

EVALUASI PERBAIKAN BENDUNG
(Studi Kasus: Bendung Batu, Desa Lembengan Kalisat, Kabupaten Jember)
DAM REPAIR EVALUATION
(Case Study: Batu Dam, Kalisat Lembengan Village, Jember Regency)

Feriska Diana Putri ¹⁾, Nanang Saiful Rizal ²⁾, Arief Alihudien³⁾

¹Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: feriskaputri133@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: nanangsaifulrizal@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Bendung merupakan infrastruktur penting dalam pengelolaan sumber daya air, khususnya untuk irigasi pertanian. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi struktur Bendung Batu di Desa Lembengan Kalisat, Kabupaten Jember yang mengalami kerusakan pada bagian mercu sehingga mengganggu pasokan air irigasi. Penelitian dilakukan melalui pendekatan analisis hidrologi, hidrolika, dan stabilitas struktur. Data curah hujan 10 tahun terakhir dianalisis menggunakan metode distribusi frekuensi dengan bantuan perangkat lunak Hydrognomon untuk menghitung debit banjir rencana. Perencanaan dimensi bendung dilakukan berdasarkan kemiringan sungai, tinggi muka air, dan kebutuhan debit maksimum. Analisis stabilitas struktur terhadap gaya guling dan geser dilakukan secara manual serta menggunakan software Geo5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Bendung Batu memerlukan perbaikan desain mercu dan sistem energi pelimpah untuk menghadapi debit banjir ekstrem. Stabilitas struktur masih dalam batas aman dengan faktor keamanan yang memenuhi syarat teknis. Evaluasi ini memberikan dasar teknis untuk perencanaan rehabilitasi bendung demi menjamin keberlanjutan sistem irigasi dan ketahanan pangan lokal.

Kata Kunci: Bendung Batu, hidrologi, stabilitas struktur, Geo5.

Abstract

Dams are crucial infrastructure for water resource management, particularly for agricultural irrigation. This study aims to evaluate the structural condition of the Batu Dam in Lembengan Kalisat Village, Jember Regency, which experienced damage to its crest, disrupting irrigation water supply. The study was conducted using a hydrological, hydraulic, and structural stability analysis approach. Rainfall data for the last 10 years was analyzed using the frequency distribution method with the assistance of Hydrognomon software to calculate the design flood discharge. The weir dimensions were designed based on the river slope, water level, and maximum discharge requirements. Structural stability analysis against overturning and shear forces was performed manually and using Geo5 software. The results indicate that the Batu Dam requires improvements to the crest design and spillway energy system to cope with extreme flood discharge. Structural stability remains within safe limits with safety factors that meet technical requirements. This evaluation provides a technical basis for planning weir rehabilitation to ensure the sustainability of the irrigation system and local food security.

Keywords: Batu Dam, hydrology, structural stability, Geo5.

1. PENDAHULUAN

Bendung adalah konstruksi penting yang digunakan dalam pengelolaan sumber daya air, berperan dalam mengendalikan aliran sungai sekaligus menaikkan ketinggian permukaan air. Di Indonesia, bendung digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk irigasi, penyediaan air bersih, dan pembangkit listrik. Selain pertimbangan geologi, faktor teknis seperti jenis material, porositas, ketebalan, dan tipe konstruksi bendung juga menjadi aspek vital dalam desain dan pengelolaan bangunan ini (Syarif et al., 2024). Namun, bendung sering menghadapi tantangan berupa gangguan aliran, sedimentasi, dan kerusakan struktural yang dapat mengancam stabilitasnya, sehingga analisis menyeluruh terhadap gaya-gaya yang bekerja dan faktor keamanan terhadap geser dan guling sangat diperlukan (Iskandar, 2023). Perubahan debit yang tidak stabil akibat variabilitas iklim dan kondisi lingkungan mengharuskan dilakukan evaluasi hidrologi dan hidrolika secara menyeluruh guna menjamin ketahanan bendung dalam jangka waktu panjang. Studi hidrologi yang memanfaatkan data curah hujan maksimum serta distribusi curah hujan yang sesuai, seperti distribusi Log Pearson Tipe III, menjadi landasan penting dalam proses perencanaan hidrologis (Ananda, 2018). Selain itu, karakteristik aliran pada bendung tipe ogee sangat dipengaruhi oleh kemiringan hulu, dengan bilangan Froude menjadi parameter kunci dalam menentukan jenis aliran subkritis atau superkritis (Pramadhani et al., 2023). Dalam hal stabilitas struktur, pemanfaatan perangkat lunak Geo 5 terbukti sangat efektif untuk menilai ketahanan bendung terhadap gaya-gaya yang menyebabkan guling, geser, serta untuk mengevaluasi kemampuan pondasi dalam mendukung beban, khususnya pada dinding penahan tanah dengan tipe gravitasi (Dermawan et al., 2022). Penelitian ini bertujuan melakukan evaluasi perbaikan bendung batu di Desa Lembengan Kalisat, Kabupaten Jember, dengan fokus pada aspek hidrologi, hidrolika, dan stabilitas struktur. Mengingat kerusakan bendung yang mengakibatkan penurunan kapasitas irigasi hingga 50%, evaluasi ini penting untuk menjamin kelangsungan pasokan

air irigasi yang merupakan sumber penghidupan utama masyarakat petani setempat (Lufira et al., 2025).

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisa Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses peredaran air yang terus-menerus terjadi di antara atmosfer, permukaan bumi, dan badan air, yang memiliki peran penting dalam menjaga ketersediaan air serta kelangsungan hidup ekosistem (Dingman, 2015). Proses ini mencakup evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, kondensasi, presipitasi, aliran permukaan (*runoff*), dan infiltrasi. Siklus hidrologi dibagi menjadi tiga tipe berdasarkan durasi dan jangkauan pergerakan air: siklus pendek yang terjadi di laut dengan hujan langsung; siklus sedang yang melibatkan penguapan dari laut, perpindahan ke daratan, dan hujan yang kembali ke laut melalui aliran permukaan atau infiltrasi; serta siklus panjang yang melibatkan aliran permukaan dan bawah tanah dari daratan menuju laut (Rustan et al., 2024). Ketiga siklus ini saling berinteraksi secara kontinu untuk menciptakan kondisi lingkungan yang mendukung kehidupan.

B. Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan area geografi yang mencakup sungai dan seluruh anak sungainya, yang berperan sebagai sistem pengumpul dan pengalir air permukaan menuju sungai induk (Dingman, 2015). DAS mencakup berbagai tipe tutupan lahan seperti hutan, pertanian, pemukiman, dan industri, serta zona bawah permukaan dan anak sungai yang bermuara ke sungai induk, dibatasi oleh punggung bukit atau gunung (Mardiatno & Marfai, 2021). Fungsi hidrologis dan ekologi DAS meliputi penerimaan, penyimpanan, dan pengaliran air hujan secara alami melalui infiltrasi dan aliran permukaan, sekaligus membawa sedimen dan kontaminan yang dapat memengaruhi kualitas air dan ekosistem hilir (Wheater, 2015). Sebagai ekosistem terintegrasi, DAS membutuhkan pengelolaan terpadu untuk menjaga keberlanjutan ekosistem, ketersediaan air bersih, keanekaragaman hayati, serta kesejahteraan

sosial ekonomi masyarakat (Mitsch & Gosselink, 2015). DAS terdiri dari wilayah hulu sebagai pemberi air dan hilir sebagai penerima, yang saling berinteraksi dalam sistem ekosistem DAS secara keseluruhan (As'attohara et al., 2021), berfungsi sebagai catchment area, water storage, dan water distribution yang mengubah input curah hujan menjadi debit aliran dan proses sedimentasi (Maidment, 1993).

C. Analisa Hujan Rencana Menggunakan Software Hydrognomon

Hydrognomon adalah perangkat lunak sumber terbuka yang digunakan untuk analisis data hidrologi berupa deret waktu, termasuk curah hujan dan debit sungai, yang menyediakan fungsi agregasi data, interpolasi, regresi, imputasi data hilang, serta pengujian konsistensi dan visualisasi grafik (Amri et al., 2024). Software ini mendukung penghitungan evapotranspirasi, analisis debit dan sedimen, serta pemilihan distribusi probabilitas hidrologi terbaik menggunakan uji Chi-Kuadrat dan Kolmogorov-Smirnov pada tingkat signifikansi 1%. Hydrognomon dirilis dengan lisensi GNU GPLv3 dan dapat digunakan secara gratis.

D. Uji Kesesuaian Distribusi

Uji ini bertujuan untuk memastikan keakuratan analisis data hujan dengan melihat sejauh mana variasi data tersebut sesuai dengan metode yang digunakan dalam perhitungan. Validasi ini penting agar dapat memutuskan apakah metode komputasi hujan yang dipakai dapat diterima secara statistik dan layak digunakan dalam analisis selanjutnya. Beberapa metode pengujian yang umum diterapkan untuk tujuan ini antara lain adalah uji Kolmogorov-Smirnov dan uji Chi-kuadrat, yang masing-masing berfungsi untuk menguji kesesuaian distribusi data dengan model yang diharapkan, sekaligus mengevaluasi hipotesis statistik terkait data hujan yang dianalisis (Taufik Is et al., 2025).

E. Debit Banjir Rencana

Penentuan waktu puncak merupakan aspek yang sangat penting dalam memperkirakan aliran banjir rancangan, karena waktu ini menunjukkan periode ketika debit air mencapai

nilai maksimum selama kejadian banjir. Informasi tentang waktu puncak sangat diperlukan untuk melakukan perencanaan dan desain sistem pengendalian banjir secara efektif, sehingga dapat meminimalkan risiko kerusakan akibat limpasan air yang berlebihan. Ketepatan penentuan waktu puncak sangat berperan dalam meningkatkan keakuratan estimasi debit banjir, yang menjadi dasar penting dalam pengambilan keputusan teknis untuk upaya mitigasi bencana banjir.

Dalam penelitian ini, analisis debit banjir rencana dilakukan dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu. Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam menghasilkan hidrograf sintetis yang mencerminkan respon aliran sungai secara menyeluruh berdasarkan data curah hujan dan karakteristik daerah aliran sungai. Dengan pendekatan tersebut, diperoleh estimasi yang lebih tepat terkait waktu puncak dan besarnya debit banjir, sehingga memberikan gambaran yang lebih akurat untuk perancangan sistem pengelolaan banjir yang efektif dan efisien. Selain itu, metode Nakayasu memungkinkan evaluasi berbagai skenario kondisi hujan dan hidrologi yang mungkin terjadi di lokasi penelitian (Andayani & Umari, 2022).

F. Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Untuk menyusun grafik aliran banjir di sungai, penting untuk memahami karakteristik ukuran wilayah yang menjadi daerah alirannya. Adapun karakteristik tersebut adalah:

1. Jarak waktu dari awal terjadinya hujan hingga mencapai puncak curah hujan.
2. Jarak waktu antara titik berat hujan dengan puncak titik berat hidrograf.
3. Durasi atau rentang waktu hidrograf berlangsung.
4. Luas wilayah yang dialiri oleh aliran sungai tersebut.
5. Panjang dari saluran utama.

Rumus hidrograf satuan sintetis Nakayasu dapat dituliskan sebagai berikut (Junia et al., 2015):

$$Q_p = \frac{A \cdot R_0}{(0.3T_p + T_{0.3})} \dots \dots \dots (1)$$

Q_p = Debit puncak banjir (m³/detik)

R_0 = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu (jam)
 $T_{0.3}$ = Waktu penurunan debit (jam)

G. Hidrolika

Hidrolika adalah cabang ilmu yang mempelajari perilaku aliran cairan, mencakup pengukuran serta aspek dinamika dan statika fluida. Istilah ini berasal dari bahasa Yunani, yaitu "hydraulikos," yang terdiri dari kata "hydro" yang berarti air dan "aulos" yang berarti pipa. Pengetahuan tentang hidrolika sangat penting dalam berbagai disiplin teknik, khususnya untuk merancang dan mengelola sistem yang berkaitan dengan air. Contohnya meliputi pembangunan bendungan yang bertujuan untuk mengendalikan volume dan elevasi air, perancangan jaringan irigasi yang berfungsi menyalurkan air ke area pertanian secara efisien, serta manajemen sumber daya air demi memenuhi kebutuhan masyarakat secara berkelanjutan. Dengan demikian, hidrolika menjadi dasar penting dalam merancang solusi teknik yang berkaitan dengan pengelolaan dan pemanfaatan air (Dewi, 2024).

H. Stabilitas Bendung

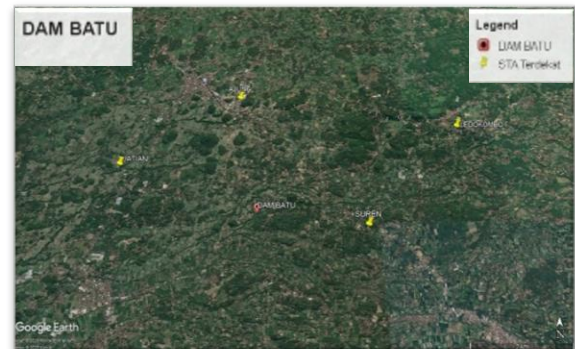
Stabilitas bendung adalah aspek penting dalam desain struktur hidrolik yang memastikan kemampuan konstruksi menahan berbagai beban, termasuk beban normal, banjir, angin, dan gempa (RAMLAN, 2024). Analisis stabilitas meliputi evaluasi risiko kegagalan mekanis seperti longsoran, slip, rembesan air yang mengurangi kekuatan tanah penyangga, dan potensi kerusakan struktur (Laksono & Prihatiningsih, 2025). Faktor keamanan dihitung melalui metode analisis stabilitas runtuh, daya dukung tanah, dan tekanan pori untuk menjamin operasi bendung yang aman pada kondisi hidrologi dan geoteknik yang beragam. Syarat stabilitas meliputi ketiadaan tegangan tarik pada konstruksi batu kali dengan selimut beton, momen guling lebih besar dari momen tahan, tidak terjadi pergeseran, tegangan tanah tidak melebihi batas izin, dan kestabilan gaya ke atas. Runtuhnya bendung gravitasi disebabkan oleh gelincir (*sliding*) pada sendi horisontal atau pondasi, guling (*overturning*) pada bendung atau dasar, serta

erosi bawah tanah (*piping*) (Fatmawati & Utomo, 2019).

3. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di desa Lembengan, Kecamatan Kalisat, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur dengan titik koordinat 8°09'38.9"S - 113°49'36.1"E-.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Sumber : Google Earth, 2025

Keputusan dalam pemilihan lokasi mengacu pada Jebolnya DAM Batu. DAM tersebut akan di rehabilitasi sebagai DAM yang efektif berpedoman pada analisis Hidrologi.

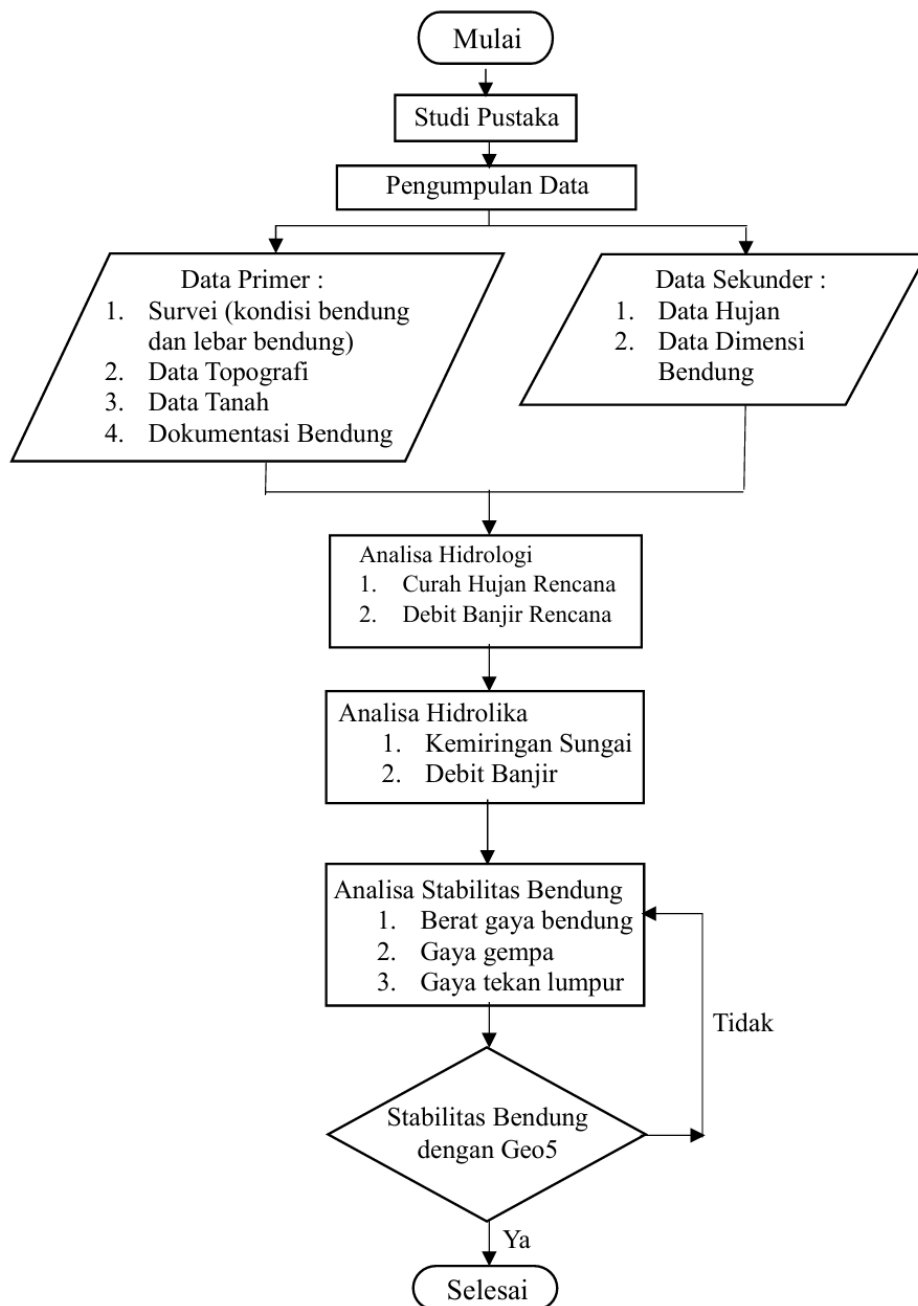


Gambar 2. Kondisi Eksisting

Sumber : Data Pribadi, 2024

B. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan berbagai metode kualitatif, seperti Metode Polygon Thiessen dan Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu, dengan memanfaatkan data primer dan sekunder sebagai sumber informasi. Berikut merupakan diagram alir penelitian dicuplikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rencana konsep penelitian
 Sumber : Data Penelitian, 2025

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Metode Kajian

Data-data yang sudah terkumpul akan diolah dalam kajian pelaksanaan yakni

a. Kajian Hidrologi

- Peta DAS Batu
- Analisa Hujan Rerata dengan metode Polygon Thiessen.

- Analisis sebaran curah hujan.
- Uji kesesuaian sebaran.
- Analisa curah hujan rencana.
- Sebaran hujan pada hitungan jam.
- Analisa debit banjir rancangan dengan metode HSS Nakayasu
- Perhitungan hidrolika
- Stabilitas bendung

B. Uji Konsistensi

Data curah hujan tahunan yang dikumpulkan selama periode 10 tahun dianalisis menggunakan uji konsistensi linier untuk menjamin validitas dan ketepatan hasil pengukuran. Metode ini digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana data yang diperoleh memiliki hubungan linear yang stabil sepanjang waktu, sehingga dapat dipercaya sebagai representasi kondisi curah hujan sebenarnya. Selain itu, dilakukan pula uji konsistensi tambahan dengan metode kurva masa ganda, yang berfungsi untuk menghitung nilai kumulatif deviasi dari rata-rata curah hujan. Pendekatan ini membantu memastikan bahwa data curah hujan yang digunakan benar-benar mencerminkan pola dan variasi hujan yang terjadi dalam periode pengamatan, sehingga hasil analisis dan perencanaan yang bergantung pada data tersebut menjadi lebih akurat dan dapat diandalkan. Hasil perhitungan didapat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. Hasil Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Ledokombo

No	Tahun	Sta. Ledokombo		Sta. Sekitar	
		R1 (mm)	R1kom(mm)	R2 (mm)	R2kom(mm)
1	2014	1877	1877	2331	2331
2	2015	2349	4226	1783	4114
3	2016	3117	7343	2665	6779
4	2017	1971	9314	2488	9267
5	2018	1587	10901	1824	11091
6	2019	1667	12568	1554	12645
7	2020	2305	14873	2554	15199
8	2021	2078	16951	2247	17446
9	2022	2304	19255	2290	19736
10	2023	993.3	20248.3	1749.8	21486

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 2. Hasil Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Ajung

No	Tahun	Sta. Ajung		Sta.Sekitar	
		R1 (mm)	R1kom(mm)	R2 (mm)	R2kom(mm)
1	2014	2331	2331	1667	1667
2	2015	1783	4114	1868	3535
3	2016	2665	6779	2568	6103
4	2017	2488	9267	1751	7854
5	2018	1824	11091	1789	9643
6	2019	1554	12645	1618	11261
7	2020	2554	15199	2178	13439
8	2021	2247	17446	2373	15812
9	2022	2290	19736	2673	18485
10	2023	1749.8	21486	1840.2	20325

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 3. Hasil Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Suren

No	Tahun	Sta. Suren		Sta.Sekitar	
		R1 (mm)	R1kom(mm)	R2 (mm)	R2kom(mm)
1	2014	1667	1667	2331	2331
2	2015	1868	3535	1877	4208
3	2016	2568	6103	2349	6557
4	2017	1751	7854	3117	9674
5	2018	1789	9643	1971	11645
6	2019	1618	11261	1587	13232
7	2020	2178	13439	1667	14899
8	2021	2373	15812	2305	17204
9	2022	2673	18485	2078	19282
10	2023	1840.2	20325	2304	21586

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

C. Peta Daerah Aliran Sungai

Pada DAS Batu terdapat 3 stasiun hujan meliputi DAM Ledokombo, DAM Ajung, dan DAM Suren. Gambar Peta Daerah Aliran Sungai Batu dicuplikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta DAS Batu

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2025

D. Analisis Curah Hujan Rerata

Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Batu terdapat tiga lokasi terminal hujan. Oleh sebab itu, penelitian ini menerapkan metode polygon Thiessen untuk menghitung curah hujan rata-rata. Koefisien Thiessen berperan penting dalam menentukan nilai curah hujan rata-rata yang dihitung berdasarkan luas wilayah masing-masing stasiun hujan. Hasil pengolahan data DEM menjadi peta polygon Thiessen disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta Polygon Thiessen

Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2025

Dari hasil peta *Polygon Thiessen* maka

didapatkan koefisien thiessen pada Tabel 4.

Tabel 4. Koefisien Thiessen DAS Batu

NO	Nama Stasiun	Luas Daerah (Ai)	Koefisien Thiessen Persentase (%)	
		Km ²	Ai/A(FK)	Koef × 100
1	DAM Ledokombo	31.42	0.70	70
2	DAM Ajung	4.60	0.10	10
3	DAM Suren	8.85	0.20	20
Jumlah		44.87	1.00	100

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

Hasil perhitungan analisa curah hujan merata dicuplikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Curah Hujan Rerata Polygon Thiessen.

No	Tahun	Curah Hujan Max (mm)			Curah Hujan Rerata Daerah (mm)
		Ledokombo	Ajung	Suren	
		0.70	0.10	0.20	
1	2014	205	312	112	197.64
2	2015	79	92	105	85.46
3	2016	142	91	72	122.96
4	2017	86	123	85	89.60
5	2018	188	190	145	179.73
6	2019	102	117	118	106.69
7	2020	212	98	85	175.26
8	2021	85	84	110	89.83
9	2022	115	87	122	113.51
10	2023	65	122	112	80.12

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

E. Analisis Distribusi Curah Hujan Menggunakan Software Hydrognomon

Curah hujan rancangan dihitung menggunakan aplikasi Hydrognomon dengan data curah hujan maksimum yang diolah dalam bentuk deret waktu. Distribusi data curah hujan yang direncanakan dibatasi pada tiga jenis distribusi, yakni Gamma, Pearson III, dan Normal, kemudian dilakukan pengujian menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov.

Tabel 6. Hasil uji distribusi probabilitas menggunakan perangkat lunak Hydrognomon.

No	Periode ulang (Tahun)	Distribusi Probabilitas			
		Normal	Gumbel	Log Normal	Log Pearson Type III
1	2	124.08	116.87	116.98	114.24
2	5	161.01	155.66	156.17	154.30
3	10	161.01	155.66	156.17	154.30
4	20	196.26	205.98	205.75	214.36
5	25	200.90	213.80	213.36	224.56
6	50	214.20	237.87	236.75	257.58
7	100	226.16	261.77	259.97	292.96

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

F. Uji Kesesuaian Distribusi

Dua metode utama yang digunakan adalah uji Chi-Square untuk menilai kecocokan distribusi dengan data melalui perbandingan nilai χ^2 dengan nilai kritis pada tingkat signifikansi tertentu (1% atau 5%), serta uji Kolmogorov-Smirnov yang bersifat non-parametrik untuk menguji kesesuaian antara distribusi data dan distribusi teoretis. Uji kesesuaian distribusi dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji distribusi yang diterima menggunakan Hydrognomon (1%)

Distribusi	Chi-Kuadrat	Smirnov-Kolmogrof
Normal	ACCEPT	ACCEPT
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT
Log Normal	ACCEPT	ACCEPT
Log Pearson Type III	-	ACCEPT

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

G. Distribusi Hujan Jam-jaman

Perhitungan ini umumnya dilakukan dengan menggunakan metode Mononobe yang dirumuskan secara khusus sebagai berikut:

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

Dengan :

I = Intensitas Hujan Dalam Rata-rata(mm/jam)

R_{24} = Tinggi Curah Hujan Rencana Maksimum (mm)

t = Durasi Hujan atau waktu konsentrasi hujan (jam)

Berikut ini merupakan hasil perhitungan Intensitas Hujan Dalam Rata Rata dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Intensitas Hujan

t (Jam)	Kala Ulang						
	2	5	10	20	25	50	100
	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun
1	39.603	53.492	63.715	74.315	77.850	89.298	101.563
2	24.948	33.698	40.138	46.816	49.042	56.254	63.981
3	19.039	25.716	30.631	35.727	37.426	42.930	48.826
4	15.716	21.228	25.285	29.492	30.895	35.438	40.305
5	13.544	18.294	21.790	25.415	26.624	30.539	34.734
6	11.994	16.200	19.296	22.507	23.577	27.044	30.759

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

H. Debit Banjir Rencana

Pembuatan hidrograf banjir pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) memerlukan identifikasi berbagai karakteristik atau parameter yang dimiliki oleh DAS tersebut. Berikut adalah parameter yang terkait dengan DAS Batu:

- Luas DAS = 44.87 Km²
- Panjang sungai = 14 Km
- Koef Pengaliran = 0.251
- α = 1.5
- Ro = 1

Metode HSS Nakayasu terdiri dari beberapa tahapan yang sistematis:

- Menghitung waktu konsentrasi hujan (T_g)
 $T_g = 0.4 + 0.058 \times L$
 $= 0.4 + 0.058 \times 14$
 $= 1.21$ Jam
- Menghitung satuan waktu dari curah hujan (T_r)
 $T_r = 0.75 \times T_g$
 $= 0.75 \times 1.21$
 $= 0.91$ Jam
- Menghitung waktu puncak (T_p)
 $T_p = T_g + (0.8 \times T_r)$
 $= 1.21 + (0.8 \times 0.91)$
 $= 1.94$ Jam
- Menghitung waktu penurunan $T_{0.3}$
 $T_{0.3} = \alpha \times T_g$
 $= 1.5 \times 1.21$
 $= 1.82$ Jam
 $T_p + T_{0.3} = 1.94 + 1.82$
 $= 3.76$ Jam
 $T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3} = 1.94 + (2.5 \times 1.82)$
 $= 6.48$ Jam

Acuan kurva ordinat hidrograf dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Acuan Kurva Ordinat Hidrograf

Karakteristik	Notasi	Acuan
Lengkung Naik	Qa	$0 \leq t \leq T_p$
Lengkung Turun Tahap 1	Qd1	$T_p \leq t \leq T_p + T_{0.3}$
Lengkung Turun Tahap 2	Qd2	$T_p + T_{0.3} \leq t \leq T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}$
Lengkung Turun Tahap 3	Qd3	$t \geq T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}$

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

a.) Lengkung Naik (Qa)

$$(0 \leq t \leq T_p) = (0 \leq t \leq 1.94)$$

Untuk menghitung ordinat hidrograf pada bagian lengkung naik (Qa) digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{t(0)} = Q_p \left[\frac{t}{T_p} \right]^{2.4}$$

$$= 5.194 \left[\frac{0}{1.94} \right]^{2.4}$$

$$= 0 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{t(1)} = Q_p \left[\frac{t}{T_p} \right]^{2.4}$$

$$= 5.194 \left[\frac{1}{1.94} \right]^{2.4}$$

$$= 1.06 \text{ m}^3/\text{detik}$$

b.) Lengkung Turun Tahap 1

$$(T_p) \leq t \leq (T_p + T_{0.3})$$

$$(1.94) \leq t \leq (3.76)$$

Untuk menghitung ordinat hidrograf pada bagian lengkung turun tahap 1 (Q_{d1}) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{t(2)} = Q_p \times 0.3^{(t-T_p)/T_{0.3}}$$

$$= 5.194 \times 0.3^{(2-1.94)/1.82}$$

$$= 4.99 \text{ m}^3/\text{detik}$$

c.) Lengkung Turun Tahap 2

$$(T_p + T_{0.3}) \leq t \leq (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3})$$

$$(3.76) \leq t \leq (6.48)$$

Untuk menghitung ordinat hidrograf pada bagian lengkung turun tahap 2 (Q_{d2}) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{t(3)} = Q_p \times 0.3^{((t-T_p)+0.5)/(1.5 T_{0.3})}$$

$$= 5.194 \times 0.3^{((3-1.94)+0.5 \times 1.82)/(1.5 \times 1.82)}$$

$$= 2.18 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{t(4)} = Q_p \times 0.3^{((t-T_p)+0.5 T_{0.3})/(1.5 T_{0.3})}$$

$$= 5.194 \times 0.3^{((4-1.94)+0.5 \times 1.82)/(1.5 \times 1.82)}$$

$$= 1.40 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Perhitungan bagian lengkung turun tahap 2 (Q_{d2}) diteruskan hingga batas interval waktu dengan acuan $((3.76) \leq t \leq (6.48))$

d.) Lengkung Turun Tahap 3

$$t \geq (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3})$$

$$t \geq (6.48)$$

Untuk menghitung ordinat hidrograf pada bagian lengkung turun tahap 3 (Q_{d3}) digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{t(6)} = Q_p \times 0.3^{((t-T_p)+1.5 T_{0.3})/(2 T_{0.3})}$$

$$= 5.194 \times 0.3^{((6-1.94)+1.5 \times 1.82)/(2 \times 1.82)}$$

$$= 0.55 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{t(7)} = Q_p \times 0.3^{((t-T_p)+1.5 T_{0.3})/(2 T_{0.3})}$$

$$= 5.194 \times 0.3^{((7-1.94)+1.5 \times 1.82)/(2 \times 1.82)}$$

$$= 0.39 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Perhitungan untuk bagian lengkung turun pada tahap ketiga (Q_{d3}) dilakukan secara berlanjut hingga mencapai batas interval waktu yang telah ditentukan. Proses ini merujuk pada ketentuan bahwa waktu penghitungan harus memenuhi kondisi $t \geq 6,48$. Dengan mengikuti acuan waktu tersebut, analisis dapat memastikan bahwa perhitungan lengkung turun dilakukan secara komprehensif dan mencakup seluruh periode yang relevan sesuai dengan kebutuhan studi. Pendekatan ini membantu menghasilkan estimasi yang akurat dan konsisten dalam menilai perubahan yang terjadi selama interval waktu yang telah ditetapkan.

Tabel 10. Perhitungan Ordinat Hidrograf

t (Jam)	Q (m ³ /detik)	Keterangan
0.0	0.00	Q_a
1.0	1.06	
2.0	4.99	
3.0	2.18	Q_{d1}
4.0	1.40	
5.0	0.90	
6.0	0.55	Q_{d2}
7.0	0.39	
8.0	0.28	
9.0	0.20	Q_{d3}
10.0	0.15	
11.0	0.10	
12.0	0.08	Q_{d3}
13.0	0.05	
14.0	0.04	
15.0	0.03	Q_{d3}
16.0	0.02	
17.0	0.01	
18.0	0.01	Q_{d3}
19.0	0.01	
20.0	0.01	
21.0	0.00	Q_{d3}
22.0	0.00	
23.0	0.00	
24.0	0.00	Q_{d3}
25.0	0.00	

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

Pada bagian ini ditampilkan hasil perencanaan debit banjir rancangan yang diperoleh melalui penerapan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu untuk berbagai nilai periode ulang. Metode tersebut digunakan untuk memodelkan debit puncak banjir berdasarkan frekuensi terjadinya banjir yang diperkirakan akan terjadi dalam rentang waktu yang berbeda. Dengan demikian, perencanaan debit banjir dapat menyesuaikan dengan tingkat risiko dan skenario hidrologi yang beragam.

Tabel 11. Hidrograf Debit Banjir Rencana dengan Berbagai Kala Ulang

NO	t (Jam)	2 TAHUN	5 TAHUN	10 TAHUN	20 TAHUN	25 TAHUN	50 TAHUN	100 TAHUN
		Q2 (m ³ /detik)	Q5 (m ³ /detik)	Q10 (m ³ /detik)	Q20 (m ³ /detik)	Q25 (m ³ /detik)	Q50 (m ³ /detik)	Q100 (m ³ /detik)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	8.42	11.37	13.54	15.79	16.54	18.98	21.58
3	2.00	51.55	69.63	82.93	96.73	101.33	116.23	132.20
4	3.00	82.07	110.86	132.04	154.01	161.34	185.06	210.48
5	4.00	83.90	113.32	134.97	157.43	164.92	189.17	215.15
6	5.00	81.68	110.32	131.41	153.27	160.56	184.17	209.47
7	6.00	76.21	102.93	122.60	143.00	149.80	171.83	195.43
8	7.00	66.13	89.33	106.40	124.10	130.00	149.12	169.60
9	8.00	42.28	57.11	68.02	79.34	83.11	95.34	108.43
10	9.00	30.54	41.26	49.14	57.31	60.04	68.87	78.33
11	10.00	22.30	30.12	35.88	41.85	43.84	50.29	57.19
12	11.00	16.47	22.25	26.50	30.91	32.38	37.15	42.25
13	12.00	12.85	17.36	20.68	24.11	25.26	28.98	32.96
14	13.00	10.02	13.54	16.13	18.81	19.71	22.60	25.71
15	14.00	7.82	10.56	12.58	14.67	15.37	17.63	20.06
16	15.00	6.10	8.24	9.81	11.45	11.99	13.76	15.65
17	16.00	4.76	6.43	7.66	8.93	9.36	10.73	12.20
18	17.00	3.71	5.01	5.97	6.97	7.30	8.37	9.52
19	18.00	2.90	3.91	4.66	5.43	5.69	6.53	7.43
20	19.00	2.26	3.05	3.63	4.24	4.44	5.09	5.79
21	20.00	1.76	2.38	2.84	3.31	3.46	3.97	4.52
22	21.00	1.37	1.86	2.21	2.58	2.70	3.10	3.53
23	22.00	1.07	1.45	1.73	2.01	2.11	2.42	2.75
24	23.00	0.84	1.13	1.35	1.57	1.64	1.89	2.15
25	24.00	0.65	0.88	1.05	1.22	1.28	1.47	1.67
26	25.00	0.51	0.69	0.82	0.96	1.00	1.15	1.31
MAX		83.90	113.32	134.97	157.43	164.92	189.17	215.15

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

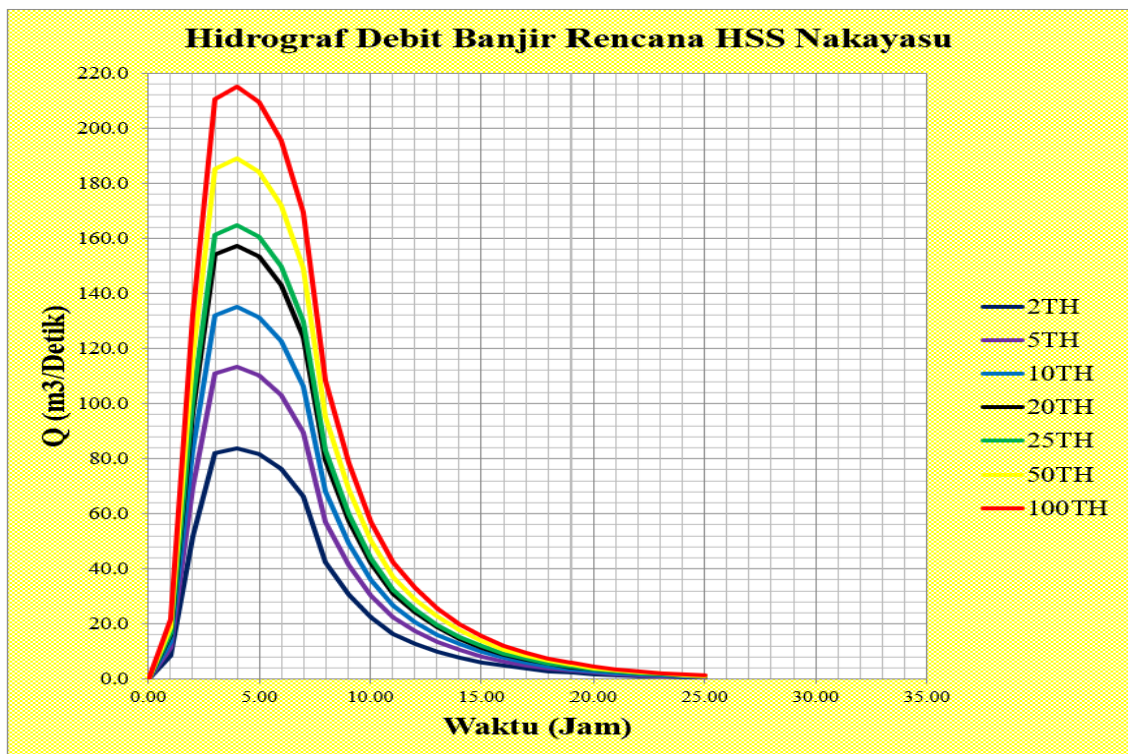
Ringkasan debit banjir untuk berbagai nilai kala ulang dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi Debit Banjir Rencana

Kala Ulang	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	20 Tahun	25 Tahun	50 Tahun	100 Tahun
Q(m ³ /detik)	83.90	113.32	134.97	157.43	164.92	189.17	215.15

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

Didapatkan hidrograf debit banjir rencana yang disebut dengan Q teoritis pada Gambar 6



Gambar 6. Hidrograf Debit Banjir
Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

I. Perhitungan Hidrolika

a. Perhitungan Kemiringan Dasar Sungai

Perbedaan elevasi sungai dari hulu ke hilir diukur dengan mengambil titik patok setiap 100 meter. Pengambilan titik patok ini bertujuan untuk menentukan kemiringan sungai dari hulu ke hilir, dengan hasil pengukuran dan perhitungannya disajikan dalam tabel. 13

Tabel 13. Perhitungan Kemiringan Saluran

No	P	E (m)	ΔH (m)	L (m)	$\Delta H/L$
1	P5	221			
			1	25	0.04
2	P4	220			
			1	25	0.04
3	P3	219			
			1	25	0.04
4	P2	218			
			1	25	0.04
5	P1	217			

No	P	E (m)	ΔH (m)	L (m)	$\Delta H/L$
			2	25	0.08
6	P0	215			
			1	25	0.04
7	PA	214			
			1	25	0.04
8	PB	213			
			2	25	0.08
9	PC	211			
			1	25	0.04
10	PD	210			
			2	25	0.08
11	PE	208			
Total		2366	13.00	250	0.52
Kemiringan rata-rata (i)					0.002

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

b. Perencanaan mercu

Perhitungan ini dilakukan guna untuk mendesain ulang kondisi existing menjadi sebuah perencanaan bangunan air :

- Lebar bendung (B) = 14 m
- Lebar Pintu Pembilas = 1 m
- Tebal Pilar Pintu Pembilas = 0.8 m
- Tebal Pilar Mercu = 0 m
- K_p = 0,01
- K_a = 0,01
- Debit Banjir (Q₁₀₀) = 215.15 m³/detik
- Elevasi Mercu Bendung = + 98.75 m
- Gravitasi = 9,81 m/s
- Koefisien Debit = 1.240

Setelah didapatkan data-data yang terlampir maka akan dilakukan perhitungan

1. B_p total = (1 x 1)
= 1 m
2. T_p total = (1 x 0.8) + (0 x 0)
= 0.8 m

Untuk mencari lebar mercu (B_m) digunakan persamaan sebagai berikut :

3. Lebar mercu = B – (B_p total + T_ptotal)
= 14 – (1 + 0.8)
= 12.20 m
4. Lebar efektif bendung (B_e)
= B_m – (2 x (n x K_p + K_a) x H₁)
= 12.20 – (2 x (1 x 0.01 + 0.01) x H₁)
= 12.20 – 0.04 H₁
= 12.114 H₁

Cek efisiensi debit terhadap bendung

$$Q = C_d \times \frac{2}{3} \times \frac{2}{3} \times g^{1/2} \times B_e \cdot H_1^{3/2}$$

$$= 1.24 \times 0.67 \times 2.55 \times 12.11 \times 8.46$$

$$= 215.152 = 215.154 \text{ Okee}$$

Dikarenakan hasilnya sama maka pengecekan dianggap sesuai. Selanjutnya yakni mengetahui faktor lain yang memengaruhi tinggi muka air banjir (h).

- $q = Q / B_e$
= 215.151 / 12.03
= 17.879 m³/detik
- $V = q / (P + H_1)$
= 17.87 / (4.150 + 1.7)
= 3.056 m/detik
- $H_{al} = V_2 / 2g$
= 3.055² / 2 x 9.81
= 0.476 m
- $H_d = H_1 - H_{al}$
= 4.15 - 0.475
= 3.675 m
- $H_c = q / g^{2/3}$

$$= (17.87 / 9.81)^{0.66}$$

$$= 1.492 \text{ m}$$

Perhitungan ini dilakukan guna untuk merencanakan dimensi bendung pada hilir dengan perbandingan kemiringan 3 : 1 maka bendung tersebut dengan kondisi eksisting tipe mercu Ogee no 3 memiliki nilai K = 1.936 dan n = 1.836.

$$R_1 = 0.68 \times H_d$$

$$= 2.4987 \text{ m}$$

$$R_2 = 0.21 \times H_d$$

$$= 0.7716 \text{ m}$$

$$\text{Jarak } R_1 = 0.139 \times H_d$$

$$= 0.5108 \text{ m}$$

$$\text{Jarak } R_2 = 0.237 \times H_d$$

$$= 0.8709 \text{ m}$$

$$X^{1.776} = 1.873 \times H_d^{0.776} \times Y$$

$$= 1.873 \times 2.745 \times Y$$

$$= 5.142 \times Y$$

$$Y = 1 / 5.142 \times X^{1.776}$$

$$Y = 1.776 / 5.142 \times X^{0.776}$$

Kemiringan di hilir bendung direncanakan 3 : 1, maka :

$$Y' = \tan \theta$$

$$Y' = 3.0000$$

$$3.0000 = 1.776 / 5.142 \times X^{0.776}$$

$$X^{0.776} = 1.036$$

$$X = 1.05 \text{ m}$$

$$Y = 1 / 5.142 \times 1.0469$$

$$= 2.1095 \text{ m}$$

c. Perencanaan kolam loncat air

Elevasi kolam olak direncanakan sekitar ±97,45m, dengan perhitungan kolam loncat air dilakukan menggunakan data berikut ini :

$$\text{Energi Air Banjir (H}_1\text{)} = 4,151 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Mercu} = + 98,75 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi Kolam Loncat} = + 97,45 \text{ m}$$

$$\text{Gravitasi Bumi (g)} = 9.81 \text{ m/detik}$$

$$\text{Beda tinggi (Z)} = (\text{Elevasi Mercu} - \text{Elevasi Kolam Loncat Air})$$

$$= 98,75 - 97,45$$

$$= 1.3 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan Awal Loncatan (V}_i\text{)}$$

$$= (2g (1/2 H_1 + Z))^{1/2}$$

$$= (2 \times 9.81) \times (1/2 \times 4,151 + 1.29))^{1/2}$$

$$= 6.48 \text{ m/detik}$$

$$\text{Tinggi air pada titik V}_1 = (Y_u)$$

$$Q = A \times V_1$$

$$= b \times h \times V_1$$

$$\begin{aligned}(Y_u) H &= Q / (b \times V_1) \\ &= 215.15 / (14 \times 6.48) \\ &= 2,37 \text{ m} \\ \text{Kedalaman Konjugasi } (Y_2) & \\ Y_2/Y_u &= 1/2 ((1 + 8 \times Fr) - 1) \\ Fr &= V_1 / (g \cdot Y_u)^{1/2} \\ &= 6.48 / (9.81 \times 2,37)^{1/2} \\ &= 1.34 \text{ m} \\ Y_2/Y_u &= 0,5 \times ((1 + 8 \times 1,34^2)^{0,5}) - 1 \\ &= 1.46 \text{ m} \\ Y_2 &= 1.46 \times 2,37 \\ &= 3.47 \text{ m}\end{aligned}$$

d. Perencanaan kolam olakan

$$\begin{aligned}(L_j) &= 2.7 \times Y_2 \\ &= 2.7 \times 1.851 \\ &= 5.00 \text{ m} \\ (n_j) &= Y_u \times (4 + Fr) / 6 \\ &= 1.267 \times (4 + 1.34) / 6 \\ &= 1.128 \text{ m} \\ (n) &= Y_u \times (18 + Fr) / 10 \\ &= 1.267 \times (18 + 1.34) / 10 \\ &= 2.452 \text{ m} \\ (L_{j\text{blok}}) &= 0.82 \times Y_2 \\ &= 0.82 \times 1.851 \\ &= 1.518 \text{ m}\end{aligned}$$

J. Analisis Stabilitas

1. Analisa stabilitas secara manual

Perencanaan struktur pelimpah harus mencakup pemeriksaan stabilitas yang meliputi keamanan :

1. Stabilitas terhadap gaya guling
2. Stabilitas terhadap gaya geser

Dibawah ini adalah tabel hasil kontrol stabilitas manual.

Tabel 14. Kontrol Stabilitas

No	Kondisi	Kontrol Stabilitas	Nilai	Sf	Keterangan
1	Normal	Guling	1.5650	1.5	AMAN
		Geser	1.3916	1.25	AMAN
2	Gempa	Guling	1.9497	1.5	AMAN
		Geser	1.2546	1.25	AMAN
3	Banjir	Guling	1.6350	1.5	AMAN
		Geser	1.4773	1.25	AMAN
4	Banjir + Gempa	Guling	1.8196	1.5	AMAN
		Geser	1.4007	1.25	AMAN

Sumber : Hasil Perhitungan, 2025

2. Analisa stabilitas menggunakan aplikasi Geo 5

Berdasarkan model dan analisis yang dilakukan pada software Geo 5, hasil dari faktor keamanan stabilitas pada gambar dibawah ini.

- Bendung kosong dalam kondisi tanpa gempa

Slope stability verification (all methods)

Bishop : FS = 43.73 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Fellenius / Petterson : FS = 43.14 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Spencer : FS = 44.09 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Janbu : FS = 44.04 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Morgenstern-Price : FS = 44.04 > 1.50 **ACCEPTABLE**

Gambar 7. Bendung kosong dalam kondisi tanpa gempa

Sumber : Software Geo5

- Bendung muka air banjir dalam kondisi tanpa gempa

Slope stability verification (all methods)

Bishop : FS = 43.73 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Fellenius / Petterson : FS = 43.14 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Spencer : FS = 44.09 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Janbu : FS = 44.04 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Morgenstern-Price : FS = 44.04 > 1.50 **ACCEPTABLE**

Gambar 8. Bendung muka air banjir dalam kondisi tanpa gempa

Sumber : Software Geo5

- Bendung kosong dalam kondisi gempa

Slope stability verification (all methods)

Bishop : FS = 77.87 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Fellenius / Petterson : FS = 77.23 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Spencer : FS = 78.05 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Janbu : FS = 78.05 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Morgenstern-Price : FS = 78.05 > 1.50 **ACCEPTABLE**

Gambar 9. Bendung kosong dalam kondisi gempa

Sumber : Software Geo5

- Bendung muka air banjir dalam kondisi gempa

Slope stability verification (all methods)

Bishop : FS = 32.08 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Fellenius / Petterson : FS = 31.58 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Spencer : FS = 32.49 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Janbu : FS = 32.42 > 1.50 **ACCEPTABLE**
Morgenstern-Price : FS = 32.42 > 1.50 **ACCEPTABLE**

Gambar 10. Bendung muka air banjir dalam kondisi gempa

Sumber : Software Geo5

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini melibatkan beberapa tahap perhitungan perencanaan menggunakan metode pengolahan data yang mencakup analisa hidrologi, hidrolika, dan stabilitas bendung :

1. Curah hujan rancangan yang dihasilkan melalui aplikasi hidrograf menggunakan metode Log Pearson III dinyatakan valid, dengan debit banjir rancangan sebesar 215,15 m³/detik berdasarkan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu untuk periode ulang 100 tahun.
2. Desain bendung direncanakan menggunakan mercu tipe oge III dengan kemiringan hilir 3:1 serta nilai K sebesar 1,936 dan N sebesar 1,836. Predam menggunakan tipe Vlughter dipilih karena kemampuannya meredam energi aliran yang membawa batuan saat banjir.
3. Stabilitas bendung terhadap guling dan geser dianalisis pada berbagai kondisi: air normal, gempa, banjir, dan kombinasi banjir-gempa, dengan nilai faktor keamanan yang menunjukkan kestabilan strukur dalam setiap kondisi tersebut.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan untuk melakukan :

1. Pengkajian metode alternatif dalam perhitungan debit banjir, seperti metode Snyder atau pemodelan dengan perangkat lunak hidrologi terkini seperti HEC-HMS, guna memperoleh perbandingan yang lebih komprehensif terhadap kondisi daerah aliran sungai.
2. Pemanfaatan data curah hujan real-time dengan akurasi lebih tinggi untuk meningkatkan ketepatan perhitungan debit banjir serta adaptasi terhadap perubahan iklim dan kejadian ekstrem.
3. Penggabungan mercu bendung tipe ogee dengan tipe kolam olak lain, seperti tipe USBR, serta dilakukan analisis terhadap variasi debit dan kemiringan hulu bendung.

6. DAFTAR PUSTAKA

Amri, S., Syofyan, E. R., Yurisman, Wahyuni, F., & Kurniawan, J. (2024). Analisis Run-

Off Menggunakan Cara Manual dan Software Hydrognomon pada DAS Batang Lembang. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 11(1), 46–55.
<https://doi.org/10.21063/JTS.2024.V1101.046-55>

Ananda, R. A. (2018). *Analisis Banjir Rancangan Das Deli Dengan Metode HSS Gama I dan HSS Nakayasu (Studi Kasus)*. <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/8601>

Andayani, R., & Umari, Z. F. (2022). Debit banjir rancangan DAS Selabung dengan HSS Nakayasu. *Jurnal Deformasi*, 7(1), 21–31.

As'attohara, B. P., Santosa, I., & Tamad, T. (2021). Pengelolaan Hulu Sub-DAS Logawa dalam Perda Penataan Ruang Kabupaten Banyumas. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 9(3), 256–271.

Dermawan, A., Syaiful, Alimuddin, & Fachruddin. (2022). Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 15(2), 1–10.

Dewi, I. (2024). *HIDROLIKA*. umsu press.

Dingman, S. L. (2015). *Physical hydrology*. Waveland press.

Fatmawati, L. E., & Utomo, A. C. (2019). Analisis Stabilitas Bendung Embung Made, Desa Made, Kecamatan Kudu, Kabupaten Jombang. *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 7(3), 241–248.

Iskandar, R. (2023). *Analisis Stabilitas Bendung Serdang Menggunakan Sap2000*.

Junia, N., Fauzi, M., & Suprayogi, I. (2015). *Kesesuain Model Hidrograf Satuan Sintetik Studi Kasus Sub Daerah Aliran Sungai Siak Bagian Hulu*. Riau University.

Laksono, P. A., & Prihatiningsih, A. (2025). STUDI PENGARUH PERKUATAN TANAH MENGGUNAKAN GEOGRID PADA STABILITAS LERENG. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 291–298.

Lufira, R. D., Andawayanti, U., & ST Fitriani, N. Z. (2025). *Krisis Sumber Daya Air Pendekatan Inovatif dan Solusi Berkelanjutan*. CV. AE MEDIA GRAFIKA.

- Mardiatno, D., & Marfai, M. A. (2021). *Analisis bencana untuk pengelolaan daerah aliran sungai (das): studi kasus kawasan hulu das Comal*. Ugm Press.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). *Wetlands*. John wiley & sons.
- Pramadhani, M. A., Saiful Rizal, N., & Priyono, P. (2023). Pemodelan Hidrolik Aliran pada Bendung dengan Mercu Tipe Ogee Flow Hydraulic Modeling on the Weir type Ogee. *Jurnal Smart Teknologi*, 4(4), 2774–1702.
<http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST>
- RAMLAN, R. (2024). *SIMULASI HIDROLIK PERUBAHAN DESAIN BANGUNAN PENGAMBILAN BENDUNGAN JRAGUNG KABUPATEN SEMARANG*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Rustan, F. R., Tanje, H. W., Sukri, A. S., Amir, M. K., Sriwati, M., & Rachman, R. M. (2024). *Hidrologi*. TOHAR MEDIA.
- Syarif, M., Hidayat, A., La Ola, M. N., Masgode, M. B., Dzakir, L. O., Rustan, F. R., Adnan, S., Yanqoritha, N., Yunus, A. I., & La Ode, A. T. (2024). *Ilmu Teknik Sipil*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Taufik Is, F., Kartika, E., Sari, M. S., & Azwar, A. (2025). *ANALISA DISTRIBUSI CURAH HUJAN DENGAN UJI KECOCOKAN CHI SQUARE DAN SIMIRNOV KOLMOGOROV DI KAB OKU*. Universitas Baturaja.
- Wheater, H. S. (2015). Water Security–science and management challenges. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 366, 23–30.