

Pengendalian Banjir Hulu Sungai Juana, Kabupaten Kudus dan Pati, Provinsi Jawa Tengah

Wirda Adila¹⁾, S. Kamilia Aziz¹⁾ Rizki Robbi Rahman
Alam¹⁾

¹⁾ Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Vokasi, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember,
Surabaya, Indonesia
Email: kamiliaharis@gmail.com

Received: 2025-08-06; Accepted: 2026-03-20; Published: 2026-03-31

Abstract

The Seluna River System, consisting of the Serang, Lusi, and Juana Rivers, exhibits complex hydraulic interactions, where discharge releases from Klambu Weir and Wilalung Barrage contribute significantly to increased flood risk in the Juana River. The limited capacity of the Juana River, combined with inflows from 21 tributaries, results in its inability to adequately convey flood discharge. This study aims to analyze flood inundation patterns and evaluate the effectiveness of river normalization as a flood mitigation measure using HEC-RAS 2D, with design flood discharge estimated by the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph method. The hydraulic modeling considers upstream boundary conditions from Klambu Weir and downstream boundary conditions at Juana Rubber Dam under both inflated and deflated states. The results indicate that the most critical condition occurs when the rubber dam is inflated. River normalization with a compound channel significantly increases channel capacity and reduces flood inundation by 11.64–13.40% for return periods of 25–100 years. The policy implications highlight the importance of integrated river basin management through optimized real-time weir operation, controlled discharge distribution, and enhanced flood monitoring and prediction systems to support adaptive decision-making

Keywords: Flood; Juana River; Flood Control; River Normalization; HECRAS 2D; Flood Mitigation.

Abstrak

Sistem Sungai Seluna yang terdiri dari Sungai Serang, Lusi, dan Juana memiliki keterkaitan hidraulik yang kompleks, di mana debit rilis dari Bendung Klambu dan Bendung Gerak Wilalung berkontribusi terhadap peningkatan risiko banjir di Sungai Juana. Kapasitas Sungai Juana yang terbatas serta adanya inflow dari 21 anak sungai menyebabkan sungai ini tidak mampu menampung debit banjir secara optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sebaran banjir dan mengevaluasi efektivitas normalisasi sungai sebagai upaya pengendalian banjir dengan menggunakan HECRAS 2D dan debit banjir rencana yang dihitung melalui metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Pemodelan mempertimbangkan kondisi batas hulu dari Bendung Klambu dan batas hilir Bendung Karet Juana pada kondisi mengembang dan mengempis. Hasil menunjukkan bahwa kondisi paling kritis terjadi saat bendung karet mengembang, dan normalisasi sungai dengan penampang majemuk mampu meningkatkan kapasitas tampung secara signifikan serta mereduksi banjir sebesar 11,64–13,40% untuk kala ulang 25–100 tahun. Implikasi kebijakan menekankan pentingnya pengelolaan terpadu melalui optimalisasi operasi bendung berbasis data, pengendalian distribusi debit, serta penguatan sistem monitoring dan prediksi banjir untuk mendukung pengambilan keputusan yang adaptif.

Kata Kunci: Genangan Banjir; Sungai Juana; Normalisasi Sungai; HECRAS 2D; Mitigasi Banjir.

PENDAHULUAN

Sistem Sungai Seluna terdiri dari Sungai Serang, Sungai Lusi, dan Sungai Juana seperti terlihat pada Gambar 1. Bagian hilir Sungai Lusi bertemu dengan Sungai Serang sebelum Bendung Klambu. Debit rilis dari Bendung Klambu kembali masuk ke Sungai Serang. Pada bagian hilir Sungai Serang terbagi ke Sungai Juana dan Sungai Wulan melalui pengaturan pintu air pada Bendung gerak Wilalung Pintu Wilalung.

Pintu Wilalung awalnya dibangun oleh pemerintah kolonial Belanda pada tahun 1918 sebagai sarana irigasi untuk lahan pertanian. Namun, seiring berjalannya waktu dan pembangunan infrastruktur air seperti Waduk Kedungombo dan Waduk Klambu, fungsi irigasi dialihkan ke waduk-waduk tersebut. Sejak saat itu, Pintu Wilalung berubah fungsi menjadi Bendung Wilalung dan dimanfaatkan untuk pemantauan banjir (detik Travel, 2020). Bendung gerak Wilalung terdiri dari pintu air yang

beroperasi mengarah ke Sungai Juana dan terdapat aliran air yang mengarah ke Sungai Wulan (Kanza, Ahmada, Darsono, & Atmodjo, 2017). Debit rilis dari Pintu air Wilalung cukup besar sehingga berdampak banjir yang terjadi di Sungai Juana.

Pada tahun 2024, wilayah Kabupaten Pati dilanda banjir yang berdampak pada lebih dari 2.000 kepala keluarga (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2024). Berdasarkan data dari BNPB, banjir tersebut merendam 26 desa di 7 kecamatan dengan ketinggian berkisar antara 10 hingga 110 cm. Banjir ini terjadi akibat hujan deras yang melanda wilayah tersebut, sehingga sungai meluap ke pemukiman penduduk (Ibrahim, Wardhan, & Sulistiowati, 2019). Kejadian ini menunjukkan bahwa kapasitas sungai masih belum mencukupi, terutama saat terjadi hujan deras. Akibatnya, aktivitas masyarakat terganggu dan wilayah permukiman terdampak secara signifikan. Dari kejadian banjir yang terjadi menunjukkan bahwa kapasitas sungai

Pemodelan Banjir Sungai Juana

Debit yang dipakai untuk pemodelan hulu Sungai Juana berasal dari Pintu Air Wilalung. Pintu Air Wilalung mempunyai tiga pintu air yang masih aktif, satu pintu mengarah ke Sungai Juana dan dua pintu mengarah ke Sungai Wulan. Pintu yang menuju ke Sungai Juana beroperasi seperti terlihat pada Tabel 2. Sedangkan kondisi dua pintu yang menuju ke Sungai Wulan rusak total sehingga air dapat mengalir seakan-akan tidak ada pintu.

Tabel 1. Data Bukaannya Pintu Juana

No	Jam	Debit Rilis Bendung Klambu (m ³ /detik)	Bukaan Pintu
1.	12:00:00 AM	859,4	0,1
2.	1:00:00 AM	859,4	0,1
3.	2:00:00 AM	866	0,1
4.	3:00:00 AM	872,8	0,1
5.	4:00:00 AM	879,6	0,1
6.	5:00:00 AM	879,6	0,1
7.	6:00:00 AM	886,4	0,2
8.	7:00:00 AM	886,4	0,2
9.	8:00:00 AM	886,4	0,2
10.	9:00:00 AM	886,4	0,2
11.	10:00:00 AM	886,4	0,2
12.	11:00:00 AM	893,2	0,2
13.	12:00:00 PM	893,2	0,2
14.	1:00:00 PM	900	0,3
15.	2:00:00 PM	910	0,3
16.	3:00:00 PM	910	0,3
17.	4:00:00 PM	910	0,3
18.	5:00:00 PM	930	0,3
19.	6:00:00 PM	930	0,3
20.	7:00:00 PM	930	0,3
21.	8:00:00 PM	910	0,3
22.	9:00:00 PM	910	0,3
23.	10:00:00 PM	910	0,3
24.	11:00:00 PM	893,2	0,3
25.	12:00:00 AM	886,4	0,3
26.	1:00:00 AM	872,8	0,2
27.	2:00:00 AM	859,4	0,1
28.	3:00:00 AM	846,2	0,1
29.	4:00:00 AM	826,4	0,1
30.	5:00:00 AM	785	0,1
31.	6:00:00 AM	785	0,1
32.	7:00:00 AM	760	0,1
33.	8:00:00 AM	735	0,1
34.	9:00:00 AM	710	0,08
35.	10:00:00 AM	693,6	0,08
36.	11:00:00 AM	680,6	0,08
37.	12:00:00 PM	660,2	0,08
38.	1:00:00 PM	639,8	0,08
39.	2:00:00 PM	612,8	0,08
40.	3:00:00 PM	600	0,08
41.	4:00:00 PM	584	0
42.	5:00:00 PM	578	0
43.	6:00:00 PM	550	0
44.	7:00:00 PM	537	0
45.	8:00:00 PM	517,5	0
46.	9:00:00 PM	517,5	0
47.	10:00:00 PM	515	0
48.	11:00:00 PM	512,5	0

Boundary hilir dari Sungai Juana adalah Bendung Karet Juana pada kondisi bendung karet sedang mengembang dan pada kondisi bendung karet mengempis. *Boundary* hilir pada saat bendung karet mengembang digunakan ketinggian Hd bendung karet setinggi 3,05 meter ditambah dengan ketinggian P bendung karet setinggi 3,92 meter yaitu 6,97 meter. Sedangkan, pada saat kondisi bendung karet mengempis debit dapat mengalir secara bebas sehingga digunakan *boundary condition* "normal depth". *Boundary* hilir dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. *Boundary* Hilir Bendung Karet Juana

No	Kondisi Bendung Karet Sungai Juana	<i>Boundary Condition</i>
1.	Mengembang	<i>Stage Hydrograph</i> (Tinggi Hd + Tinggi P = 6,97 meter)
2.	Mengempis	<i>Normal Depth</i>

Pemodelan banjir pada Sungai Juana disimulasikan 2 kondisi yaitu kondisi dimensi saluran eksisting dan kondisi dimensi saluran rencana dengan tiap kala ulang 25,50, dan 100 tahun.

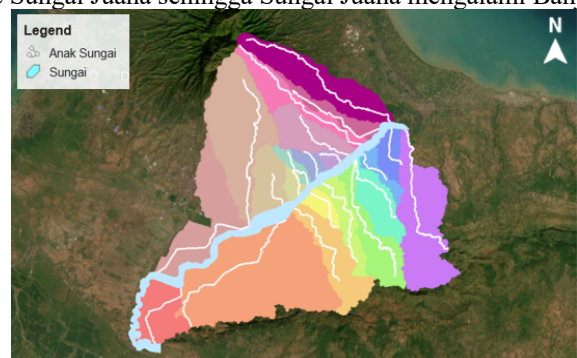
Perencanaan Pengendalian Banjir

Perencanaan pengendalian banjir merupakan langkah yang krusial, terutama ketika kapasitas sungai tidak mencukupi untuk menampung debit air yang meningkat (Sa'ud, Aziz, & Sungkono, 2018). Perencanaan pengendalian dengan cara normalisasi diharapkan bisa membantu dalam mengurangi dampak banjir (Zulkarnain, Febriani, & Suhendra, 2020). Salah satu pendekatan yang diupayakan adalah perencanaan skenario dengan luas genangan seminimal mungkin, namun tetap mampu mereduksi volume banjir secara optimal.

Dalam penelitian ini, pendekatan yang digunakan difokuskan pada normalisasi sungai sebagai solusi struktural, dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana peningkatan kapasitas penampang sungai dapat memberikan efek terhadap reduksi banjir. Oleh karena itu, kajian ini belum mempertimbangkan alternatif penanganan lainnya secara komprehensif, seperti pengendalian di hulu (retarding basin, waduk), penerapan *nature-based solutions* (restorasi floodplain dan vegetasi riparian), maupun optimalisasi manajemen operasi pintu air. Dengan demikian, hasil yang diperoleh lebih menitikberatkan pada evaluasi kinerja normalisasi sungai dalam menurunkan luas genangan, dan dapat menjadi dasar awal untuk pengembangan strategi pengendalian banjir yang lebih terpadu pada penelitian selanjutnya

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN DAS Juana

Luas daerah masing-masing anak sungai didapatkan dengan membuat batas delineasi DAS seperti terlihat pada Gambar 3. Masing-masing anak sungai akan mengalirkan debit inflownya ke sungai Juana. Ketika hujan terjadi maka debit pada masing-masing anak sungai seluruhnya mengalir ke Sungai Juana sehingga Sungai Juana mengalami banjir.



Gambar 3. DAS Anak Sungai

Tabel 3. Rekapitulasi Anak Sungai

	Warna	Nama Anak Sungai	Luas (km ²)	Panjang (km)
1		Sungai Gawe	108,3506	26,470
2		Sungai Sentul	20,3937	6,609
3		Sungai Jambe	44,5284	26,987
4		Sungai Lengkowo	46,5357	10,846
5		Sungai Ngamben	10,8042	4,949
6		Sungai JU 3	47,8255	11,668
7		Sungai JU 2	229,9329	23,957
8		Sungai JU 1	132,2644	16,884
9		Sungai Srankang	84,1669	30,474
10		Sungai Beku	62,1369	16,707
11		Sungai Sarean	14,3105	8,340
12		Sungai Pandan	33,4757	17,735
13		Sungai Banjarsari	55,4786	30,287
14		Sungai Soka	44,4795	14,294
15		Sungai Godi	31,0914	18,552
16		Sungai Salaman	44,9587	9,882
17		Sungai Tampung	9,9369	4,354
18		Sungai Blado	12,0532	7,310
19		Sungai Klampok	17,5026	6,229
20		Sungai Sampang	9,5880	4,461
21		Sungai Logung	85,2160	18,083

Analisis Hidrologi

Data yang digunakan curah hujan 12 tahun, yaitu tahun 2012 sampai 2023, Panjang data tersebut relatif terbatas untuk analisis hidrologi jangka panjang, sehingga dalam penelitian ini hasil perhitungan debit banjir diposisikan sebagai pendekatan indikatif. Analisis difokuskan pada perbandingan kondisi sebelum dan sesudah normalisasi sungai untuk mengevaluasi efektivitas reduksi banjir. Dengan demikian, hasil penelitian tetap relevan secara teknis, meskipun interpretasi untuk kala ulang besar perlu dilakukan secara hati-hati karena adanya ketidakpastian.

Data hujan inidianalisis dengan metode Poligon Thiessen. Metode tersebut dipilih karena stasiun-stasiun hujan tersebut, tidak tersebar secara merata (Jannah, Maulana, & Savitri, 2023). Stasiun hujan yang digunakan dalam perhitungan terdapat 3 stasiun hujan yaitu Stasiun Wilalung, Stasiun Tanjungmojo, Stasiun Boloagung. Koordinat stasiun hujan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Koordinat Stasiun Hujan

Nama Stasiun	Koordinat
--------------	-----------

	X	Y
Stasiun Wilalung	110.784878	-6.926170
Stasiun Tanjungmojo	110.917048	-6.782440
Stasiun Boloagung	111.002028	-6.855890

Sumber: BBWS Pemali Juana

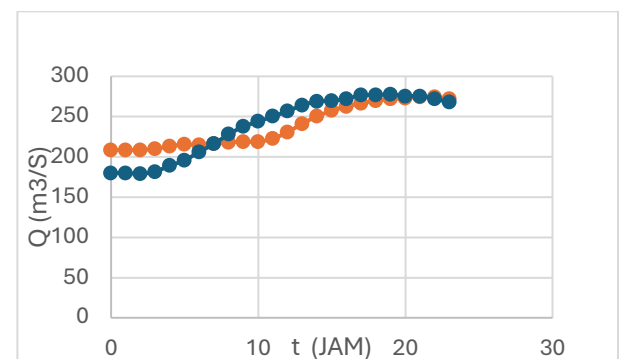
Output dari analisa hidrologi yaitu debit banjir rancangan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayassu (Wahyudi, Aziz, & Sumirman, 2020). Rekapitulasi debit anak sungai dengan kala ulang 25, 50, dan 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan Anak Sungai

No	Nama Sungai	Q25	Q50	Q100
1	Sungai Gawe	311,797	336,780	361,575
2	Sungai Sentul	127,770	138,007	148,168
3	Sungai Jambe	176,890	191,863	206,465
4	Sungai Lengkowo	300,819	326,718	351,981
5	Sungai Ngamben	69,307	74,269	79,052
6	Sungai JU 3	296,788	338,372	382,509
7	Sungai JU 2	412,872	440,679	468,440
8	Sungai JU 1	420,333	455,181	489,176
9	Sungai Srankang	478,540	519,764	559,978
10	Sungai Beku	221,236	239,800	258,465
11	Sungai Sarean	76,893	83,345	89,832
12	Sungai Pandan	124,347	134,781	145,272
13	Sungai Banjarsari	128,776	139,581	150,445
14	Sungai Soka	192,177	208,302	224,516
15	Sungai Godi	124,308	135,606	146,835
16	Sungai Tampung	273,626	296,631	319,067
17	Sungai Blado	71,848	76,440	80,706
19	Sungai Klampok	73,556	80,248	86,857
20	Sungai Sampang	100,996	109,407	117,911
21	Sungai Logung	283,023	306,474	329,423

Analisis Hidrolika

Pemodelan HEC-RAS 2D menggunakan data DEM, debit rilis Bendung Klambu sebagai batas hulu, serta curah hujan jam-jaman metode Mononobe. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi muka air dengan data AWLR Wilalung yang dikonversi menjadi debit melalui *rating curve*. Kalibrasi model dilakukan melalui variasi koefisien kekasaran Manning (*Manning's n*) pada rentang 0,025–0,045 yang mewakili karakteristik sungai alami. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa nilai $n = 0,035$ memberikan tingkat kecocokan terbaik terhadap data observasi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kalibrasi AWLR Wilalung dan HECRAS

Untuk mengukur tingkat kedekatan keduanya secara kuantitatif, dilakukan analisis galat menggunakan metode *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*. Hasil perhitungan NSE sebagai berikut.

$$\sum P_i - Q_i^2 = 8.210,195$$

$$\text{Jumlah data (n)} = 5.740,492$$

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}$$

$$= 0,750 \text{ (Baik)}$$

Dengan demikian, model HEC-RAS 2D yang digunakan telah mampu merepresentasikan kondisi hidraulik Sungai Juana dengan cukup baik, sehingga dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

Full Bank Capacity

Full Bank Capacity merupakan kapasitas maksimum penampang saluran atau sungai yang mampu menampung aliran sebelum air melimpas ke luar dari batas tebing alami atau struktur pengaman (Sarminingsih, 2018). Nilai ini dihitung berdasarkan luas penampang basah dan parameter hidraulik lainnya, dan digunakan sebagai acuan untuk menentukan kondisi aliran penuh (bankfull flow) yang sangat penting dalam analisis rating curve dan estimasi debit puncak pada Sungai Juana disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 6. Full Bank Capacity

Section	I	n	A	P	R	V	Q
	m		m ²	m	M	m/s	m ³ /s
62+90	0,00		432,17	175,91	2,45	0,66	288,16
0	0		0	0	7	7	5
60+90	0,00		79,390	63,480	1,25	0,42	33,749
0	0				1	5	
58+90	0,00		139,72	115,02	1,21	0,41	58,254
0	0		0	0	5	7	
56+90	0,00	0,03	93,020	40,180	2,31	0,64	59,616
0	0	5			5	1	
54+90	0,00		114,17	73,310	1,55	0,49	56,177
0	0		0		7	2	
52+90	0,00		66,760	40,430	1,65	0,51	34,156
0	0				1	2	
50+90	0,00		102,81	70,820	1,45	0,47	48,272
0	0		0		2	0	
48+90	0,00		89,880	42,760	2,10	0,60	54,012
0	0				2	1	

Pemodelan Banjir Sungai Juana

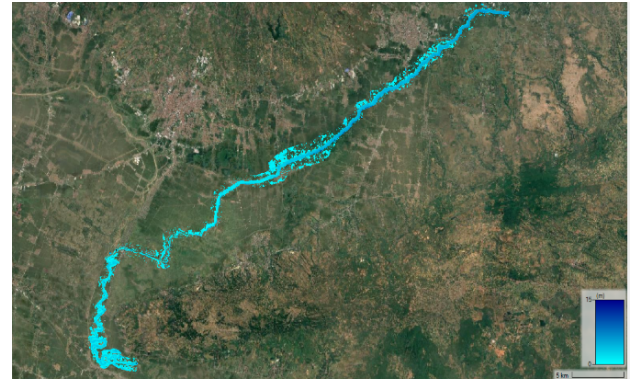
1. Pemodelan Banjir Berdasarkan Kondisi Dimensi Eksisting

a. Pemodelan Skenario 1

Pemodelan banjir kondisi dimensi eksisting dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengembang pada kala ulang 25 tahun dapat dilihat pada Gambar 5.

b. Pemodelan Skenario 2

Pemodelan banjir kondisi dimensi eksisting dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengembang pada kala ulang 50 tahun dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Pemodelan Skenario 1



Gambar 6. Pemodelan Skenario 2

c. Pemodelan Skenario 3

Pemodelan banjir kondisi dimensi eksisting dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengembang pada kala ulang 100 tahun dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemodelan Skenario 3

d. Pemodelan Skenario 4

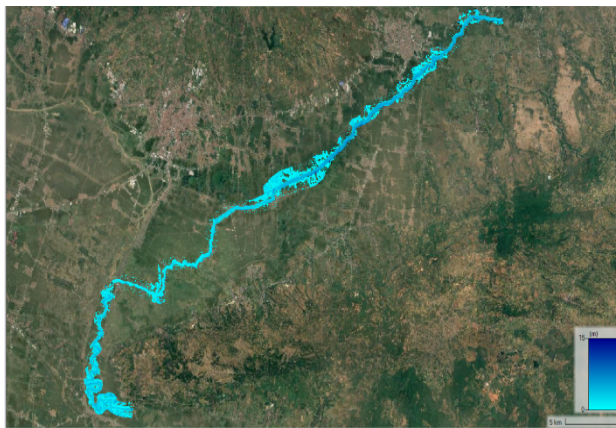
Pemodelan kondisi dimensi eksisting dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengempis pada kala ulang 25 tahun dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan Skenario 4

e. Pemodelan Skenario 5

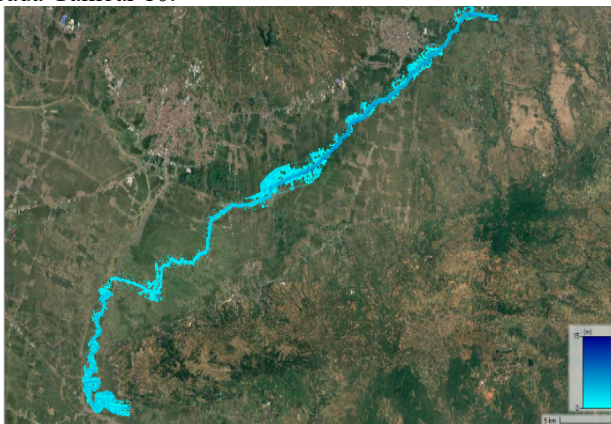
Pemodelan banjir kondisi dimensi eksisting dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengempis pada kala ulang 50 tahun dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pemodelan Skenario 5

f. Pemodelan Skenario 6

Pemodelan banjir kondisi dimensi eksisting dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengempis pada kala ulang 100 tahun dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Pemodelan Skenario 6

Perencanaan Dimensi Rencana

Upaya perencanaan perbaikan desain penampang sungai atau normalisasi khususnya di Sungai Juana dilakukan mulai

dari STA 11+900 hingga STA 60+900 dengan ketentuan sebagai berikut.

- Kemiringan dasar (slope) alur sungai direncanakan dapat dilihat pada Gambar 11.
- Kemiringan lereng sungai direncanakan dengan dimensi 1:2.
- Besarnya nilai koefisien manning sebesar 0,035.
- Bentuk penampang rencana ditentukan dari kondisi eksisting yang ada di lapangan dengan mengalirkan debit banjir rencana kala ulang 25, 50, dan 100 tahun.

Perhitungan penampang rencana:

$$\begin{aligned}
 A &= 177,0809 \text{ m}^2 \\
 P &= 66,4516 \text{ m} \\
 I &= 0,00016 \\
 n &= 0,035 \\
 R &= A/P \\
 &= 177,0809/66,4516 \\
 &= 2,66 \text{ m} \\
 V &= \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \\
 &= \frac{1}{0,035} \times 2,66^{\frac{2}{3}} \times 0,00016^{\frac{1}{2}} \\
 &= 0,70 \text{ m/dt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Qhidrolika} &= V \times A \\
 &= 0,70 \times 177,0809
 \end{aligned}$$

$$\text{Qhidrolika} = 124,65 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Q hidrolika} > \text{Q hidrologi (Q25 tahun)} = 124,65$$

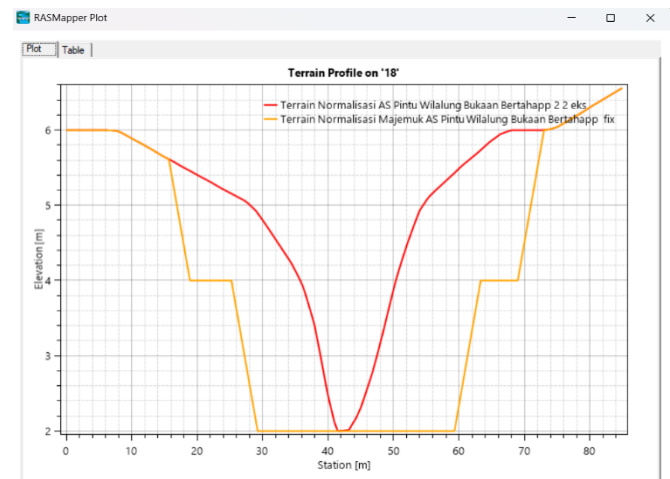
$$\text{m}^3/\text{detik} > 66,179 \text{ m}^3/\text{detik (Aman)}$$

$$\text{Q hidrolika} > \text{Q hidrologi (Q50 tahun)} = 124,65$$

$$\text{m}^3/\text{detik} > 80,458 \text{ m}^3/\text{detik (Aman)}$$

$$\text{Q hidrolika} > \text{Q hidrologi (Q100 tahun)} = 124,65$$

$$\text{m}^3/\text{detik} > 98,325 \text{ m}^3/\text{detik (Aman)}$$



Gambar 11. Penampang Rencana STA 60+900

2. Pemodelan Banjir Berdasarkan Kondisi Dimensi Rencana

g. Pemodelan Skenario 7

Pemodelan banjir kondisi dimensi rencana dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengembang pada kala ulang 25 tahun dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Pemodelan Skenario 7



Gambar 15. Pemodelan Skenario 10

h. Pemodelan Skenario 8

Pemodelan banjir kondisi dimensi rencana dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengembang pada kala ulang 50 tahun dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pemodelan Skenario 8

k. Pemodelan Skenario 11

Pemodelan kondisi dimensi rencana dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengempis pada kala ulang 50 tahun dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Pemodelan Skenario 11

i. Pemodelan Skenario 9

Pemodelan banjir kondisi dimensi rencana dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengembang pada kala ulang 100 tahun dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Pemodelan Skenario 9

l. Pemodelan Skenario 12

Pemodelan kondisi dimensi rencana dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengempis pada kala ulang 100 tahun dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Pemodelan Skenario 12

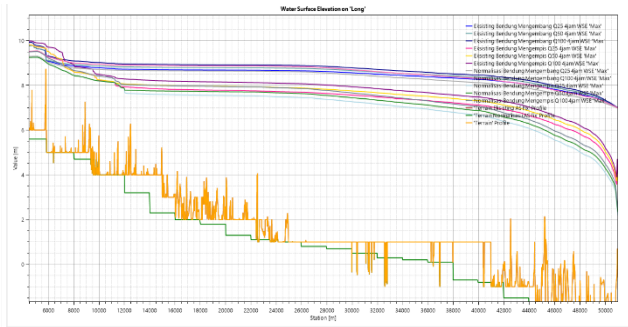
j. Pemodelan Skenario 10

Pemodelan kondisi dimensi rencana dengan bukaan pintu secara bertahap menyesuaikan debit rilis Bendung Klambu, Bendung Karet Sungai Juana dalam keadaan mengempis pada kala ulang 25 tahun dapat dilihat pada Gambar 15.

Analisis Backwater

Untuk memahami pengaruh struktur bendung dan kondisi sungai terhadap efek *backwater*, dilakukan pemodelan menggunakan software HEC-RAS 2D dengan mempertimbangkan beberapa skenario kombinasi, yaitu kondisi eksisting dan desain rencana, serta kondisi Bendung Karet Juana dalam keadaan mengembang maupun

mengempis. Masing-masing skenario dianalisis pada tiga kondisi debit berdasarkan kala ulang Q25, Q50, dan Q100 tahun. Hasil pemodelan ditunjukkan dalam Gambar 18, yang menggambarkan variasi profil muka air sepanjang alur sungai terhadap perubahan kondisi struktur dan debit.

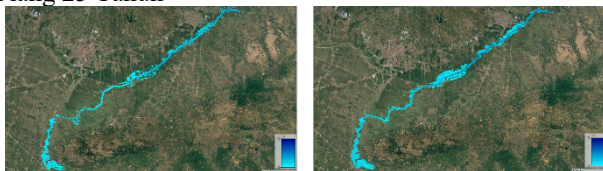


Gambar 18. Reduksi Banjir Bendung Karet Mengembang Q25 Tahun

Grafik profil muka air menunjukkan adanya fenomena backwater yang dipengaruhi oleh kondisi operasional Bendung Karet di hilir sungai, baik saat mengembang maupun mengempis. Ketika bendung dalam kondisi mengembang, aliran tertahan sehingga elevasi muka air di hilir meningkat tajam dan menjalar ke arah hulu, terutama saat debit banjir Q25, Q50, Q100, yang terlihat dari profil muka air yang semakin tinggi dan melengkung ke atas di bagian hilir. Sebaliknya, saat bendung mengempis, hambatan aliran berkurang sehingga muka air relatif lebih rendah. Efek backwater ini berkontribusi terhadap potensi luapan di lokasi tertentu, tergantung besar kecilnya debit banjir.

Reduksi Banjir

Reduksi Banjir Berdasarkan Bendung Mengembang Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 19. Reduksi Banjir Bendung Karet Mengembang Q25 Tahun

Perhitungan reduksi banjir Sungai Juana berdasarkan luas genangan eksisting dan luas genangan setelah penanganan pada kala ulang 25 tahun dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Reduksi banjir luas genangan kondisi bendung mengembang Q25 tahun

No	Kedalaman	LUAS GENANGAN	
		Luas Genangan Sebelum Normalisasi (ha)	Luas Genangan Setelah Normalisasi (ha)
1	0-1	1.460,8699	1.326,8850
2	1-2	518,9298	418,0498
3	>2	227,8276	166,8396
Jumlah		2.207,627	1.911,774

Perhitungan reduksi banjir:

$$\begin{aligned} \text{Reduksi banjir} &= \frac{\text{LG.Eksisting}-\text{LG.Penanganan}}{\text{LG.Eksisting}} \times 100\% \\ &= \frac{2207,627-1911,774}{2207,627} \times 100\% \\ &= 13,40\% \end{aligned}$$

Reduksi Banjir Berdasarkan Bendung Mengembang Kala Ulang 50 Tahun



Gambar 20. Reduksi Banjir Bendung Karet Mengembang Q50 Tahun

Perhitungan reduksi banjir Sungai Juana berdasarkan luas genangan eksisting dan luas genangan setelah penanganan pada kala ulang 50 tahun dapat dilihat pada Tabel 9.

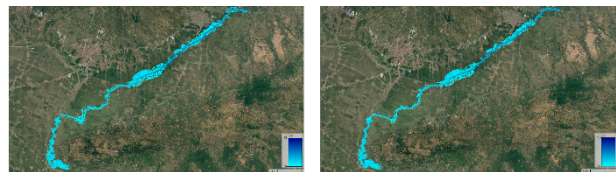
Tabel 8. Reduksi banjir luas genangan kondisi bendung mengembang Q50 tahun

No	Kedalaman	LUAS GENANGAN	
		Luas Genangan Sebelum Normalisasi (ha)	Luas Genangan Setelah Normalisasi (ha)
1	0-1	1.472,2598	1.346,1962
2	1-2	553,0766	453,3438
3	>2	255,9406	191,2748
Jumlah		2.281,2771	1.990,8148

Perhitungan reduksi banjir:

$$\begin{aligned} \text{Reduksi banjir} &= \frac{\text{LG.Eksisting}-\text{LG.Penanganan}}{\text{LG.Eksisting}} \times 100\% \\ &= \frac{2281,2771-1990,1962}{2281,2771} \times 100\% \\ &= 12,73\% \end{aligned}$$

Reduksi Banjir Berdasarkan Bendung Mengembang Kala Ulang 100 Tahun



Gambar 21. Reduksi banjir bendung karet mengembang Q100 tahun

Perhitungan reduksi banjir Sungai Juana berdasarkan luas genangan eksisting dan luas genangan setelah penanganan pada kala ulang 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 10.

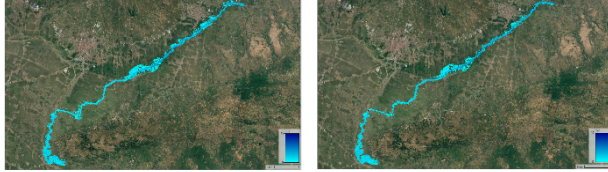
Tabel 9. Reduksi banjir luas genangan kondisi bendung mengembang Q100 tahun

No	Kedalaman	LUAS GENANGAN	
		Luas Genangan Sebelum Normalisasi (ha)	Luas Genangan Setelah Normalisasi (ha)
1	0-1	1.494,6382	1.388,3079
2	1-2	601,1695	496,3162
3	>2	297,4485	229,9456
Jumlah		2.393,2562	2.114,5697

Perhitungan reduksi banjir:

$$\begin{aligned} \text{Reduksi banjir} &= \frac{\text{LG.Eksisting}-\text{LG.Penanganan}}{\text{LG.Eksisting}} \times 100\% \\ &= \frac{2393,2562-2114,5697}{2393,2562} \times 100\% \\ &= 11,64\% \end{aligned}$$

Reduksi Banjir Berdasarkan Bendung Mengempis Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 22. Reduksi banjir bendung karet mengempis Q25 tahun

Perhitungan reduksi banjir Sungai Juana berdasarkan luas genangan eksisting dan luas genangan setelah penanganan pada kala ulang 25 tahun dapat dilihat pada Tabel 11.

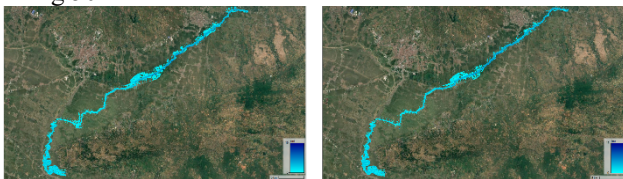
Tabel 10. Reduksi banjir luas genangan kondisi bendung mengempis Q25 tahun

No	Kedalaman	LUAS GENANGAN	
		Luas Genangan Sebelum Normalisasi (ha)	Luas Genangan Setelah Normalisasi (ha)
1	0-1	1.280,5709	1.081,0833
2	1-2	283,1601	134,4047
3	>2	101,2123	45,6397
	Jumlah	1.664,9433	1.261,1277

Perhitungan reduksi banjir:

$$\begin{aligned} \text{Reduksi banjir} &= \frac{\text{LG.Eksisting}-\text{LG.Penanganan}}{\text{LG.Eksisting}} \times 100\% \\ &= \frac{1664,9433-1261,1277}{1664,9433} \times 100\% \\ &= 24,25\% \end{aligned}$$

Reduksi Banjir Berdasarkan Bendung Mengempis Kala Ulang 50 Tahun



Gambar 23. Reduksi banjir bendung karet mengempis Q50 tahun

Perhitungan reduksi banjir Sungai Juana berdasarkan luas genangan eksisting dan luas genangan setelah penanganan pada kala ulang 50 tahun dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 11. Reduksi Banjir Luas genangan kondisi bendung mengempis Q50 tahun

No	Kedalaman	LUAS GENANGAN	
		Luas Genangan Sebelum Normalisasi (ha)	Luas Genangan Setelah Normalisasi (ha)
1	0-1	1.319,8080	1.095,5237
2	1-2	313,5768	170,5281
3	>2	109,0863	53,5862
	Jumlah	1.742,4711	1.319,6380

Perhitungan reduksi banjir:

$$\begin{aligned} \text{Reduksi banjir} &= \frac{\text{LG.Eksisting}-\text{LG.Penanganan}}{\text{LG.Eksisting}} \times 100\% \\ &= \frac{1742,4711-1319,6380}{1742,4711} \times 100\% \\ &= 24,27\% \end{aligned}$$

Reduksi Banjir Berdasarkan Bendung Mengempis Kala Ulang 100 Tahun



Gambar 24. Reduksi banjir bendung karet mengempis Q100 tahun

Perhitungan reduksi banjir Sungai Juana berdasarkan luas genangan eksisting dan luas genangan setelah penanganan pada kala ulang 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 12. Reduksi banjir luas genangan kondisi bendung mengempis Q100 tahun

No	Kedalaman	LUAS GENANGAN	
		Luas Genangan Sebelum Normalisasi (ha)	Luas Genangan Setelah Normalisasi (ha)
1	0-1	1.395,2227	1.146,5453
2	1-2	361,4206	210,9031
3	>2	125,9641	63,2075
	Jumlah	1.882,6075	1.420,656

Perhitungan reduksi banjir:

$$\begin{aligned} \text{Reduksi banjir} &= \frac{\text{LG.Eksisting}-\text{LG.Penanganan}}{\text{LG.Eksisting}} \times 100\% \\ &= \frac{1882,6075-1420,656}{1882,6075} \times 100\% \\ &= 24,54\% \end{aligned}$$

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa reduksi banjir pada kondisi bendung mengembang relatif lebih kecil (sekitar 11–13%) dibandingkan dengan kondisi bendung mengempis (sekitar 24%). Perbedaan ini disebabkan oleh perubahan kondisi batas hilir yang mempengaruhi karakteristik aliran. Pada kondisi bendung mengembang, terjadi efek pembendungan (*backwater effect*) yang meningkatkan elevasi muka air di bagian hulu, sehingga kapasitas aliran menjadi terbatas dan efektivitas normalisasi sungai dalam mereduksi genangan menjadi kurang optimal. Sebaliknya, pada kondisi bendung mengempis, aliran menjadi lebih bebas (*free flow*), sehingga peningkatan kapasitas penampang sungai hasil normalisasi dapat bekerja secara maksimal dalam mengalirkan debit banjir.

Temuan ini menunjukkan bahwa operasi Bendung Karet Juana memiliki peran penting dalam pengendalian banjir, di mana pengaturan kondisi bendung secara adaptif dapat mempengaruhi tingkat genangan yang terjadi. Namun demikian, terdapat *trade-off* antara fungsi pengendalian banjir dan fungsi pemanfaatan air lainnya, seperti irigasi. Kondisi bendung mengempis yang lebih efektif dalam mereduksi banjir berpotensi mengurangi kemampuan

tampung air, sedangkan kondisi bendung mengembang mendukung penyimpanan air namun meningkatkan risiko genangan di wilayah hulu.

Selain itu, pengaruh kondisi batas hilir tidak hanya dipengaruhi oleh operasi bendung, tetapi juga oleh dinamika pasang surut air laut yang dapat memperkuat efek *backwater* di bagian hilir sungai. Oleh karena itu, salah satu alternatif yang dapat direkomendasikan adalah pembangunan pintu laut (*sea gate*) untuk mengendalikan intrusi pasang air laut ke dalam sungai. Keberadaan pintu laut diharapkan mampu mengurangi pengaruh *backwater*, sehingga aliran sungai menjadi lebih lancar dan efektivitas pengendalian banjir dapat meningkat.

Penelitian ini belum melakukan analisis sensitivitas maupun optimasi operasi bendung secara komprehensif, sehingga hasil yang diperoleh masih bersifat deskriptif berdasarkan skenario yang diuji. Oleh karena itu, diperlukan kajian lanjutan yang mengintegrasikan analisis sensitivitas dan optimasi operasi bendung, termasuk evaluasi skenario pengendalian di hilir seperti pintu laut, untuk memperoleh strategi pengelolaan yang lebih optimal dalam mendukung pengendalian banjir secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

- 1) Sungai Juana yang berhulu di Pintu air Wilalung dengan suplai inflow yang berasal dari Bendung Klambu. Selain inflow tersebut, Sungai Juana juga menerima inflow dari 21 anak sungai. Anak-anak sungai tersebut meliputi: Sungai Gawe, Sungai Sentul, Sungai Jambe, Sungai Lengkowo, Sungai Ngamben, Sungai JU 3, JU 2, JU 1, Sungai Sranggang, Sungai Beku, Sungai Sarean, Sungai Pandan, Sungai Banjarsari, Sungai Soka, Sungai Godi, Sungai Salaman, Sungai Tampung, Sungai Blado, Sungai Klampok, Sungai Sampang, dan Sungai Logung.

Pada kala ulang 25 tahun, debit banjir rancangan pada Sungai Gawe sebesar 311,797 m³/dt, Sungai Sentul sebesar 127,770 m³/dt, Sungai Jambe sebesar 176,890 m³/dt, Sungai Lengkowo sebesar 300,819 m³/dt, Sungai Ngamben sebesar 69,307 m³/dt, Sungai JU 3 sebesar 296,788 m³/dt, JU 2 sebesar 412,872 m³/dt, JU 1 sebesar 420,333 m³/dt, Sungai Sranggang sebesar 234,170 m³/dt, Sungai Beku sebesar 221,236 m³/dt, Sungai Sarean sebesar 76,893 m³/dt, Sungai Pandan sebesar 124,347 m³/dt, Sungai Banjarsari sebesar 128,776 m³/dt, Sungai Soka sebesar 192,177 m³/dt, Sungai Godi sebesar 124,308 m³/dt, Sungai Salaman sebesar 273,626 m³/dt, Sungai Tampung sebesar 71,848 m³/dt, Sungai Blado sebesar 73,556 m³/dt, Sungai Klampok sebesar 100,996 m³/dt, Sungai Sampang sebesar 63,684 m³/dt, dan Sungai Logung sebesar 259,665 m³/dt.

Pada kala ulang 50 tahun, debit banjir rancanpada Sungai Gawe sebesar 336,780 m³/dt, Sungai Sentul sebesar 138,007 m³/dt, Sungai Jambe sebesar 191,863 m³/dt, Sungai Lengkowo sebesar 326,718 m³/dt, Sungai Ngamben sebesar 74,269 m³/dt, Sungai JU 3 sebesar 338,372 m³/dt, JU 2 sebesar 440,769 m³/dt, JU

1 sebesar 455,181 m³/dt, Sungai Sranggang sebesar 259,327 m³/dt, Sungai Beku sebesar 239,800 m³/dt, Sungai Sarean sebesar 83,345 m³/dt, Sungai Pandan sebesar 134,781 m³/dt, Sungai Banjarsari sebesar 139,581 m³/dt, Sungai Soka sebesar 208,302 m³/dt, Sungai Godi sebesar 135,606 m³/dt, Sungai Salaman sebesar 296,631 m³/dt, Sungai Tampung sebesar 76,440 m³/dt, Sungai Blado sebesar 80,248 m³/dt, Sungai Klampok sebesar 109,470 m³/dt, Sungai Sampang sebesar 68,678 m³/dt, dan Sungai Logung sebesar 306,474 m³/dt.

Pada kala ulang 100 tahun, debit tertinggi dicatat pada Sungai Gawe sebesar 361,575 m³/dt, Sungai Sentul sebesar 148,168 m³/dt, Sungai Jambe sebesar 206,465 m³/dt, Sungai Lengkowo sebesar 351,891 m³/dt, Sungai Ngamben sebesar 79,052 m³/dt, Sungai JU 3 sebesar 382,509 m³/dt, JU 2 sebesar 468,440 m³/dt, JU 1 sebesar 489,176 m³/dt, Sungai Sranggang sebesar 279,984 m³/dt, Sungai Beku sebesar 258,465 m³/dt, Sungai Sarean sebesar 89,832 m³/dt, Sungai Pandan sebesar 145,272 m³/dt, Sungai Banjarsari sebesar 150,445 m³/dt, Sungai Soka sebesar 224,516 m³/dt, Sungai Godi sebesar 146,835 m³/dt, Sungai Salaman sebesar 319,067 m³/dt, Sungai Tampung sebesar 80,706 m³/dt, Sungai Blado sebesar 86,857 m³/dt, Sungai Klampok sebesar 117,991 m³/dt, Sungai Sampang sebesar 73,630 m³/dt, dan Sungai Logung sebesar 329,432 m³/dt.

- 2) Upaya pengendalian banjir di hulu Sungai Juana dilakukan dengan cara normalisasi pada STA 11+900 hingga STA 60+900. Penampang sungai didesain dalam bentuk penampang majemuk dengan lebar dasar 30 meter, lebar atas 50 meter dan kemiringan lereng 1:2.
- 3) Normalisasi pada Sungai Juana dapat meningkatkan kapasitas tampung aliran secara signifikan, yang terbukti mampu mereduksi banjir pada saat kondisi Bendung Karet Sungai Juana mengembang dengan kala ulang 25, 50, dan 100 tahun.

Pada kondisi bendung mengembang, dengan kala ulang 25 tahun, awal luas genangan sebesar 2.207,627 hektar menjadi 1.911,774 hektar yang berarti mereduksi 13,40%. Kala ulang 50 tahun, awal luas genangan sebesar 2.281,2771 hektar menjadi 1.990,8148 hektar yang berarti mereduksi 12,73% Kala ulang 100 tahun, awal luas genangan sebesar 2.393,2562 hektar menjadi 2.114,5697 hektar yang berarti mereduksi 11,64%.

Pada kondisi bendung mengempis, dengan kala ulang 25 tahun, awal luas genangan sebesar 1.664,9433 hektar menjadi 1.261,1277 hektar yang berarti mereduksi 24,25%. Kala ulang 50 tahun, awal luas genangan sebesar 1.742,4711 hektar menjadi 1.319,6380 hektar yang berarti mereduksi 24,27% Kala ulang 100 tahun, awal luas genangan sebesar 1.882,6075 hektar menjadi 1.420,656 hektar yang berarti mereduksi 24,54%.

Secara umum, reduksi banjir memberikan dampak positif berupa berkurangnya luas genangan, penurunan potensi kerugian ekonomi, serta peningkatan keamanan kawasan permukiman dan infrastruktur. Namun demikian, terdapat potensi dampak negatif yang perlu diperhatikan, seperti

perubahan karakteristik hidraulik sungai (misalnya peningkatan kecepatan aliran), potensi erosi tebing dan dasar sungai, serta kemungkinan pergeseran risiko banjir ke wilayah hilir. Oleh karena itu, upaya normalisasi perlu diimbangi dengan pengelolaan terpadu dan pengendalian non-struktural agar keberlanjutan sistem sungai tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2024). *Banjir Awal Tahun 2024*. Jakarta Timur.
- Darlino, Hartati, Agus, I., & Sadtim. (2018). Analisis Kapasitas Penampang Sungai Batang Mahat Terhadap Besaran Debit Banjir Menggunakan Pendekatan Model Matematik . *JIRS*.
- Ibrahim, I. F., Wardhan, E., & Sulistiowati, L. A. (2019). Identifikasi Penyebab Banjir di Kecamatan Cimahi Selatan. In *Teknologi dan Sains*.
- Jannah, M. R., Maulana, M. A., & Savitri, Y. R. (2023). Evaluasi Kerapatan Jaringan Pos Pencatatan Hujan Di DAS Keyang Slahung Tempuran Ponorogo, menggunakan Metode Kagan-Rodda. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*.
- Kanza, R., Ahmada, A., Darsono, S., & Atmodjo, P. S. (2017). Pengendalian Banjir Sungai Wulan, Demak, Jawa Tengah. *Jurnal Karya Teknik Sipil*.
- Sarminingsih. (2018). Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan Embung Coyo Kabupaten Grobogan. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*.
- Sa'ud, I., Aziz, S. K., & Sungkono. (2018). *The Determination of Rainfall Catchment Coefficient of High Rise Building. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*.
- Supriatin, Aziz, S. K., Rahman Alam, R. R., Sa'ud, I., Pratama, B. Y., Supriyatna, M. I., Wahyudi, H. (2024). Analisis Dampak Risiko Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Menggunakan Software HEC-RAS (Studi Kasus Bendungan Jlantah, Kabupaten Karanganyar dan Bendungan Gajah Mungkur, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*.
- Wahyudi, H., Aziz, S. K., & Sumirman, E. (2020). *Eco Drainage Implementation for Flood Handling in DAS Welang Pasuruan District. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*.
- Wardana, Y. K., Aziz, S. K., Rahman Alam, R. R., & Indriyani, D. (2024). Simulasi Keruntuhan Bendungan Jatibarang Kota Semarang menggunakan Program HEC – RAS 2D.
- Zulkarnain, Febriani, O., & Suhendra. (2020). Perencanaan Normalisasi Sungai Untuk Penanggulangan Banjir di Sungai Simpang Baru Desa Teluk Latak Kecamatan Bengkalis. *Jurnal Inovtek Seri Teknik Sipil Dan Aplikasi (TEKLA)*.