bendali dilakukan pendekatan metode numerik dengan bantuan *Software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System)*. *Software HEC-RAS* digunakan untuk menganalisis hidraulika termasuk pemodelan bendungan, pintu air dan perhitungan elevasi muka air [6]. Pada penelitian ini, *Software HEC-RAS* juga dipakai untuk merancang strategi operasional pintu air di bendungan dengan mengatur pembukaan dan penutupan pintu air dalam mengelola elevasi muka air. Dengan adanya perencanaan dan operasional pintu air pada Bendali diharapkan dapat mengatasi dampak bencana banjir yang sering terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Manggar Kecil.

2. Metode

Lokasi penelitian terletak di Daerah Aliran Sungai (DAS) Manggar Kecil di Kelurahan Manggar, Kecamatan Balikpapan Timur, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Berdasarkan laporan Masterplan Drainase Kota Balikpapan 2022, DAS Manggar Kecil memiliki luas sebesar 19.865 km², sungai primer Manggar Kecil dengan panjang 12.58 km, kemiringan sungai 0.09%, dan koefisien karakteristik DAS (α) bernilai 3. Lokasi DAS Mangga Kecil merupakan lokasi perencanaan Bendungan Pengendali Air (Bendali).

2.1. Data Curah hujan harian maksimum

Data curah hujan harian maksimum adalah jumlah curah hujan tertinggi yang tercatat selama satu hari dalam setahun di suatu lokasi atau stasiun pengamatan cuaca [7]. Data curah hujan harian maksimum yang digunakan penelitian ini yaitu dari tahun 2003 hingga 2022 yang diperoleh dari stasiun hujan Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepingga.

2.2. Jenis distribusi probabilitas

Pada penelitian ini Jenis distribusi probabilitas yang digunakan yaitu metode *Log Pearson* tipe III. *Log Pearson* tipe III adalah distribusi probabilitas yang sering digunakan dalam hidrologi untuk memodelkan curah hujan atau debit aliran sungai. Terdapat 12 tipe distribusi Pearson, akan tetapi dalam analisis hidrologi umumnya menggunakan distribusi *Log Pearson* tipe III [8]. Selain itu, jenis distribusi *Log Pearson* tipe III merupakan jenis distribusi yang memenuhi syarat parameter statistik. Persamaan *Log Pearson* tipe III dirumuskan pada persamaan (1).

$$X_T = \overline{\log X} + K_T \cdot S \log X \quad (1)$$

Keterangan: X_T = Nilai logaritma hujan rencana curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun

$\overline{\log X}$ = Nilai logaritma Curah hujan rata-rata (mm)

K_T = Faktor frekuensi

S = Standar deviasi dari logaritma data hujan.

2.3. Intensitas curah hujan jam-jaman

Perhitungan ini menggunakan metode distribusi Mononobe. Perhitungan ini menggunakan asumsi distribusi hujan terjadi secara merata dengan durasi distribusi hujan jam-jaman sebesar 6 jam [9]. Perhitungan intensitas curah hujan metode Mononobe dilakukan jika data hujan pendek tidak tersedia dan hanya tersedia hujan harian [10]. Metode Mononobe dirumuskan pada persamaan (2).

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (2)$$

Keterangan: I = Intensitas hujan (mm/jam)
 t = Waktu / lama hujan (mm)
 R_{24} = Tinggi hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

2.4. Hidrograf Nakayasu

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu adalah metode analisis hidrograf yang dikembangkan oleh Nakayasu di Jepang pada tahun 1950. Metode ini digunakan ketika data curah hujan per jam dan debit banjir yang terukur tidak tersedia, sehingga diperlukan pendekatan sintetik untuk memperkirakan data curah hujan per jam dan debit banjir tersebut. Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu cocok digunakan untuk daerah aliran sungai (DAS) yang memiliki karakteristik berupa wilayah perbukitan [10] [11]. Bambang Triatmodjo (2008), merumuskan perhitungan debit puncak banjir metode HSS Nakayasu pada Persamaan (3) - (7).

1. Menghitung nilai time lag (T_L)

$$T_L = 0,21 + L^{0,7} \quad (3)$$

2. Menghitung hujan efektif (T_r)

$$T_r = 0,75 \times t_L \quad (4)$$

3. Menghitung debit 0,3 kali debit puncak ($T_{0,3}$)

$$T_{0,3} = \alpha \times T_L \quad (5)$$

4. Menghitung waktu puncak (T_P)

$$T_P = T_L + 0,8 T_r \quad (6)$$

5. Menghitung debit puncak (Q_P)

$$Q_P = \frac{1}{3,6} \times A \times R_0 \times \frac{1}{0,3 T_P + T_{0,3}} \quad (7)$$

Keterangan: T_L = Waktu keterlambatan atau *time lag* (jam)
 L = Panjang sungai (km)
 T_P = Waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)
 T_r = Durasi hujan (jam), yaitu $0,5t_L$ sampai $1t_L$
 $T_{0,3}$ = Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)
 α = Koefisien Karakteristik DAS, dengan nilai 1,5 hingga 3,0
 Q_P = Debit puncak banjir (m^3/det)
 A = Luas DAS (km^2)
 R_0 = Curah hujan efektif (mm) didapatkan dari analisis hidrologi.

2.5. Outflow debit di atas mercu/head tipe ambang lebar

Pelimpah berfungsi untuk mengalirkan air yang melebihi tinggi muka air rencana, sehingga aliran air tidak meluap di atas tanggul di hulu pelimpah [12]. *Outflow* debit di atas mercu/head tipe ambang lebar dirumuskan pada persamaan (4).

$$Q = CLH^{1.5} \quad (4)$$

Keterangan: C = nilai koefisien debit di antara 2,5 hingga 4,0
 L = lebar meru (ft)
 H = Tinggi energi diatas mercu (ft)
 Q = Debit outflow di atas *mercu/head* tipe ambang lebar (m³/det)

2.6. Debit di bawah pintu sorong atau sluice gate

Aliran yang keluar melewati pintu air sorong yaitu Aliran bebas terjadi ketika permukaan air di hilir/downstream lebih rendah dari dasar pintu sorong dan hulu, sehingga aliran tidak dipengaruhi oleh kondisi di hilir dan air dapat mengalir dengan bebas [13]. Outflow debit di bawah pintu sorong atau *sluice gate* dirumuskan pada persamaan (5).

$$Q = CWB\sqrt{2gH} \quad (5)$$

Keterangan: C = nilai koefisien debit di antara 0,5 hingga 0,7
 W = lebar pintu air pada pelimpah (ft)
 B = tinggi bukaan pintu air (ft)
 g = percepatan gravitasi (33.17 ft/s²)
 H = selisih tinggi muka air hulu dengan puncak mercu *spillway* (ft)
 Q = Debit outflow di atas *mercu/head* tipe ambang lebar (m³/det)

Berdasarkan hasil hitungan tersebut, selanjutnya diubah menjadi grafik *rating curve*.

2.7. Tinggi Jagaan (Freeboard)

Tinggi jagaan bendungan adalah tambahan tinggi di atas tinggi muka air maksimum yang direncanakan untuk memberikan keamanan ekstra terhadap kemungkinan kenaikan muka air [14]. Menurut Sosrodarsono, Suyono Takeda, (1977), nilai standar pada bendungan urugan dengan ketinggian bendungan < 50 meter, menggunakan nilai tinggi jagaan > 2 meter .

2.8. Indikator Optimal

Beberapa indikator penting dalam menentukan skenario bukaan pintu optimal pada bendali Manggar Kecil meliputi: 1.Elevasi Muka Air Banjir di daerah bendali, hulu dan hilir, yang harus di bawah puncak bendali (+22.6 meter) untuk menghindari *overtopping*; 2.Volume tampungan, dengan kapasitas tidak melebihi volume maksimum sebesar 13,830.149 m³; 3.*Outflow* Air Banjir, debit air yang dikeluarkan harus mampu mereduksi volume air banjir dan memastikan bendali tidak cepat penuh, dengan syarat *outflow* ≤ *Inflow*; dan 4.Elevasi Jagaan (*Freeboard*), dengan tambahan elevasi minimum 2 meter di atas tinggi muka air hulu sebagai langkah keamanan ekstra untuk struktur bendungan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data curah hujan harian maksimum pada stasiun hujan Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggian.

Tabel 1. Data curah hujan tahunan Pada Tahun 2003-2022

No	Tahun	Rmax	No	Tahun	Rmax
1	2003	181.6	11	2013	94
2	2004	100.4	12	2014	102.5
3	2005	107.5	13	2015	108.1
4	2006	133.4	14	2016	75.6
5	2007	154.2	15	2017	198
6	2008	164.8	16	2018	161.4
7	2009	132	17	2019	165.8
8	2010	119.7	18	2020	154.5

No	Tahun	Rmax	No	Tahun	Rmax
9	2011	119.6	19	2021	90.1
10	2012	148	20	2022	190.5

Sumber: Data Online Pusat Database Meteorologi dan Klimatologi Geofisika

3.2. Perhitungan distribusi frekuensi hujan rencana

Analisis distribusi frekuensi untuk menentukan hujan rencana dilakukan dengan cara menghitung nilai parameter-parameter statistik seperti Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Variabel Input Parameter Statistik

No	Tahun	Xmax (mm)	$(X-\bar{X})$	$(X-\bar{X})^2$	$(X-\bar{X})^3$	$(X-\bar{X})^4$
1	2017	198	62.9	3958.30	249036	15668116.92
2	2022	190.5	55.4	3070.82	170170	9429949.14
3	2003	181.6	46.5	2163.65	100642	4681360.66
4	2019	165.8	30.7	943.41	28977	890024.74
5	2008	164.8	29.7	882.98	26238	779655.84
6	2018	161.4	26.3	692.48	18223	479527.48
7	2020	154.5	19.4	376.94	7318	142085.44
8	2007	154.2	19.1	365.38	6984	133504.90
9	2012	148	12.9	166.80	2154	27821.31
10	2006	133.4	-1.7	2.84	-5	8.06
11	2009	132	-3.1	9.52	-29	90.58
12	2010	119.7	-15.4	236.70	-3642	56026.05
13	2011	119.6	-15.5	239.79	-3713	57496.95
14	2015	108.1	-27.0	728.19	-19650	530261.00
15	2005	107.5	-27.6	760.93	-20990	579017.85
16	2014	102.5	-32.6	1061.78	-34598	1127381.49
17	2004	100.4	-34.7	1203.05	-41728	1447327.44
18	2013	94	-41.1	1687.98	-69351	2849267.11
19	2021	90.1	-45.0	2023.65	-91034	4095160.23
20	2016	75.6	-59.5	3538.47	-210486	12520736.15
Jumlah		2701.7	0	24113.65	114517	55494819
Nilai Rerata (\bar{X})					= 108.71	
Standar Deviasi/Simpangan Baku (S)					= 35.65	
Koefisien Variasi (C_v)					= 0.264	
Koefisien Kemencengan/Skewness (C_s)					= 0.148	
Koefisien Ketajaman/Kurtosis (C_k)					= 2.37	

Berdasarkan perhitungan di atas didapatkan parameter statistik yang digunakan untuk persyaratan dalam menentukan jenis sebaran (distribusi).

Tabel 3. Persyaratan Nilai Parameter Statistik

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
Normal	$C_s \approx 0$	0.148	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 3$	2.370	
Log Normal	$C_s \approx C_v^3 + 3C_v$	0.148	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	2.370	
Gumbel	$C_s \approx 1.14$	0.148	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 5.4$	2.370	
Log Pearson III	Selain nilai di atas	-	Memenuhi

Dari parameter tersebut didapatkan bahwa log pearson III merupakan jenis distribusi yang memenuhi syarat parameter statistik. Sehingga dilakukan perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi log pearson III.

3.2. Perhitungan log pearson tipe III

Tabel 4. Perhitungan Variabel Input Distribusi Log Pearson III

No	Tahun	X (mm)	Log X	Log X - $\bar{\text{Log X}}$	(Log X - $\bar{\text{Log X}}$) ²	(Log X - $\bar{\text{Log X}}$) ³
1	2017	198	2.30	0.18	0.033	0.006
2	2022	190.5	2.28	0.16	0.027	0.004
3	2003	181.6	2.26	0.14	0.021	0.003
4	2019	165.8	2.22	0.10	0.011	0.001
5	2008	164.8	2.22	0.10	0.010	0.001
6	2018	161.4	2.21	0.09	0.009	0.001
7	2020	154.5	2.19	0.07	0.005	0.000
8	2007	154.2	2.19	0.07	0.005	0.000
9	2012	148	2.17	0.05	0.003	0.000
10	2006	133.4	2.13	0.01	0.000	0.000
11	2009	132	2.12	0.00	0.000	0.000
12	2010	119.7	2.08	-0.04	0.001	0.000
13	2011	119.6	2.08	-0.04	0.001	0.000
14	2015	108.1	2.03	-0.08	0.007	-0.001
15	2005	107.5	2.03	-0.08	0.007	-0.001
16	2014	102.5	2.01	-0.10	0.011	-0.001
17	2004	100.4	2.00	-0.11	0.013	-0.001
18	2013	94	1.97	-0.14	0.020	-0.003
19	2021	90.1	1.95	-0.16	0.026	-0.004
20	2016	75.6	1.88	-0.24	0.056	-0.013
Jumlah	2701.7	42.31			0.266681	-0.007084
Nilai Rerata ($\overline{\text{log X}}$)	= 2.12					
Standar Deviasi/Simpangan Baku (S)	= 0.118					
Koefisien Kemencengan/Skewness (C_s)	= -0.249					

Selanjutnya dilakukan perhitungan hujan rencana menggunakan distribusi log pearson III dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Distribusi Log Pearson III untuk Hujan Rencana

Parameter	Periode Ulang								
	1.0101	1.25	2	5	10	25	50	100	200
K_T	-2.51	-1.89	0.04	0.85	1.25	1.66	1.92	2.14	2.34
Log X_T	1.819	1.9	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4
X_T (mm)	65.86	77.94	131.99	164.64	183.63	205.37	220.23	234.09	247.23

3.4. Perhitungan intensitas curah hujan jam-jaman

Perhitungan intensitas curah hujan jam-jaman dilakukan dengan waktu konsentrasi hujan selama 6 jam dikarenakan rata-rata durasi hujan di Indonesia selama 6 jam. Keseluruhan perhitungan intensitas hujan rata-rata rencana (I_t) dan intensitas hujan rata-rata rencana pada jam ke-(T) atau I_T seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Nilai I_t dan I_T

jam ke- (t)	Intensitas hujan (I)		Curah hujan jam ke- (I _t)		Rasio (I _t) (%)	I _t kumulatif (%)
	1 jam-an					
1	0.550321	R ₂₄	0.550321	R ₂₄	55.03%	55.03%
2	0.346681	R ₂₄	0.14304	R ₂₄	14.30%	69.34%
3	0.264567	R ₂₄	0.100339	R ₂₄	10.03%	79.37%
4	0.218395	R ₂₄	0.07988	R ₂₄	7.99%	87.36%
5	0.188207	R ₂₄	0.067456	R ₂₄	6.75%	94.10%
6	0.166667	R ₂₄	0.058964	R ₂₄	5.90%	100.00%

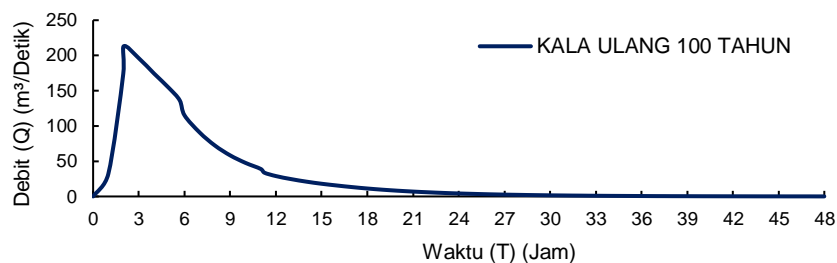
Selanjutnya dilakukan perhitungan intensitas curah hujan pada jam ke-T dengan cara hujan harian maksimum dalam 24 jam dengan periode ulang 100 tahun yang diperoleh dari perhitungan distribusi log pearson III dengan hasil sebesar 234.09 (Periode Ulang 100 tahun) dikali dengan nilai I_T pada jam ke-T sehingga didapatkan besaran intensitas curah hujan pada jam tertentu. Keseluruhan perhitungan intensitas curah hujan jam-jaman dengan dengan waktu konsentrasi hujan selama 6 jam seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Distribusi Hujan Jam-Jaman Dengan Durasi Hujan 6 Jam

jam ke-(t)	Hujan rencana dengan periode ulang								
	1.01	1.25	2	5	10	25	50	100	200
	65.86	77.94	131.99	164.64	183.63	205.37	220.23	234.09	247.23
1	36.24	42.89	72.64	90.60	101.05	113.02	121.20	128.82	136.05
2	9.42	11.15	18.88	23.55	26.27	29.38	31.50	33.48	35.36
3	6.61	7.82	13.24	16.52	18.42	20.61	22.10	23.49	24.81
4	5.26	6.23	10.54	13.15	14.67	16.40	17.59	18.70	19.75
5	4.44	5.26	8.90	11.11	12.39	13.85	14.86	15.79	16.68
6	3.88	4.60	7.78	9.71	10.83	12.11	12.99	13.80	14.58
Jumlah									
	65.86	77.94	131.99	164.64	183.63	205.37	220.23	234.09	247.23

3.5. Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Pada penelitian ini, debit yang direkomendasikan untuk perencanaan bendungan pengendali banjir didasarkan pada debit puncak maksimum dengan kala ulang 100 tahun, karena standar perencanaan bendali minimal menggunakan debit dengan kala ulang 100 tahun. Dari perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dari hasil perhitungan yang sudah dianalisis, didapatkan grafik HSS Nakayasu sebagai berikut.

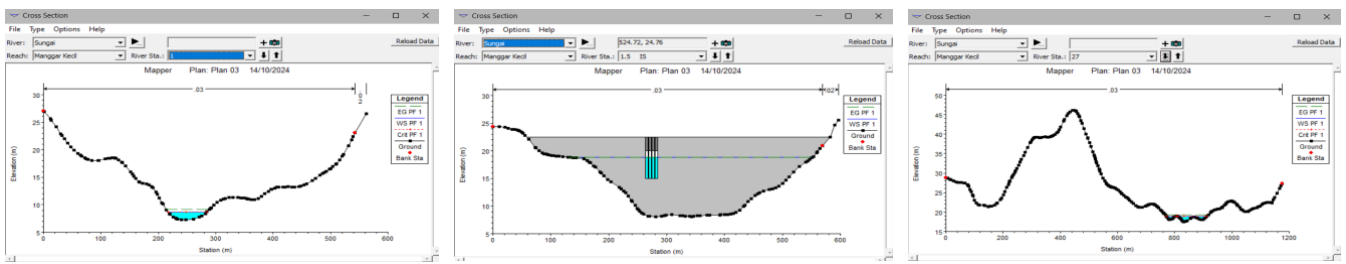


Gambar 1. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu kala ulang 100 tahun

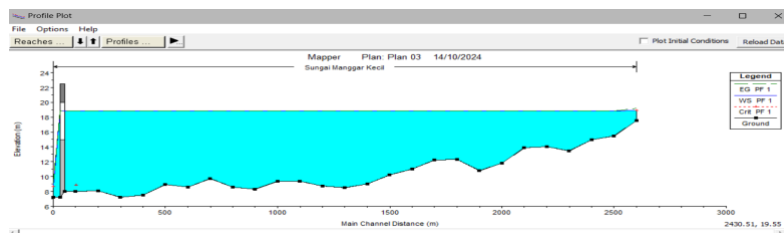
Berdasarkan Gambar 1, debit puncak banjir pada periode kala ulang 100 tahun terjadi pada jam ke-2 dengan debit sebesar 212.9 m³/detik. Hasil perhitungan debit Nakayasu digunakan sebagai parameter input pemodelan Bendali pada HEC-RAS.

3.6. Pemodelan Bendali menggunakan software HEC-RAS 6.5

Pada simulasi pemodelan Bendali pada HEC-RAS dilakukan pengaplikasian 4 (empat) pintu air. Lebar pintu air ke-1 dan ke-4 sebesar 4.5 meter, sedangkan lebar pintu air ke-2 dan ke-3 sebesar 4 meter. Operasional bukaan pintu air pada Bendali dilakukan membuka pintu ke-1, pintu ke-2, pintu ke-3 dan pintu ke-4 dibuka sebesar 5 meter. Elevasi mercu bendungan sendiri di ketinggian 22,5 dan elevasi mercu spillway di ketinggian 15 meter. Pemodelan ini digunakan untuk memperkirakan tinggi permukaan banjir. Pada pemodelan simulasi ini menggunakan data debit sebesar 212.9 m³/detik. Pemodelan simulasi ini menampilkan tinggi muka air banjir pada kondisi WS Max. WS Max (*Water Surface Maximum*) adalah kondisi maksimum dari muka air banjir, di mana tinggi permukaan air mencapai level tertinggi selama periode banjir. Hasil dari simulasi ini berupa ketinggian elevasi muka air pada Bendali yang dijelaskan sebagai berikut.

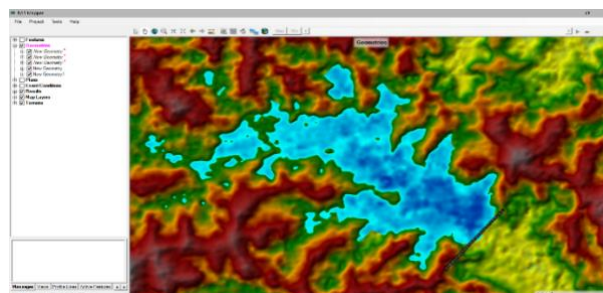


Gambar 2. (a) Tinggi Muka Air di Hilir, (b) Tinggi Muka Air di Bendali, (c) Tinggi Muka Air di Hulu



Gambar 3. Profil Memanjang Tinggi Muka Air di Bendali Manggar Kecil

Berdasarkan *Cross section* dan profil memanjang tinggi muka air Bendali yang dirincikan pada Gambar 2 dan Gambar 3, diketahui ketinggian muka air banjir pada tampungan (Bendali) berada di elevasi +18.84 m, kemudian tinggi muka air banjir didaerah hulu yaitu di elevasi +18.91 m, dan untuk tinggi muka air banjir didaerah hilir Bendali sendiri berada di elevasi +8.65 m.



Gambar 4. Tampungan Bendali Manggar Kecil

Kapasitas tampungan bendali Manggar Kecil diperoleh dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Tampungan bendali diilustrasikan pada Gambar 4. Dari hasil simulasi HEC-RAS didapatkan tampungan maksimum dengan luasan tampungan sebesar 128.32 ha atau 1,283 km², elevasi tampungan di ketinggian 22.6 meter dan volume air yang mampu ditampung oleh bendali Manggar Kecil selama 6 jam sebesar 13,143.2 m³. Dengan ketinggian elevasi +18.84 m menunjukkan volume tampungan bendali Manggar Kecil selama 6 jam sebesar 5,236.486 m³. Sehingga air dapat ditampung oleh bendali dan tidak mengalami *overtopping*.

3.7. Debit air di Atas Mercu/Head

Perhitungan debit air di atas mercu digunakan untuk menunjukkan grafik antara (Q) debit (m³/det) dan (H) tinggi muka air (m). Perhitungan ini digunakan sebagai parameter pembuatan grafik *Rating Curve*.

a. Data Input Perhitungan

- Lebar Mercu (L) = L1+L2+L3+L4 = 4.5 + 4 + 4 + 4.5 = 17 m
= 55.77 ft
- Tinggi air di atas mercu (H) = 4 m = 13.12 ft (ELV +19 m)

- Koefisien debit (C) = 2.60 (Ambang Lebar)

b. Perhitungan debit (Q) aliran di atas mercu/*head*

$$Q = C \times L \times H^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 2.60 \times 55.77 \times 13.12^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 6894.06 \text{ ft}^3/\text{s} = 195.2 \text{ m}^3/\text{det}$$

3.8. Debit air di bawah pintu sorong atau *sluice gate*

Perhitungan debit air di atas mercu digunakan untuk menunjukkan grafik antara (Q) debit (m^3/det) dan (H) tinggi muka air (m), berdasarkan besaran debit yang keluar melalui pintu sorong/*sluice gate* (B). Perhitungan ini digunakan sebagai parameter pembuatan grafik *Rating Curve*.

a. Data Input Perhitungan

- Lebar pintu (W) = $L_1+L_2+L_3+L_4 = 4.5 + 4 + 4 + 4.5 = 17 \text{ m}$
= 55.77 ft
- Tinggi Buka-an Pintu (B) = 5 m = 16.40 ft
- Koefisien debit (C) = 0.50 (*Sluice Gate*)
- Kedalaman Hulu (h) = 5.2 m = 17.06 ft (ELV +20.2)
- Puncak Mercu (h1) = 0 m = 0 ft (ELV +15.00)
- Percepatan Gravitasi (g) = $9.8 \text{ m}/\text{det}^2 = 33.17 \text{ ft}/\text{s}^2$

b. Perhitungan Selisih Antara Hulu dan Puncak Mercu (H)

$$H = h - h_1 = 17,06 \text{ ft} - 0 \text{ ft} = 17.06 \text{ ft}$$

c. Perhitungan debit (Q) aliran di bawah pintu sorong/*sluice gate*

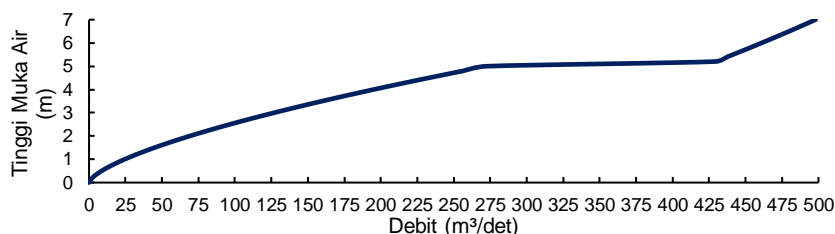
Aliran di bawah pintu sorong/*sluice gate* merupakan aliran bebas (*free flow*) dimana, tinggi muka air pada hilir lebih rendah daripada dasar buka-an pintu sorong (*sluice gate*).

$$Q = C \times W \times B \times \sqrt{2 \times g \times H}$$

$$Q = 0.50 \times 55.77 \times 16.40 \times \sqrt{2 \times 33.17 \times 17.06}$$

$$Q = 15,157.27 \text{ ft}^3/\text{s} = 429.2 \text{ m}^3/\text{det}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, selanjutnya membuat grafik *Rating Curve* seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik *Rating Curve*

Berdasarkan Gambar 5. diketahui bahwa muka air banjir di ketinggian 4 meter dari mercu *spillway* atau pada elevasi 18.91 meter, didapatkan *outflow* debit Bendali Manggar Kecil sebesar $195.2 \text{ m}^3/\text{det}$.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dan perhitungan debit rencana metode HSS Nakayasu diperoleh debit sebesar $212.9 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hasil pemodelan dan perhitungan bendali Manggar Kecil dengan mengoperasikan pintu air, diketahui bahwa dengan buka-an pintu air ke-1, ke-2, ke-3 dan ke-4 dibuka sebesar 5 meter, membuktikan bahwa bendali mengalami penurunan elevasi banjir di belakang bendali

yang berada di ketinggian $+18.84 \text{ m} \leq +22.6 \text{ m}$, elevasi air di hulu bendali di ketinggian $+18.91 \text{ m} \leq +22.6 \text{ m}$, dan elevasi air di hilir bendali tercatat pada ketinggian $+8.65 \text{ m} \leq +22.6 \text{ m}$. Volume tampungan bendali dengan durasi waktu 6 jam sebesar $5,236.486 \text{ m}^3 \leq 13,830.15 \text{ m}^3$, volume air tersebut mampu ditampung oleh bendali karena tidak melebihi elevasi puncak bendali. Hal ini dikarenakan, debit yang keluar melewati empat bukaan pintu *sluice gate* sebesar $195.2 \text{ m}^3/\text{detik} \leq 225.6 \text{ m}^3/\text{detik}$. Sehingga, air pada tampungan dapat direduksi dan mampu menurunkan elevasi muka air banjir. Selain itu, dengan mengoperasikan pintu air bendali memiliki elevasi jagaan (*freeboard*) sebesar $3.59 \text{ m} \geq 2 \text{ m}$. Dengan demikian, pengoperasian bukaan pintu air ini digunakan sebagai skenario bukaan pintu air yang optimal dalam mengurangi risiko banjir di daerah aliran sungai (DAS) Manggar Kecil.

Daftar Pustaka

- [1] Panangian J, Siahaan S, Winata OP, Sintari CL, Wijaya KM, Tubil NS. Analisis pemetaan daerah rawan banjir di kabupaten katingan. 2024;8(4):4550–6.
- [2] Kementerian PUPR. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2023. Bendali, Pengendali Banjir Sekaligus Pengkonservasi Air. Available from: <https://pu.go.id/berita/bendali-pengendali-banjir-sekaligus-pengkonservasi-air>
- [3] Ditjen Sumber Daya Air. Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (Head Works) KP-02 [Internet]. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Irigasi Dan Rawa. 2013. 1–245 p. Available from: <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf%0Ahttp://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006%0Ahttps://doi.org/10.1>
- [4] Ayun FQ, Noerhayati E, Suprpto B. Studi Evaluasi Pengoperasian Pintu Bendung Gerak Untuk Pengendali Banjir Di Kabupaten Oku Timur Sumatera Selatan. Univ Islam Malang Repos [Internet]. 2022;1(11150331000034):1–147. Available from: <http://repository.unisma.ac.id/handle/123456789/4847>
- [5] Jonathan A, Yudianto D, Sanjaya S. Penentuan Pola Operasi Pintu Pelimpah Dalam Rangka Pengendalian Banjir Bendungan Delingan, Jawa Tengah. J Tek Hidraul. 2021;12(2):93–106.
- [6] Desromi F, Putri YE, Wijaya OE, Studi P, Sipil T, Baturaja U, et al. Penggunaan Program HEC-RAS Dalam Pengendalian Banjir Sungai. 2022;7:117–26.
- [7] Susilowati, Sadad I. Analisa Karakteristik Curah Hujan di Kota Bandar Lampung. J Geod Undip. 2019;7(1):13–26.
- [8] Triatmodjo B. Hidrologi Terapan. Beta Offset Yogyakarta. Yogyakarta; 2008. 1–374 p.
- [9] Pulasari LAPW, Andawayanti U, Suhartanto E. Aplikasi TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) pada Evaluasi Saluran Drainase Perkotaan Berwawasan Lingkungan di Sistem Drainase Sebangau dan Kahayan, Palangka Raya. J Teknol dan Rekayasa Sumber Daya Air. 2021;1(2):812–25.
- [10] Soemarto CD. Hidrologi Teknik. ed. 2. Jakarta : Erlangga Univ, Press, 1999; 1987. 313 p.
- [11] Kustamar. Sistem Drainase Perkotaan Pada Kawasan Pertanian, Urban, dan Pesisir. Africa's potential for the ecological intensification of agriculture. Malang: Dream Litera Buana; 2019. 331 p.
- [12] Chow V Te. Open Channel Hydraulics. Open Channel Hydraulics. 1959. 1–364 p.
- [13] Sujatmoko B, Silia N, Teknik Sipil J, Teknik F, Riau U. Pengaruh Parameter Aliran Terhadap Letak Awal Loncat Air Melalui Pintu Sorong Tegak (Sluice Gate). J SENDI [Internet]. 2021;2(2):57–66. Available from: <http://jim.teknokrat.ac.id/index.php/tekniksipilJurnalTeknikSipil>
- [14] Mamahit YN, Sumarauw JSF, Tangkudung H. Tinjauan Sistem Saluran Drainase Di Jalan Hasanudin Dalam Kecamatan Tuminting Kota Manado. J Sipil Statik. 2020;8(3):361–74.
- [15] Sosrodarsono, Suyono Takeda K. Bendungan Type Urugan. Sosrodarsono, Suyono Takeda K, editor. Jakarta; 1977. 1–334 p.