

Evaluasi Bendung Berdasarkan Beberapa Metode Perhitungan Debit Banjir

Dam Evaluation Based on Several Flood Discharge Calculation Methods

Abidah Milya Rifanda Ridwan¹⁾, Nanang Saiful Rizal²⁾, Arief Alihudien³⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: abidahmilya@gmail.com

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

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

Abstrak

Bendung memiliki peran penting dalam pengelolaan air, termasuk pengaturan aliran sungai, irigasi, dan pengendalian banjir. Tujuan penelitian ini adalah untuk meninjau ulang perencanaan Bendung Klorahan yang mengalami kerusakan akibat banjir, melalui analisis debit banjir dengan menerapkan tiga metode, yakni Metode Rasional, Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu, serta Metode Weduwen. Selain itu, dilakukan simulasi hidraulik dengan HEC-RAS dan analisis stabilitas menggunakan perangkat lunak GEO5. Hasil perhitungan debit banjir menunjukkan nilai sebesar 31.950 m³/s untuk Metode Rasional, 195.670 m³/s untuk HSS Nakayasu, dan 470.255 m³/s untuk Metode Weduwen. Metode HSS Nakayasu dinilai paling sesuai dengan karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) di lokasi studi. Simulasi menggunakan HEC-RAS menunjukkan profil muka air yang tetap berada di bawah elevasi mercu bendung, menandakan kapasitas aliran masih tercukupi. Sementara itu, hasil evaluasi stabilitas struktur bendung menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan pada kondisi normal maupun ekstrem terhadap guling, geser, dan daya dukung tanah masih berada dalam batas aman lebih besar dari nilai Sf yang ditentukan.

Kata Kunci : Bendung; Debit Banjir; HEC-RAS; GEO5

Abstract

Dams play a crucial role in water management, including river flow regulation, irrigation, and flood control. The objective of this study was to review the design of the Klorahan Dam, which was damaged by flooding, through flood discharge analysis using three methods: the Rational Method, the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph (HSS), and the Weduwen Method. Hydraulic simulations using HEC-RAS and stability analysis using GEO5 software were also conducted. The calculated flood discharge values were 31,950 m³/s for the Rational Method, 195,670 m³/s for the Nakayasu HSS, and 470,255 m³/s for the Weduwen Method. The Nakayasu HSS method was deemed most appropriate for the characteristics of the watershed at the study site. Simulations using HEC-RAS showed that the water level remained below the weir crest elevation, indicating sufficient flow capacity. Meanwhile, the results of the evaluation of the stability of the dam structure show that the safety factor value under normal and extreme conditions against overturning, sliding and soil bearing capacity is still within safe limits, greater than the specified Sf value.

Keywords: Dam; Flood Discharge; HEC-RAS; GEO5

1. PENDAHULUAN

Bendung memiliki peran strategis dalam manajemen sumber daya air, terutama dalam mendukung sistem irigasi, mengendalikan banjir, dan mengatur aliran sungai (Jaya et al., 2024). Pada tahap perencanaan, bendung perlu dirancang sedemikian rupa sehingga mampu mengalirkan debit banjir secara aman tanpa menimbulkan ancaman terhadap kestabilan konstruksi maupun lingkungan di sekitarnya. (Badrun et al., 2023). Salah satu tantangan utama dalam desain bendung adalah memastikan kapasitasnya mampu menghadapi kondisi hidrologi ekstrem. Banjir besar yang terjadi bersamaan dengan hujan deras menyebabkan kerusakan pada lokasi Bendungan Klorahan di Desa Manggis, Kecamatan Tanggul, Kabupaten Jember. Kegagalan ini menekankan pentingnya analisis menyeluruh yang mencakup aspek hidrologi, hidraulika, dan kestabilan struktur.

Perhitungan debit banjir dapat dilakukan melalui berbagai metode, seperti Rasional, HSS Nakayasu, dan Weduwen. Pemilihan metode yang sesuai dengan karakteristik daerah aliran sungai (DAS) sangat krusial agar hasil perhitungan debit mencerminkan kondisi sebenarnya dan tidak mengakibatkan kesalahan dalam perencanaan kapasitas bendung (Paramadita, 2025). Simulasi hidraulika dengan memanfaatkan perangkat lunak HEC-RAS dilakukan untuk menilai profil muka air serta performa saluran (Savni Alkayatni, 2025). Sebagai tambahan, analisis stabilitas struktur dengan memanfaatkan perangkat lunak GEO5 dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keamanan terhadap potensi guling, pergeseran, dan kapasitas daya dukung tanah (Zain et al., 2015). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi Bendung Klorahan berdasarkan perbandingan metode debit banjir, simulasi hidraulik, serta analisis stabilitas, sehingga hasilnya dapat menjadi dasar perbaikan desain bendung yang lebih andal dan sesuai dengan kondisi lokal. Masalah utama yang menjadi perhatian dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Bagaimanakah perbandingan hasil perhitungan debit banjir yang diperoleh melalui berbagai metode, seperti metode Rasional, Hidrograf Satuan Sintetis (HSS)

Nakayasu, dan Weduwen, serta metode mana yang paling tepat menggambarkan karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) Bendung Klorahan?

- 2) Bagaimana karakteristik hidraulik aliran pada Bendung Klorahan berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* HEC-RAS terhadap debit banjir yang diperoleh dari metode terpilih?
- 3) Bagaimana evaluasi stabilitas struktur Bendung Klorahan menggunakan *software* GEO5?

Berdasarkan rumusan masalah, penelitian ini bertujuan untuk mencapai beberapa tujuan, yaitu:

- 1) Melakukan perbandingan hasil perhitungan debit banjir menggunakan metode Rasional, HSS Nakayasu, dan Weduwen, serta menetapkan metode yang paling tepat sesuai dengan karakteristik DAS Bendung Klorahan.
- 2) Mengetahui karakteristik hidraulik aliran pada Bendung Klorahan berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* HEC-RAS terhadap debit banjir yang diperoleh dari metode terpilih.
- 3) Mengetahui evaluasi stabilitas struktur Bendung Klorahan menggunakan *software* GEO5.

Selain itu, penelitian ini memiliki sejumlah batasan yang meliputi antara lain:

- 1) Penelitian ini dilaksanakan di Bendung Klorahan yang terletak di Desa Manggis, Kecamatan Tanggul, Kabupaten Jember.
- 2) Penelitian ini berfokus pada aspek hidrologi, hidraulika, dan stabilitas tanpa mempertimbangkan struktur bendung.
- 3) Analisa stabilitas hanya berfokus pada aspek guling dan geser dengan menggunakan *software* GEO5.
- 4) Penelitian ini menerapkan Metode Rasional, HSS Nakayasu, serta Weduwen dalam perhitungan debit banjir.
- 5) Penelitian ini membatasi fungsi Bendung Klorahan hanya sebagai penyedia air irigasi untuk lahan pertanian di Desa Manggis dan Desa Darungan.
- 6) Simulasi hidraulik menggunakan *software* HEC-RAS 6.6.

- 7) Pengujian klasifikasi tanah di laboratorium didasarkan pada SNI 8460:2017 tentang “Persyaratan Perencanaan Geoteknik”.
- 8) Klasifikasi tanah berdasarkan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO).
- 9) Tidak merencanakan jadwal dan metode pekerjaan.
- 10) Tidak menghitung RAB (Rencana Anggaran Biaya) bendung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisa Hidrologi

Hidrologi merupakan studi ilmiah yang mengkaji air di permukaan bumi, mencakup proses pergerakan, karakteristik fisik dan kimia, serta keterkaitannya dengan lingkungan. Kajian ini menyoroti peran air terhadap ekosistem dan kehidupan, sehingga hidrologi penting untuk memahami siklus air dan mengelola sumber daya air secara berkelanjutan (Wangsa et al., 2023).

B. Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data hujan merupakan langkah awal yang krusial dalam analisis hidrologi guna memastikan bahwa data yang diperoleh merepresentasikan kondisi sebenarnya. Konsistensi tercapai jika data akurat serta valid (Marta et al., 2023). Secara umum, metode Kurva Massa Ganda (*Double Mass Curve*) guna membandingkan data antarstasiun, sedangkan metode RAPS diterapkan untuk mengevaluasi konsistensi data pada satu stasiun (Zahrani et al., 2025).

1. Metode Kurva Massa Ganda (*Double Mass Curve*)

$$H_z = F_k \times H_o \dots\dots\dots(1)$$

$$F_k = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_o} \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

H_z = Data hujan yang perlu diperbaiki (mm)

H_o = Data hujan hasil pengamatan (mm)

F_k = Faktor koreksi

$\tan \alpha$ = Kemiringan garis sebelum ada perubahan

$\tan \alpha_o$ = Kemiringan garis sesudah ada perubahan

2. Metode Statistik RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*)

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X}) \dots\dots\dots(3)$$

$$D_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} \dots\dots\dots(4)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan:

X_i = Data curah hujan (mm)

$\bar{X}$ = Rerata curah hujan (mm)

n = Jumlah data curah hujan

k = 1, 2, 3, ..., n

C. Analisis Curah Hujan

Curah hujan merupakan total volume air yang turun ke permukaan bumi dalam bentuk hujan selama periode waktu tertentu (Muliantara et al., 2015). Analisis terhadap curah hujan memiliki peran penting dalam berbagai kegiatan hidrologi, seperti perencanaan drainase, kajian aliran sungai, perkiraan debit banjir, serta perancangan bangunan hidrolik seperti bendung dan waduk. Penentuan nilai curah hujan rata-rata dapat dilakukan melalui beberapa metode berikut ini:

1. Metode Aljabar
2. Metode *Polygon Thiessen*
3. Metode *Isohyet*

D. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi bertujuan mengidentifikasi hubungan antara intensitas suatu peristiwa ekstrem dan tingkat kejadiannya melalui pendekatan probabilistik. Debit atau curah hujan tahunan maksimum yaitu, nilai terbesar yang diamati setiap tahun selama periode pengamatan tertentu biasanya menjadi data yang digunakan. (Pramesty & Dwi, 2023). Banyak pola distribusi frekuensi yang sering digunakan dalam penelitian hidrologi dalam disiplin statistik, yaitu:

1. Distribusi Gumbel

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{S_n} (Y_T - Y_n) \dots\dots\dots(6)$$

Dengan:

X_T = Curah hujan rencana (mm)

$\bar{X}$ = Curah hujan rata – rata (mm)

S = Standar deviasi (*Standar Deviation*)

S_n = *Standar deviation of reduced variated*

Y_T = *Reduced variated*
 Y_n = *Mean of reduced variated*

2. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T S \dots\dots\dots(7)$$

Dengan:

$$X_T$$
 = Curah hujan rencana (mm/hari)
 $\bar{X}$ = Curah hujan rencana (mm/hari)
 S = Standar deviasi
 K_T = Faktor frekuensi
3. Distribusi Log Normal

$$\log X_T = \log \bar{X} + K_T \cdot S \dots\dots\dots(8)$$

$$X_T$$
 = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari)
 S = Standar deviasi
 $\bar{X}$ = Curah hujan rencana (mm/hari)
 K_T = Faktor frekuensi
4. Distribusi Log Pearson III

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} \dots\dots\dots(9)$$

Dengan:

$$X_T$$
 = Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm/hari)
 X = Nilai rata-rata
 S = Standar deviasi
 n = Jumlah pengamatan
 Cs = Koefisien kemencengan

E. Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian distribusi bertujuan memastikan model probabilitas cocok dengan data curah hujan (Ruhiat, 2022). Proses ini umumnya dilakukan menggunakan dua metode utama, yaitu:

1. Uji Chi-Kuadrat

$$X_h^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(10)$$

Dengan:

$$X_h^2$$
 = Parameter chi-kuadrat
 O_i = Nilai pengamatan
 E_i = Nilai teoritis
2. Uji *Smirnov-Kolmogorov*

$$\Delta_{Max} = |Pe - Pt| \dots\dots\dots(11)$$

Dengan:

$$\Delta_{Max}$$
 = Selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis
 Pe = Peluang empiris dari data hujan
 Pt = Peluang teoritis dari data perhitungan menggunakan

persamaan distribusi

F. Intensitas Curah Hujan

Jumlah air hujan yang turun selama periode waktu tertentu dan terkumpul dikenal sebagai intensitas curah hujan. (Karangan, 2019). Analisis intensitas tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan data curah hujan yang telah tercatat pada periode sebelumnya.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(12)$$

Dengan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
 R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
 t = Lamanya curah hujan (jam)

G. Curah Hujan Jam-Jaman

Persentase keseluruhan curah hujan yang secara langsung memengaruhi terbentuknya limpasan, baik di permukaan maupun pada lapisan bawah tanah, disebut sebagai curah hujan *netto* (Chandra Sari et al., 2017). Menurut perkiraan, proses di mana curah hujan diubah menjadi limpasan berlangsung secara linear dan tetap konstan sepanjang waktu (Harisuseno & Bisri, 2017). Berdasarkan hal tersebut, hujan *netto* R_n dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R_{netto} = C \cdot I \dots\dots\dots(13)$$

Dengan:

R_{netto} = Hujan netto (mm)
 C = Koefisien pengaliran
 I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

H. Debit Banjir Rencana

Aliran air yang mengalir melalui sungai atau bangunan air lainnya dalam periode pengembalian tertentu (T), atau jumlah waktu tipikal yang dibutuhkan agar pelepasan tertentu terjadi, diperkirakan berdasarkan debit yang dimaksud (Qr) (Sujendra et al., 2024). Penghitungan debit banjir rencana dilakukan melalui tiga metode pendekatan, yaitu:

1. Metode Rasional

$$Q = 0.278 C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots(14)$$

2. Metode HSS Nakayasu

$$Q_p = \frac{A \cdot R_0}{(0.3 T_p + T_{0.3})} \dots\dots\dots(15)$$

3. Metode Weduwen

$$Q_n = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A \dots\dots\dots(16)$$

I. Analisa Hidrolika

Hidrolika merupakan ilmu yang mempelajari perilaku air dalam kondisi diam maupun bergerak, dan menjadi dasar penting dalam perancangan berbagai struktur hidrolis seperti bendungan dan saluran irigasi (Yunianta & Wijaya, 2025). Sebagai bagian dari hidromekanika, analisis hidrolika melibatkan prinsip konservasi massa, energi, dan momentum yang dituangkan dalam bentuk persamaan matematis. Karena tidak semua permasalahan aliran fluida dapat diselesaikan secara analitis, maka diperlukan pengamatan atau eksperimen. Namun, pengamatan langsung di lapangan seringkali memerlukan biaya dan waktu besar, sehingga solusi alternatifnya adalah dengan menggunakan model miniatur (Ramlan, 2024).

J. Software HEC-RAS

Hydrologic Engineering Center (HEC), sebuah unit dari *US Army Corps of Engineers* menciptakan perancangan model hidrolis satu dimensi HEC-RAS. Program ini dibuat guna mensimulasikan aliran air pada saluran terbuka, seperti sungai, kanal, dan saluran irigasi. Dengan tingkat akurasi dan efisiensi yang tinggi, HEC-RAS dapat memprediksi aliran tetap (*steady flow*) dan tidak tetap (*unsteady flow*). Selain itu, perangkat lunak ini juga memungkinkan analisis berbagai kondisi aliran, termasuk perhitungan profil muka air, identifikasi area rawan genangan, serta evaluasi kapasitas saluran dan struktur air seperti bendung atau jembatan (Latif & Hakim, 2025).

K. Analisa Stabilitas

Stabilitas bendung sangat penting dalam perencanaan bangunan air karena menyangkut keselamatan struktur dan dampaknya bagi lingkungan sekitar. Bendung harus mampu menahan berbagai beban, termasuk gaya hidrostatik, gaya *uplift*, dan gaya gempa. Penilaian kestabilan dilakukan secara analitik guna menghindari terjadinya kegagalan berupa guling (*overturning*), geser (*slip*), serta keruntuhan kapasitas daya dukung tanah (*bearing capacity*) (Susanto, 2024).

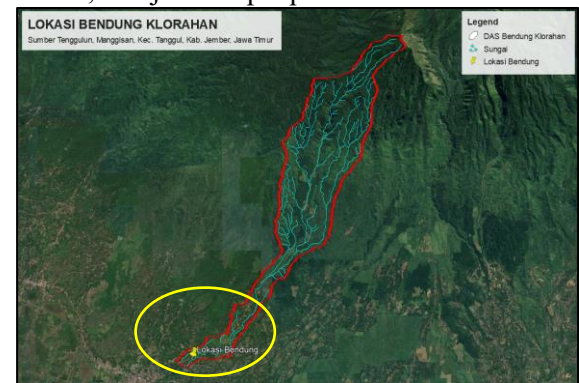
L. Software GEO5

GEO5 adalah perangkat lunak geoteknik buatan *Fine Software* (Republik Ceko) yang terdiri dari berbagai modul terintegrasi untuk menganalisis permasalahan geoteknik, seperti stabilitas lereng, daya dukung tanah, dinding penahan, pondasi, deformasi, dan konsolidasi tanah. Program ini mendukung baik metode numerik maupun konvensional dalam proses analisis (Anwar, 2025).

3. METODOLOGI

A. Lokasi Penelitian

Bendung Klorahan di Desa Sumber Tenggulun, Kecamatan Manggis, Kecamatan Tanggul, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur, menjadi tempat penelitian ini dilakukan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: *Google Maps*, 2025

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data memegang peranan krusial dalam suatu studi, karena kelengkapan data yang diperoleh akan berpengaruh langsung terhadap tingkat akurasi hasil analisis. Data yang dikumpulkan harus mampu merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Berikut disajikan data yang dibutuhkan untuk mendukung proses analisis perencanaan selama pelaksanaan studi.

1. Data primer

Data primer meliputi data topografi, data sifat tanah, serta dokumentasi terkait bendung.

2. Data sekunder

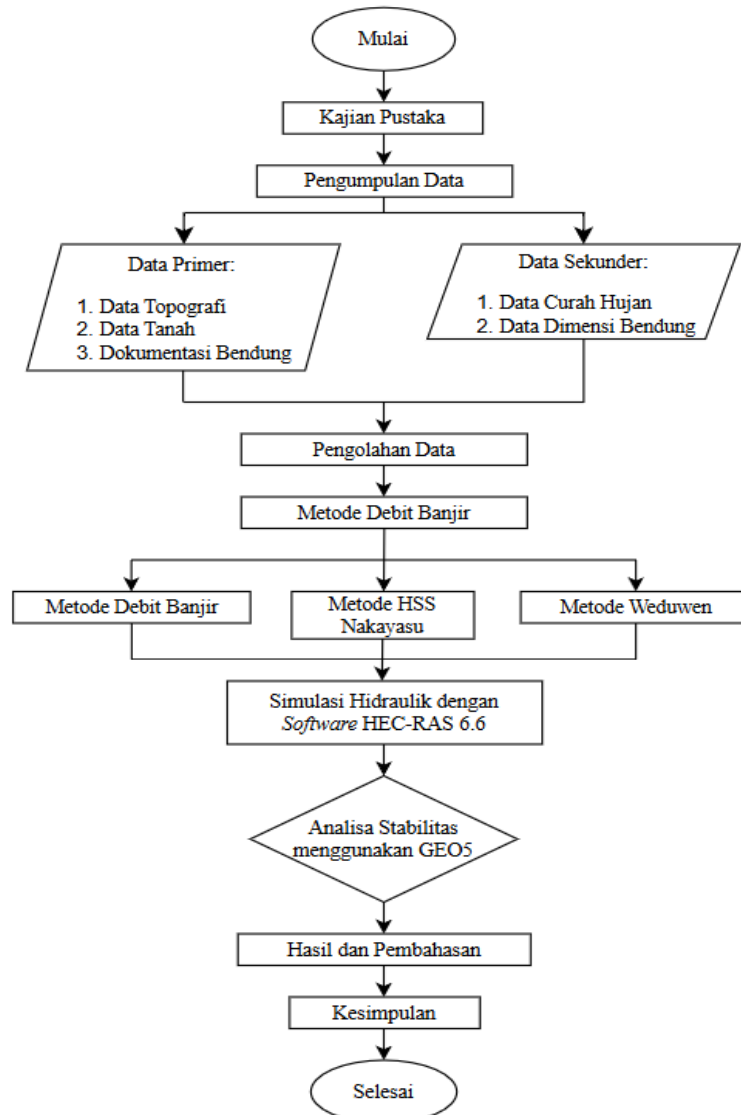
Data sekunder meliputi data curah hujan serta data mengenai dimensi bendung.

C. Metode Analisa dan Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan tiga pendekatan dalam perhitungan debit banjir yakni metode Rasional, HSS Nakayasu, serta metode Weduwen, yang masing-masing

memiliki ciri khas dan asumsi tersendiri dalam memodelkan respons aliran terhadap curah hujan. Proses analisis dari setiap tahapan tersebut disajikan secara visual dalam Gambar 4.

D. Diagram Alur Penelitian



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian
 Sumber: Data Penelitian, 2025

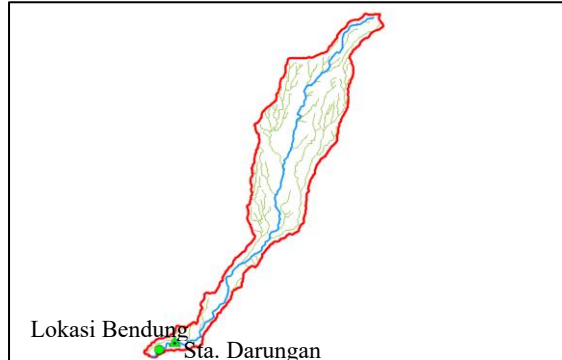
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Daerah Aliran Sungai

Daerah tangkapan air yang terletak di hulu Sungai Tengah, mengalir langsung menuju Bendung Klorahan, memiliki sejumlah karakteristik fisik dan lingkungan yang

berperan penting dalam menentukan perilaku aliran air. Faktor-faktor seperti luas wilayah, kemiringan dan bentuk topografi, pola penggunaan lahan, serta sifat dan jenis tanah menjadi penentu utama terhadap besarnya volume limpasan dan kecepatan aliran permukaan yang menuju bendung. Berdasarkan

hasil perhitungan, total luas DAS di kawasan ini mencapai sekitar 29,01 km², menunjukkan wilayah yang memengaruhi aliran air bendung.



Gambar 3. Daerah Aliran Sungai Tengah
Sumber: ArcGIS, 2025

B. Uji Konsistensi Data

Dalam penelitian ini, konsistensi data curah hujan dianalisis dengan menerapkan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Data yang diperoleh dari Stasiun Curah Hujan Darungan, yang berada di wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Klorahan, telah dilakukan pengujian. Hasil perhitungan curah hujan rata-rata disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Curah Hujan Rerata

Tahun	Xmax (mm)	Xi (mm)
2014	97	158
2015	120	150
2016	150	148
2017	145	145
2018	145	145
2019	145	145
2020	148	128
2021	128	126
2022	126	120
2023	158	97

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Tabel 2 menyajikan hasil uji konsistensi data curah hujan yang dianalisis menggunakan metode RAPS.

Tabel 2. Hasil pengujian konsistensi data menggunakan Metode RAPS

α	$Q/\sqrt{n}$	$R/\sqrt{n}$	Keterangan
1%	1.29	1.38	Data Konsisten
5%	1.14	1.28	Data Konsisten

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

C. Uji Dispersi Distribusi Curah Hujan

Analisis dispersi digunakan untuk memahami pola sebaran dan tingkat variasi data curah hujan, serta membantu dalam menentukan distribusi probabilitas yang paling sesuai untuk analisis frekuensi. Standar deviasi, koefisien variasi (Cv), *skewness* (Cs), serta koefisien kurtosis (Ck) merupakan beberapa faktor yang diteliti dan berkontribusi dalam mengkarakterisasi fitur bentuk keseluruhan distribusi data. Tabel 3 memberikan evaluasi distribusi Gumbel, Normal, Log Normal, dan Log Pearson Tipe III sebagai dasar pemilihan metode yang paling efektif untuk menentukan debit banjir yang diantisipasi.

Tabel 3. Hasil Uji Dispersi Distribusi Curah Hujan

Dispersi	Hasil Dispersi			
	Gumbel	Normal	Log Normal	Log Pearson III
Cs	-1.124	-1.124	-0.009	-0.009
S	18.281	18.281	0.063	0.063
Cv	0.134	0.134	0.030	0.030
Ck	3.414	3.414	5.778	5.778

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Berikut ini disajikan perbandingan antar metode berdasarkan kriteria distribusi yang tercantum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Distribusi berdasarkan Syarat

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
Gumbel	Cs = 1.13	-1.124	Tidak Memenuhi
	Ck = 5.40	3.414	Tidak Memenuhi
Log Normal	Cs = 0.087	-0.009	Tidak Memenuhi
	Ck = 3.01	5.778	Tidak Memenuhi
Normal	Cs = 0		Tidak Memenuhi
	Ck = 3	-1.124	Tidak Memenuhi
Log Pearson III	Cs $\neq$ 0	3.414	Tidak Memenuhi
	Ck $\neq$ 0	-0.009	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

D. Uji Kesesuaian Distribusi

Uji kesesuaian distribusi merupakan langkah penting dalam analisis hidrologi untuk menilai seberapa baik model probabilitas

mencerminkan data curah hujan yang diamati. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa pemilihan model didasarkan pada data empiris, bukan hanya berdasarkan teori semata. Dua metode statistik, *Smirnov-Kolmogorov* dan Chi-Square, digunakan dalam pekerjaan ini untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian antara distribusi teoritis dan data aktual.

1. Uji Chi-Kuadrat

Hasil pengujian distribusi data melalui metode chi-kuadrat disajikan pada Tabel 5. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian pola distribusi data dengan distribusi teoritis yang telah ditetapkan.

Tabel 5. Hasil Uji Chi-Kuadrat

Distribusi Probabilitas	X^2_{Hitung}	X^2_{Kritis}	Keterangan
Gumbel	3.6	< 3.841	Diterima
Normal	1.2	< 3.841	Diterima
Log Normal	1.2	< 3.841	Diterima
Log Pearson III	1.2	< 3.841	Diterima

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Hasil uji menunjukkan bahwa seluruh distribusi memiliki nilai X^2 hitung di bawah batas kritis 3,841, sehingga secara statistik keempatnya dinyatakan sesuai untuk merepresentasikan data curah hujan.

2. Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Tabel 6. di bawah menampilkan Hasil pengujian distribusi data menggunakan metode *Smirnov-Kolmogorov*:

Tabel 6. Hasil Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Distribusi Probabilitas	Δ_{Max}	Δ_{Kritis}	Keterangan
Gumbel	0.760	> 0.409	Tidak Diterima
Normal	9.294	> 0.409	Tidak Diterima
Log Normal	0.481	> 0.409	Tidak Diterima
Log Pearson III	0.233	< 0.409	Diterima

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Hasil uji menunjukkan hanya distribusi Log Pearson III yang memenuhi kriteria statistik dengan Δ_{Max} 0.233 < Δ_{kritis} 0.409. Sementara itu distribusi Gumbel sebesar 0.760, Normal sebesar 9.294, dan Log Normal sebesar 0.481 tidak memenuhi syarat karena nilai Δ_{Max} melebihi batas tersebut.

E. Distribusi Hujan Jam-Jaman

Pendekatan Dr. Mononobe, variasi dari rumus curah hujan durasi pendek, digunakan untuk menentukan intensitas curah hujan. Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Intensitas Hujan

t (Jam)	Kala Ulang (Tahun)						
	2	5	10	20	25	50	100
1	46.79	52.89	56.39	59.68	60.37	63.09	65.63
2	29.48	33.32	35.52	37.60	38.03	39.74	41.34
3	22.50	25.43	27.11	28.69	29.02	30.33	31.55
4	18.57	20.99	22.38	23.69	23.96	25.04	26.05
5	16.00	18.09	19.28	20.41	20.64	21.57	22.45
6	14.17	16.02	17.08	18.08	18.28	19.11	19.88

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Dalam penentuan curah hujan efektif serta perhitungan debit banjir, digunakan data curah hujan per jam diperiksa menggunakan distribusi Mononobe untuk mengkarakterisasi fluktuasi intensitas curah hujan. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Distribusi Hujan Jam-Jaman

t	Rt 1 Jam - an (mm/Jam)						
	2	5	10	20	25	50	100
1	46.79	52.89	56.39	59.68	60.37	63.09	65.63
2	64.11	72.46	77.25	81.77	82.70	86.43	89.92
3	43.44	49.10	52.35	55.41	56.04	58.57	60.93
4	34.27	38.74	41.30	43.71	44.21	46.21	48.07
5	28.84	32.59	34.75	36.78	37.20	38.88	40.45
6	25.16	28.44	30.32	32.09	32.46	33.921	35.29

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Setelah perhitungan selesai, data curah hujan efektif diproses menggunakan hasil curah hujan per jam. Tabel 9 menampilkan hasil investigasi curah hujan efektif.

Tabel 9. Curah Hujan Efektif

C	Rt 1 Jam - an (mm/Jam)						
	2	5	10	20	25	50	100
0.11	5.07	5.73	6.11	6.47	6.54	6.84	7.11
0.11	6.95	7.85	8.37	8.86	8.96	9.36	9.74
0.11	4.71	5.32	5.67	6.00	6.07	6.35	6.60
0.11	3.71	4.20	4.47	4.74	4.79	5.01	5.21
0.11	3.12	3.53	3.77	3.99	4.03	4.21	4.38
0.11	2.73	3.08	3.29	3.48	3.52	3.68	3.82

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

F. Debit Banjir Rencana

Penelitian ini menganalisis debit banjir rencana dengan menggunakan berbagai metode perhitungan, yaitu sebagai berikut:

1. Metode Rasional

Metode Rasional diterapkan guna menentukan debit puncak pada DAS yang berukuran kecil hingga sedang, dengan asumsi bahwa curah hujan tersebar secara merata. Proses perhitungan melibatkan koefisien limpasan, intensitas hujan, serta luas DAS, menghasilkan estimasi debit banjir sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rancangan Menggunakan Metode Rasional

Periode Ulang (Tahun)	C	I (mm/jam)	A (Km ²)	Q (m ³ /s)
2	0.11	26.07	29.01	22.78
5	0.11	29.46	29.01	25.75
10	0.11	31.41	29.01	27.45
20	0.11	33.25	29.01	29.05
25	0.11	33.63	29.01	29.39
50	0.11	35.14	29.01	30.71
100	0.11	36.56	29.01	31.95

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

2. Metode HSS Nakayasu

Metode HSS Nakayasu dipilih sebagai pendekatan utama dalam memperkirakan debit banjir rencana karena dinilai mampu merepresentasikan respons hidrologi DAS

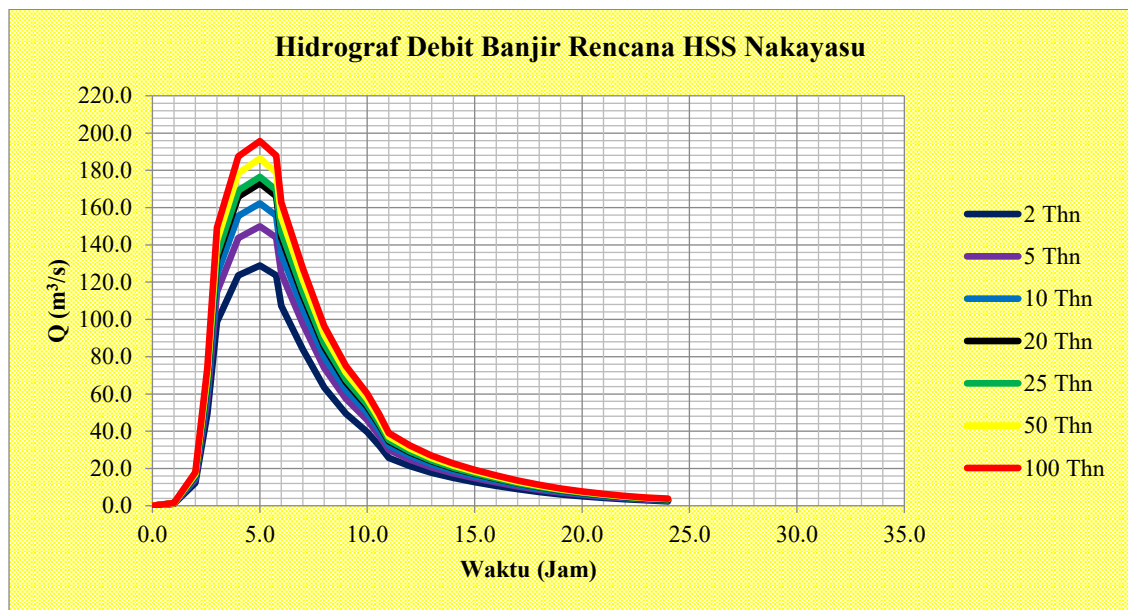
terhadap hujan efektif. Hasil perhitungannya digunakan sebagai dasar evaluasi perencanaan bendung dan ditampilkan pada Tabel 11. Pendekatan ini dianggap memberikan estimasi yang lebih realistis dibanding metode lain karena mempertimbangkan karakteristik fisik wilayah tangkapan air secara menyeluruh.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rancangan Menggunakan Metode HSS Nakayasu

Kala Ulang (Tahun)	Q (m ³ /s)
2	128.92
5	149.94
10	162.25
20	173.04
25	176.49
50	186.35
100	195.67

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Pola hidrograf banjir yang menunjukkan bagaimana DAS bereaksi terhadap curah hujan dihasilkan berdasarkan perhitungan yang diringkas menggunakan metode Nakayasu HSS. Gambar 4 menunjukkan karakteristik hidrograf yang dihasilkan, meliputi debit banjir puncak, waktu konsentrasi, dan waktu surut.



Gambar 4. Daerah Aliran Sungai Tengah
Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

3. Metode Weduwen

Debit banjir rencana menggunakan metode Weduwen ditentukan berdasarkan hubungan empiris antara intensitas curah hujan dan luas daerah aliran sungai (DAS) dan disesuaikan dengan karakteristik hidrologi Indonesia, disajikan dalam Tabel 12 untuk periode ulang 2 sampai dengan 100 tahun.

Tabel 12. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rancangan Metode Weduwen

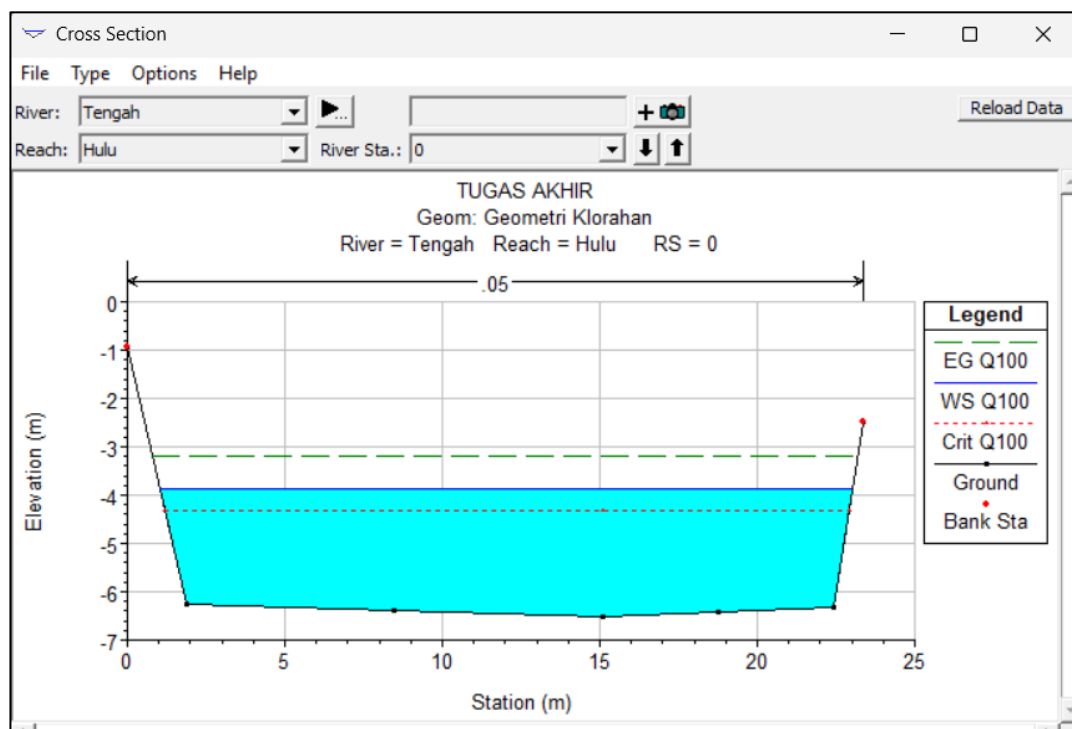
No.	Periode Ulang (Tahun)	Rn (mm)	Q (m ³ /s)
1	2	134.98	335.29
2	5	152.56	378.97
3	10	162.64	404.01
4	20	172.16	427.64
5	25	174.12	432.53
6	50	181.97	452.02
7	100	189.31	470.25

Sumber: Hasil Perhitungan, 2025

Analisis menunjukkan variasi besar debit banjir dari tiga metode, yaitu Rasional sebesar 31.95 m³/s, HSS Nakayasu 195.67 sebesar m³/s, dan Weduwen sebesar 470.26 m³/s. HSS Nakayasu dipilih karena paling sesuai dengan karakteristik DAS dan memberikan estimasi paling realistis.

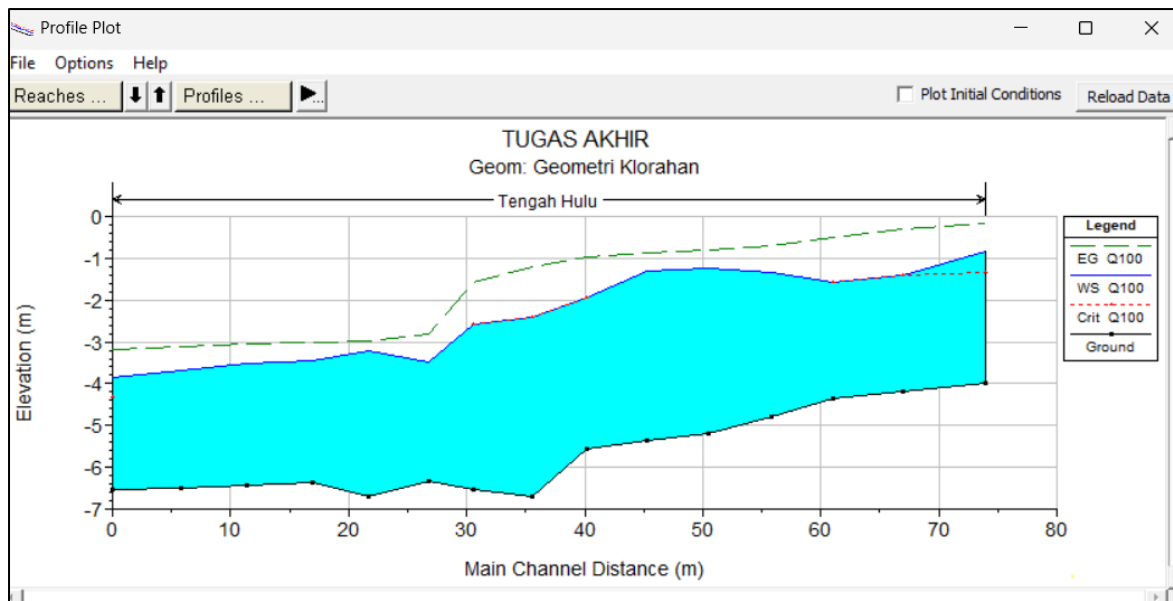
G. Simulasi Hidraulik dengan *Software* HEC-RAS

Pemodelan aliran pada Bendung Klorahan dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.6 untuk memperkirakan elevasi muka air saat debit puncak serta menilai kapasitas sungai dan bendung dalam mengalirkan debit tersebut. Simulasi dijalankan dengan memanfaatkan data geometri sungai. Hasil model, yang ditampilkan dalam bentuk profil muka air, menunjukkan adanya potensi limpasan di beberapa lokasi, yang dapat memengaruhi kinerja maupun stabilitas keseluruhan struktur bendung.



Gambar 4. Muka Air Banjir pada Salah Satu *Cross Section*

Sumber: HEC-RAS, 2025



Gambar 5. Muka Air Banjir pada Profil Memanjang
Sumber: HEC-RAS, 2025

H. Perhitungan Hidraulik

Penelitian ini mengevaluasi ketahanan bendung terhadap debit banjir rencana, dengan fokus pada mercu tetap, pelimpah, dan bangunan pendukung, menggunakan metode HSS Nakayasu:

- Lebar Bendung = 28 m
- Lebar 2 Pintu Pembilas = 1.6 m
- Tebal Pilar Pintu Pembilas = 0.6 m
- K_p = 0.01
- K_a = 0.01
- Debit Banjir (Q100) = 195.67 m³/s
- Tinggi Mercu = 2.5 m
- Elevasi Mercu = 71.5 m
- Gravitasi = 9.81 m/s
- Koefisien Debit = 1.260

Setelah data dikumpulkan, dilakukan analisis hidrologi, pemilihan metode debit banjir, simulasi hidraulik, dan evaluasi stabilitas struktur sesuai standar teknis guna menghasilkan dasar perencanaan bendung yang akurat.

- Bp Total = (2 x 1.6) = 3.2 m
- Tp Total = (2 x 0.6) + 0 = 1.2 m
- Lebar Mercu (Bm):
= B - (Bp Total + Tp Total)

$$= 28 - (3.2 + 1.2) \\ = 23.6 \text{ m}$$

- Lebar Efektif Bendung (B_e):
= $B_m - (2 \times (n \times K_p + K_a) \times H_1)$
= $23.6 - (2 \times (2 \times 0.01 + 0.01) \times 2.471)$
= 23.5 m
- Q
= $C_d \times 2/3 \times (2/3 \times g)^{1/2} \times B_e \times H_1^{3/2}$
= $(1.26 \times 0.66 \times (0.66 \times 9.81^{0.5}) \times 2.47^{1.5})$
= 195.68 m³/s (**Oke**)
- q
= Q / B_e
= $195.67 / 23.45$
= 8.34 m³/s'.m
- V
= $q / (P + H_1)$
= $8.34 / (2.47 + 2.5)$
= 1.68 m/s
- H_{a1}
= $V^2 / 2g$
= $1.68^2 / (2 \times 9.81)$
= 0.14 m
- H_d
= $H_1 - H_{a1}$
= $2.47 - 0.14$
= 2.33 m
- H_c
= $(q / g)^{2/3}$
= $(8.34 / 9.81)^{0.66}$
= 0.90 m

Perencanaan bendung menggunakan mercu Ogee nomor 4 dengan kemiringan 1:1, disesuaikan dengan kondisi aliran sungai. Diperoleh koefisien aliran $K = 1,873$ dan eksponen $n = 1,776$, yang menunjukkan

efisiensi mercu dalam mengalirkan debit, serta menjadi dasar desain menghadapi banjir maksimum.

- Jari-jari (R) = $0.45 \times H_d$
= 1.05 m
- Jarak R = $0.119 \times H_d$
= 0.28 m
- $X^{1.776} = 1.873 \times H_d^{0.776} \times Y$
= $3.61 \times Y$
- $Y = \frac{1}{3.61} \times X^{1.776}$
= $\frac{3.61}{1.776} \times X^{0.776}$

Kemiringan di hilir bendung direncanakan 1:0.67, maka:

- $Y' = \tan \theta$
- $Y' = 1.43$
- $1.43 = \frac{1.776}{3.61} \times X^{0.776}$
- $X^{0.776} = 0.70$
- $X = 0.64$
- $Y = \frac{1}{3.61} \times 0.64^{1.776}$
= 0.12 m

Perencanaan kolam loncat air bertujuan meredam energi aliran setelah mercu. Tipe Vlugter dipilih karena sesuai dengan kondisi aliran dan saluran hilir.

- Energi air banjir (H_1):
= 2.47 m
- Elevasi mercu = 71.5 m
- Elevasi kolam loncat = 68 m
- Beda tinggi (Z) = (Elv. Mercu – elv. Kolam loncat air)
= (71.5 – 68)
= 3.5 m
- Kecepatan awal loncatan (V_1):
= $(2g (1/2 H_1 + Z))^{1/2}$
= $(2 \times 10) \times (0.5 \times 2.47 + 3.5)^{0.5}$
= 5.31 m/s

- Tinggi air pada titik V_1 (Y_u):
 $Q = A \times V_1$
= $b \times h \times V_1$
 $h (Y_u) = Q / (b \times V_1)$
= $195.67 / (28 \times 5.31)$
= 1.32 m
- Kedalaman konjugasi dalam loncat air (Y_2):
 $Fr = V_1 / (g \times Y_u)^{1/2}$
= $5.31 / (10 \times 1.32)^{0.5}$
= 1.46
 $Y_2 / Y_u = \frac{1}{2} ((1 + 8 \times Fr^2)^{1/2} - 1)$
= $0.5 \times ((1 + 8 \times 1.46^2)^{0.5} - 1)$
= 1.63
 $Y_2 = 1.63 \times 1.32$
= 2.15 m
- Perencanaan Kolam Olakan
Panjang Lantai Olakan (L_j):
= $2.7 \times Y_2$
= 2.7×2.15
= 5.79 m

Blok-blok penghalang (nj):

$$= Y_u \times (4 + Fr) / 6$$

Endsill (n) = $Y_u \times (18 + Fr) / 10$

$$= 1.32 \times (18 + 1.46) / 10$$

$$= 2.56 \text{ m}$$

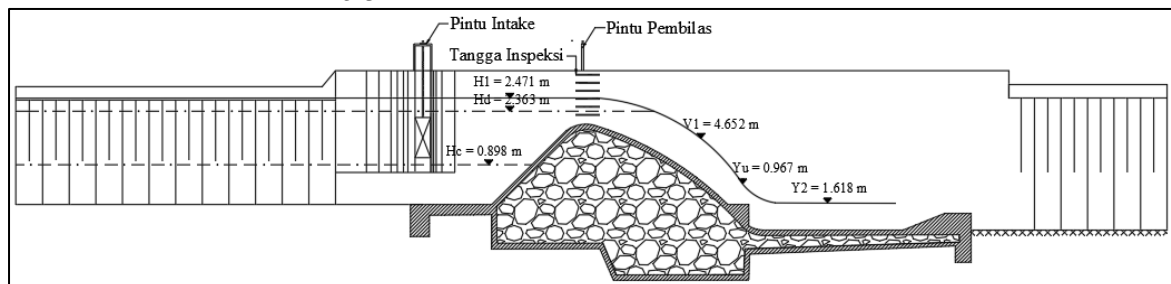
Jarak blok muka dengan blok tengah ($L_{j\text{blok}}$)

$$= 0.82 \times Y_2$$

$$= 0.82 \times 2.15$$

$$= 1.76 \text{ m}$$

Hasil perencanaan hidraulik menghasilkan dimensi dan elemen utama bendung yang disesuaikan dengan simulasi aliran serta debit banjir rencana. Tata letak dan bentuk geometris bangunan ditunjukkan dalam Gambar 6. berdasarkan hasil evaluasi teknis.



Gambar 6. Tampak Samping Bendung
Sumber: AutoCAD, 2025

I. Stabilitas Bendung dengan Software GEO5

Pemodelan bendung di GEO5 memuat data geometri, sifat mekanik tanah, serta beban gempa, dengan analisis pada kondisi aliran normal dan banjir. Selain itu, proses ini memungkinkan evaluasi menyeluruh terhadap perilaku struktur dalam berbagai skenario pembebanan untuk memastikan stabilitas dan keamanan bendung.

1. Kondisi air normal dengan gempa

Pada kondisi muka air normal, bendung pasangan batu memiliki faktor keamanan guling 14.80 dan geser 2.24, keduanya melebihi batas minimum 1.5.

Verification of complete wall	
Check for overturning stability	
Resisting moment M_{res}	= 6563.56 kNm/m
Overturning moment M_{ovr}	= 443.55 kNm/m
Safety factor = 14.80 > 1.50	
Wall for overturning is SATISFACTORY	
Check for slip	
Resisting horizontal force H_{res}	= 687.29 kN/m
Active horizontal force H_{act}	= 306.44 kN/m
Safety factor = 2.24 > 1.50	
Wall for slip is SATISFACTORY	
Overall check - WALL is SATISFACTORY	
Warning - allowable range of input data exceeded during earthquake analysis!	
The analysis is carried out with the modified value of terrain inclination β .	

Gambar 7. Hasil Evaluasi Stabilitas Terhadap Guling Dan Geser pada Kondisi Air Normal dengan Gempa
Sumber: GEO5, 2025

Hasil analisis menunjukkan faktor keamanan daya dukung tanah sebesar 34.10, jauh di atas batas minimum 2.00, menandakan tanah di lokasi bendung memiliki kapasitas dukung sangat baik dan aman menopang struktur, Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.

Verification of foundation soil	
Eccentricity verification	
Max. eccentricity of normal force e	= 0.000
Maximum allowable eccentricity e_{allv}	= 0.333
Eccentricity of the normal force is SATISFACTORY	
Verification of bearing capacity	
Max. stress at footing bottom σ	= 22.75 kPa
Bearing capacity of foundation soil R_d	= 776.00 kPa
Safety factor = 34.10 > 2.00	
Bearing capacity of foundation soil is SATISFACTORY	
Overall verification - bearing capacity of found. soil is SATISFACTORY	

Gambar 8. Hasil Evaluasi Stabilitas Terhadap Daya Dukung tanah pada Kondisi Air Normal dengan Gempa
Sumber: GEO5, 2025

2. Kondisi air banjir dengan gempa

Hasil analisis stabilitas pada kondisi muka air banjir menunjukkan bahwa bendung dari pasangan batu memiliki faktor keamanan terhadap guling sebesar 12.89 dan terhadap geser sebesar 1.87. Keduanya melebihi batas minimum 1.5, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 9.

Verification of complete wall	
Check for overturning stability	
Resisting moment M_{res}	= 6682.04 kNm/m
Overturning moment M_{ovr}	= 518.46 kNm/m
Safety factor = 12.89 > 1.50	
Wall for overturning is SATISFACTORY	
Check for slip	
Resisting horizontal force H_{res}	= 687.36 kN/m
Active horizontal force H_{act}	= 366.77 kN/m
Safety factor = 1.87 > 1.50	
Wall for slip is SATISFACTORY	
Overall check - WALL is SATISFACTORY	
Warning - allowable range of input data exceeded during earthquake analysis!	
The analysis is carried out with the modified value of terrain inclination β .	

Gambar 9. Hasil Evaluasi Stabilitas Terhadap Guling Dan Geser pada Kondisi Air Banjir dengan Gempa
Sumber: GEO5, 2025

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, faktor keamanan untuk daya dukung tanah ditemukan sebesar 33.61, jauh melebihi batas minimum 2.00.

Verification of foundation soil	
Eccentricity verification	
Max. eccentricity of normal force e	= 0.000
Maximum allowable eccentricity e_{allv}	= 0.333
Eccentricity of the normal force is SATISFACTORY	
Verification of bearing capacity	
Max. stress at footing bottom σ	= 23.09 kPa
Bearing capacity of foundation soil R_d	= 776.00 kPa
Safety factor = 33.61 > 2.00	
Bearing capacity of foundation soil is SATISFACTORY	
Overall verification - bearing capacity of found. soil is SATISFACTORY	

Gambar 10. Hasil Evaluasi Stabilitas Terhadap Daya Dukung tanah pada Kondisi Air Banjir dengan Gempa
Sumber: GEO5, 2025

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil studi ini, yang diperoleh melalui pengolahan data, analisis, dan pembahasan, menunjukkan:

- Hasil analisis menunjukkan bahwa debit banjir rencana sebesar 32.93 m³/s diperoleh dari metode Rasional, 195.67 m³/s dari metode HSS Nakayasu, dan 470.26 m³/s

dari metode Weduwen. Di antara ketiganya, metode HSS Nakayasu dianggap paling relevan karena lebih mencerminkan kondisi fisik DAS secara komprehensif.

2. Simulasi hidraulik menggunakan HEC-RAS 6.6 dengan debit metode Nakayasu menunjukkan bahwa penampang sungai dapat mengalirkan banjir secara efisien, dengan elevasi muka air dan kecepatan aliran menjadi dasar dalam merancang pelimpah untuk mencegah limpasan.
3. Analisis stabilitas menggunakan *software* GEO5 mengindikasikan bahwa struktur bendung masih dalam kondisi aman terhadap gaya guling, geser, dan kemampuan dukung tanah, dengan nilai faktor keamanan yang melampaui batas minimal yang ditetapkan, baik pada kondisi normal maupun saat terjadi gempa dan banjir.

B. Saran

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, penulis mengajukan beberapa saran untuk menjadi pertimbangan dalam penelitian berikutnya:

1. Untuk mendapatkan perbandingan yang lebih menyeluruh mengenai karakteristik daerah aliran sungai yang berbeda, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji metode lain dalam perhitungan debit banjir, seperti *Snyder*, SCS, atau pemodelan hidrologi modern berbasis *software* seperti SWAT dan HEC-HMS.
2. Penelitian selanjutnya disarankan memanfaatkan data curah hujan *real-time* atau satelit yang lebih akurat guna meningkatkan ketelitian estimasi debit banjir serta adaptif terhadap perubahan iklim dan kejadian ekstrem.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, M. 2025. Evaluasi Stabilitas Lereng Dan Dinding Pada Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pelimpah Bendungan Jragung Jawa Tengah. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Badrun, B. Zulharnah, H. R. Sukri, A. S. Rustan, F. R. Sari, D. P. dan Bungin, E. R.

2023. *Perencanaan Infrastruktur Sumber Daya Air*. CV. Tohar Media. Makassar.

- Chandra Sari, Y. Suripin, S. dan J Kodoatie, R. 2017. Pendugaan Limpasan Permukaan dengan Modifikasi Parameter Metode *Soil Conservation Service Curve Number* (SCS-CN). Tesis. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Harisuseno, D. dan Bisri, M. 2017. *Limpasan Permukaan secara Keruangan: Spatial Runoff*. Universitas Brawijaya Press. Malang.
- Jaya, I. E. E. 2024. *Pengembangan sumber daya air*. Umus Press. Brebes.
- Karangan, R. 2019. Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Kapasitas Infiltrasi Tanah Kampus FT-UH Gowa. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Latif, F. dan Hakim, A. 2025. Utilization Of Hec-Ras 2d For Flood Influence Modeling Due To Peak Discharge Of Walanae River In Wajo District. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*. 13 (1) : 1529-1539.
- Marta, S. D. Suhartanto, E. dan Fidari, J. S. 2023. Validasi Data Curah Hujan Satelit dengan Data Stasiun Hujan di DAS Ngasinan Hulu, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*. 3 (1) : 35-45.
- Muliantara, A. ER, N. A. S. dan Widiartha, I. M. 2015. Perancangan Alat Ukur Ketinggian Curah Hujan Otomatis Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Ilmu Komputer*. 8 (2) : 31-37.
- Paramadita, T. D. 2025. Analisis Perhitungan Debit Banjir Rancangan Untuk Perencanaan Pembangunan Bendungan Cabelan Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Pramesty, R. A. dan Dwi, R. A. A. 2023. Analisis Debit Banjir Rencana Dengan Metode Hss Nakayasu Pada Bendungan Jragung Kabupaten Semarang. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
- Ramlan, R. 2024. Simulasi Hidrolik Perubahan Desain Bangunan Pengambilan

- Bendungan Jragung Kabupaten Semarang.
Tesis. Fakultas Teknik Universitas Islam
Sultan Agung Semarang.
- Ruhiat, D. 2022. Implementasi Distribusi
Peluang Gumbel Untuk Analisis Data
Curah Hujan Rencana. *Teorema: Teori
Dan Riset Matematika*. 7 (1) : 213-224.
- Alkayatni, S. A. 2025. Pemodelan Angkutan
Sedimen Dasar Di Saluran Primer Di
Maloso Menggunakan Software Hec-Ras.
Tesis. Fakultas Teknik Universitas
Sulawesi Barat.
- Sujendra, I. N. E. Yamin, M. dan Aminullah, A.
2024. Analisa Debit Rencana Bendung
Jangkok. *Al-Aqlu: Jurnal Matematika,
Teknik Dan Sains*. 2 (2) : 93-102.
- Susanto, T. A. 2024. Analisis Pengaruh Beban
Gempa Dan Fluktuasi Muka Air Terhadap
Rembesan Dan Deformasi Bendungan
Jatibarang. Tesis. Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung
Semarang.
- Wangsa, A. A. R. R. Suryatmaja, I. B. dan
Andini, A. A. M. P. 2023. Analisis
Hidrologi Rancangan Menggunakan
Metode Rasional Pada Saluran Drainase
Di Kelurahan Sumerta Kelod Kota
Denpasar. *Ganec Swara*. 17 (2) : 607-616.
- Yunianta, A. dan Wijaya, F. 2025. *Hidrolika
Lanjut*. Tohar Media. Makassar.
- Zahrani, N. Suhartanto, E. dan Andawayanti, U.
2025. Penerapan Metode Nreca Untuk
Estimasi Debit Menggunakan Data Curah
Hujan Chirps Di Das Rejoso. *Jurnal
Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya
Air*. 5 (2) : 1229-1240.
- Zain, M. N. Suryo, E. A. dan Munawir, A. 2015.
Analisis Stabilitas Lereng Embung
Dengan Menggunakan Kombinasi
Dinding Penahan Kantilever Dan
Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat
Lunak. Tesis. Fakultas Teknik Universitas
Brawijaya.