Indonesian Journal of Civil Engineering Study
Universitas Semarang
E-ISSN: 3110-0376
Journal homepage: https://journals.usm.ac.id/index.php/ijces

Analisis Perkuatan Tebing dan Normalisasi Sungai Wulan Sebagai Pengendali Banjir di Wilayah Kabupaten Kudus

Alfirda Annie Mumpuni [a]*, Istianah [b], Moch. Sediono [c]
[a, b,c] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Soekarno-Hatta, Tlogosari, Semarang
**Corresponding author, e*mail: alfirdamumpuni@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:
Received November 26, 2025
Revised October 10, 2026
Accepted October 13, 2026
Available online October 15, 2026

Keywords:
Wulan River
Flood Control
River Normalization
Slope Reinforcement
HSS Nakayasu

ABSTRACT

Kudus Regency frequently experiences flooding due to the overflow of the Wulan River. This problem is caused by the river's inadequate capacity due to high rainfall, sedimentation, and channel narrowing, as well as critical bank conditions prone to landslides. This study aims to analyze integrated river normalization and slope reinforcement as a flood control solution. The methodology includes hydrological analysis to calculate the Q25 design flood discharge and hydraulic analysis to evaluate the existing capacity and the planned normalization. The hydrological analysis used 10 years of rainfall data (2015-2024) from the Jatisari Station. The flood discharge was calculated using the Synthetic Unit Hydrograph (HSS) Nakayasu method based on the Log Pearson Type III rainfall distribution analysis, which was selected after goodness-of-fit testing. Geotechnical analysis was conducted to verify the stability of the planned gabion (bronjong) slope reinforcement using Rankine's theory. The results show the Q25 design flood discharge is 21,327.426 m³/sec. The existing channel capacity (B=80 m, H=7.78 m) is only 16,426.96 m³/sec, making it incapable of accommodating the Q25 flood. The normalization plan (B=80 m, H=10 m, m=3) increases the capacity to 34,169.47 m³/sec, which is deemed safe. The 7-meter high gabion slope reinforcement design was also declared safe against overturning (FS = 15.49 > 2) and sliding (FS = 3.29 > 1.5).

© 2026 IJCES. Publishing Services by Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Semarang.

1. Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara beriklim tropis, memiliki tingkat curah hujan tinggi yang menempatkan banyak wilayah pada risiko bencana hidrometeorologi, salah satunya adalah banjir. Wilayah pesisir utara Jawa (Pantura), termasuk Kabupaten Kudus, merupakan salah satu area yang paling rentan terdampak (Wibowo et al., 2022). Sungai Wulan, yang memegang peranan vital dalam sistem drainase regional, justru menjadi sumber utama permasalahan banjir di wilayah tersebut. Peristiwa banjir besar yang terjadi secara berulang, seperti pada awal tahun 2024 yang merendam puluhan desa dan melumpuhkan Jalur Pantura, merupakan bukti nyata dari urgensi penanganan Sungai Wulan (Utami et al., 2024). Masyarakat sering mengeluh akibat banjir dari Sungai Wulan karena merugikan masyarakat seperti kemacetan, menurunya perekonomian, dan menimbulkan penyakit (Rahmadani, 2024). Menurut Zevri (20200, permasalahan banjir merupakan hal penting yang harus segera ditangani.

Permasalahan yang terjadi bersifat multidimensional. Dari aspek hidrologi, curah hujan ekstrem di hulu menghasilkan debit puncak yang besar. Dari aspek hidrolika dan morfologi, Sungai Wulan mengalami pendangkalan parah, penyempitan alur, dan pembentukan meander yang menghambat aliran, menyebabkan kapasitas tampung sungai tidak lagi memadai (Rahmawati et al., 2021). Selain itu, dari aspek geoteknik, tebing Sungai Wulan yang

This is an open acces article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

tersusun dari material aluvial dalam kondisi kritis, rawan erosi progresif dan kelongsoran, mengancam infrastruktur vital di sempadan sungai.

Penanganan banjir yang efektif menuntut pendekatan rekayasa terintegrasi (Priyantoro et al., 2022). Berbagai studi telah menganalisis komponen-komponen ini secara terpisah, seperti analisis frekuensi hidrologi (Soewarno, 1995) atau analisis stabilitas lereng (Hardiyatmo, 1994). Namun, dalam rekayasa sungai modern menekankan perlunya integrasi, sebagaimana yang dilakukan dalam penelitian ini. Penelitian ini menggabungkan analisis hidrologi, hidrolika, dan geoteknik untuk menghasilkan sebuah model penanganan yang komprehensif. Kebaruan ilmiah terletak pada penerapan model terpadu normalisasi alur dan perkuatan tebing bronjong sebagai solusi spesifik untuk karakteristik Sungai Wulan, yang dapat dijadikan rekomendasi teknis bagi pemangku kebijakan (Kurniawan & Prasetyo, 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung besaran debit banjir rencana kala ulang 25 tahun (Q25) dan merancang desain normalisasi serta perkuatan tebing yang aman. Penelitian ini juga untuk menganalisis kapasitas hidrolik dengan stabilitas geoteknik pada segmen kritis Sungai Wulan menggunakan data curah hujan terbaru (2015-2024), guna menghasilkan rekomendasi teknis pengendalian banjir yang komprehensif dan terukur.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi kasus rekayasa (*engineering case study*). Analisis dilakukan melalui simulasi numerik berbasis data sekunder. Lokasi penelitian berada di Sungai Wulan, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth, 2025)

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua cara yaitu :

1) Data Primer
   Diperoleh melalui survei dan observasi langsung ke lapangan untuk :
   a) Mengidentifikasi kondisi penggunaan lahan di sekitar sungai.
   b) Mengamati kondisi fisik tebing.
   c) Melakukan dokumentasi foto pada titik - titik penting.
2) Data Sekunder
   Diperoleh melalui surver dan observasi langsung ke lapangan untuk :
   a) Peta Topografi & DAS dari BBWS Pemali Juana.
   b) Data Curah Hujan Harian dari stasiun-stasiun BMKG atau Pos hujan yang dikelola BBWS
   c) Peta Topografi & DAS Peta untuk menentukan karakteristik DAS seperti luas (A) dan panjang sungai (L) (Sumber: BBWS Pemali Juana)
   d) Data parameter geoteknik tebing atau tanggul, meliputi berat volume tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) (Sumber: Laboratorium Mekanika Tanah atau studi terdahulu dari Dinas PUPR/BBWS).

Teknik Analisa Data

Teknik analisa data dibagi menjadi tiga tahapan utama :

1. Analisis Hidrologi (Debit Banjir Rencana)

Analisis ini bertujuan mendapatkan debit banjir rencana Q25. Langkah pertama adalah analisis curah hujan rencana. Empat metode distribusi probabilitas (Normal, Gumbel, *Log* Normal, *Log Pearson Type* III) diterapkan pada data hujan 10 tahun. Metode terbaik dipilih berdasarkan uji kesesuaian *Chi*-Kuadrat dan *Smirnov-Kolmogorov.* Perhitungan HSS Nakayasu terdiri dari:

a. Waktu Konsentrasi Hujan (Tg) (jam) menggunakan persamaan 1.

$$Tg = 0{,}4 + 0{,}058 \, x \, L \text{ (untuk L > 15 km)} \quad (1)$$

b. Waktu dari curah hujan (Tr) (jam) menggunakan persamaan 2.

$$Tr = 0{,}75 \, x \, Tg \quad (2)$$

c. Waktu Puncak (Tp) (jam) menggunakan persamaan 3.

$$Tp = Tg + (0{,}8 \, x \, Tr) \text{ dimana Tr = 0,75 x Tg} \quad (3)$$

d. *Baseflow* (m^3/detik) menggunakan persamaan 4 dan 5.

$$D = \frac{L}{A} \quad (4)$$

$$Qb = 0{,}4751 \; \boldsymbol{x} \; \boldsymbol{A^{0{,}6444}} \; \boldsymbol{x} \; \boldsymbol{D^{0{,}943}} \quad (5)$$

e. Debit Puncak (Qp) (m^3/detik) menggunakan persamaan 6.

$$\boldsymbol{Qp} = \frac{\boldsymbol{A \; x \; Ro}}{\boldsymbol{3{,}6 \; x \; (0{,}3Tp + T0_{0{,}3})}} \quad (6)$$

2. Analisis Hidrolika (Kapasitas Alur)

Analisis ini mengevaluasi kapasitas tampung alur sungai (Q) menggunakan persamaan *Manning* untuk aliran seragam yang tersaji pada persamaan 7 dan 8.

$$V = \frac{1}{n} \; x \; R^{2/3} \; x \; S^{1/2} \quad (7)$$

$$Q = A \; x \; V \quad (8)$$

dimana :

A = Luas penampang basah (m^3)
V = Kecepatan aliran (m/s)
n = Koefisien kekasaran *Manning*
R = Jari – jari hidrolis (m)
S = Kemiringan dasar saluran

3. Analisis Geoteknika

Analisis stabilitas perkuatan tebing menggunakan bronjong setinggi 7 meter dilakukan terhadap bahaya guling (*overturning*) dan geser (*sliding*). Koefisien tekanan tanah aktif (Ka) dihitung menggunakan teori Rankine dengan persamaan 9.

$$K_a = tan^2(45 - \frac{\emptyset}{2}) \quad (9)$$

Dimana :

Ka = Koefisien tekanan tanah aktif

Ø = Sudut geser tanah

Faktor Keamanan (SF) dihitung sebagai rasio antara gaya/momen penahan dengan gaya/momen pendorong. Kriteria aman yang digunakan adalah SF Guling > 2,0 dan SFS Geser > 1,5.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis hidrologi dimulai dengan mengevaluasi data curah hujan harian maksimum 10 Tahun (2015-2024) yang berlokasi di Pos Jatisari. Data yang diambil adalah data curah hujan maksimum tahunan (*annual maximum series*) yang merepresentasikan kejadian ekstrem tahunan di wilayah tersebut. Evaluasi data historis tersebut memiliki peranan yang sangat krusial karena kualitas, konsistensi, dan karakteristik statistik dari data hujan mentah akan menentukan tingkat keandalan serta akurasi dari seluruh tahapan perencanaan bangunan air selanjutnya. Data curah hujan maksimal 10 tahun tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Curah Hujan Maksimum 10 Tahun (mm/hari)

No	Tahun	Hujan Maksimum Harian Rmax (mm)	Tanggal
1	2015	0	-
2	2016	0	-
3	2017	92,5	24 Januari 2017
4	2018	169,5	5 Februari 2018
5	2019	99	25 Januari 2019
6	2020	78	30 Desember 2020
7	2021	397	21 Februari 2021
8	2022	122	28 Februari 2022
9	2023	124,5	22 Februari 2023
10	2024	149	13 Maret 2024
R =	Rata – Rata	123,15	
S =	Standar Deviasi	111,41	
Cs =	Koef. *Skewness*	1,69	
Ck =	Koef.*Kurtosis*	7,85	

(Sumber : Pengolahan Data, 2025)

Berdasarkan tabel 1 didapatkan curah hujan rata-rata 10 tahun sebesar 123,15 mm/hari dengan standar deviasi 111, 41 mm dimana curah hujan tertinggi sebesar 397 mm ada tahun 2021. Tingginya nilai koefisien *skewness* 1,69 dan koefisien *kurtosis* 7,85 menjadi dasar bahan evaluasi dalam memilih metode distribusi probabilitas yang paling rasional Dalam analisis frekuensi curah hujan, perhitungan tidak hanya dilakukan pada satu model distribusi saja antara lain metode Normal, Gumbel, *Log* Normal, *Log Pearson Type* III. Tujuan dari pengujian multi-metode ini adalah untuk membandingkan karakteristik statistik data historis dengan kurva teoretis, sehingga dapat ditentukan model distribusi mana yang paling representatif dan memenuhi syarat uji kesesuaian (*goodness of fit test*). Perhitungan distribusi hujan rancangan dihitung dengan periode ulang 2, 5, 10, 25 tahun. Hasil perhitungan distribusi hujan rancangan dari metode Normal, Gumbel, *Log* Normal, *Log Pearson Type* III tersaji pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Distribusi Hujan Rancangan

No	Periode Ulang (T)	Distribusi Curah Hujan Rancangan			
		Normal (mm)	Gumbel (mm)	*Log* Normal (mm)	*Log Pearson Type* III (mm)
1	2	123,15	108,05	50,54	85,69
2	5	216,73	241,02	298,65	285,83
3	10	265,75	329,05	757,34	419,85
4	25	305,86	412,39	1621,57	549,52

(Sumber : Pengolahan Data, 2025)

Berdasarkan tabel 2, terlihat adanya variasi hasil perhitungan antara metode Normal, Gumbel, Log Normal, dan Log Pearson Type III. Perbedan hasil pada kala ulang 25 tahun yang berkisar dar 305 mm hingga mencapai 1621,57 mm. Pada metode Normal dan Gumbel menunjukkan tren peningkatan yang relatif stabil, sementara metode Log Normal mengalami lonjakan ekstrem yang menunjukkan kemungkinan terjadinya *overestimation*. Oleh karena itu, pemilihan metode terbaik untuk perancangan bangunan air tidak bisa dilakukan secara sembarangan, melainkan harus melalui uji kesesuaian (*Goodness-of-Fit Test*) seperti Smirnov-Kolmogorov atau Chi-Square guna menentukan distribusi mana yang paling representatif terhadap karakteristik data hidrologi di lapangan. Hasil perhitungan tersebut kemudian diuji kesesuaian distribusi uji *chi*-kuadrat dan uji *smirnov-kolmogorov* yang tersaji pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kesesuaian Distribusi Uji *Chi*-Kuadrat (X^2) dan Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Metode Distribusi	**Uji *Chi*-Kuadrat (X^2)**	**Syarat (X^2 Kritis)**	**Keterangan (*Chi*-Kuadrat)**	**Uji *Smirnov-Kolmogorov* (ΔP Max)**	**Syarat (ΔP Kritis)**	**Keterangan (*Smirnov-Kolmogorov*)**
Normal	3,00	5,991	Memenuhi	0,1600	0,41	Memenuhi
Gumbel	7,00	5,991	Tidak Memenuhi	0,9300	0,41	Tidak Memenuhi
Log Normal	11,00	5,991	Tidak Memenuhi	0,1500	0,41	Memenuhi
Log Pearson Type III	5,00	5,991	Memenuhi	0,0018	0,41	Memenuhi

(Sumber : Pengolahan Data, 2025)

Berdasarkan hasil uji kesesuaian (*goodness-of-fit test*) yang disajikan pada tabel 3 parameter Uji Chi-Kuadrat dengan nilai kritis 5,991 dan Uji Smirnov-Kolmogorov dengan nilai kritis 0,41 pada metode Gumbel dinyatakan tidak memenuhi syarat pada kedua pengujian. Metode Log Normal menunjukkan hasil yang inkonsisten karena gagal pada uji Chi-Kuadrat meskipun lolos pada uji Smirnov-Kolmogorov. Di sisi lain, dua metode Normal *dan Log Pearson Type* III lolos Uji *Chi*-Kuadrat. Metode Normal memenuhi kedua syarat pengujian namun kurang ideal untuk data ekstrem, sehingga metode Log Pearson Type III terpilih sebagai model yang paling valid dan konsisten. Metode *Log Pearson Type* III berhasil memenuhi seluruh parameter pengujian dengan nilai Chi-Kuadrat sebesar 5,00 dan nilai selisih maksimum Smirnov-Kolmogorov terkecil yaitu 0,0018 yang membuktikan bahwa distribusi ini paling representatif dalam mengakomodasi karakteristik kemiringan data historis Pos Jatisari dan paling layak digunakan untuk perhitungan curah hujan rancangan selanjutnya. Oleh karena itu, Metode *Log Pearson Type* III dipilih untuk analisis selanjutnya. Curah hujan rencana kala ulang 25 tahun (R25) adalah 549,52 mm.

Analisis Debit Banjir Rencana (HSS Nakayasu)

Data – data karakteristik DAS untuk perhitungan debit banjir metode Nakayasu adalah sebagai berikut ini :

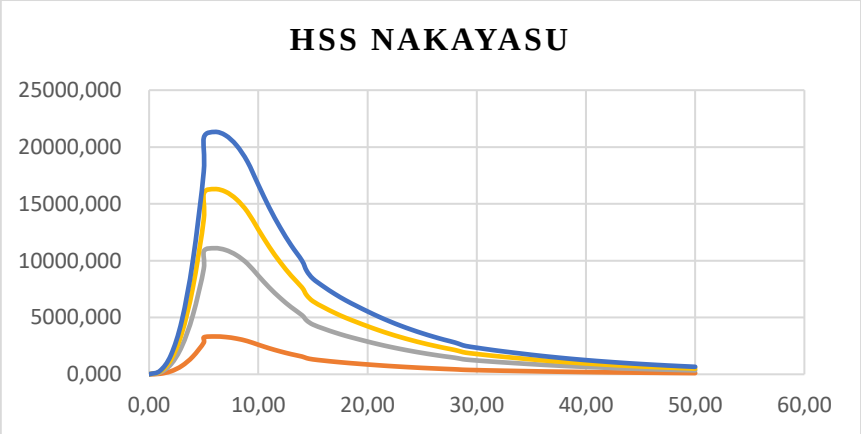
a) Nama Sungai = Sungai Wulan
b) Stasiun = Meteorologi Karanganyar
c) Luas DAS (A) = 3175 KM^2
d) Curah Hujan (Ro) = 1 mm
e) α = 3 (Koefisien antara 1,5-3,5)

Perhitungan metode HSS Nakayasu menggunakan persamaan 1-6. Hasil perhitungan debit banjir rencana metode HSS Nakayasu tersaji pada tabel 4 dan gambar 2.

Tabel 4. Resume Debit Banjir Utama

Periode Ulang Tahun	Metode Nakayasu
2	3327,15
5	11094,21
10	16295,32
25	21327,42

(Sumber : Pengolahan Data, 2025)



Gambar 2. Grafik Hidrograf Kala Ulang 2,5,10,25 Tahun
(Sumber : Pengolahan Data, 2025)

Tabel 4 dan gambar 2 merupakan hasil resume dari metode HHS Nakayasu yang dilakukan dan divisualkan dalam . Dari tabel tersebut menentukan nilai Q rencana yang nantinya akan dijadikan sebagai acuan dalam analisis kapasitas alur sungai. Metode yang dipakai yaitu metode HSS Nakayasu untuk periode ulang 25 tahun.

Analisis Kapasitas Aliran Eksisting

Perhitungan daya tampung sungai dalam kondisi sungai yang ada terdiri dari beberapa tahap, antara lain:

1) Data Dimensi Saluran
   Data yang didapat dari penelitian ini yaitu :
   a) Lebar Sungai (B) = 80 m
   b) Tinggi Muka Air (H) = 7,78 m
   c) Talud = 1 : 2, maka, m =2
2) Luas Tampang Aliran menggunakan persamaan 10.

$$A = (b + mxh)x\ h \quad (10)$$

$$A = (80 + 2\ x\ 7{,}78)\ x\ 7{,}78\ = 743{,}46\ m^2$$

3) Keliling basah menggunakan persamaan 11.

$$P = b + 2h\sqrt{m^2 + 1} \quad (11)$$

$$P = 80 + 2\,x\,7{,}78\sqrt{2^2+1} = 114{,}79\,m$$

4) Jari-jari hidrolis menggunakan persamaan 12.

$$R = \frac{A}{P} \qquad (12)$$
$$= \frac{743{,}46}{114{,}49} = 6{,}476\,m^2$$

5) Kecepatan Aliran menggunakan persamaan 7.

$$V = \frac{1}{n}\,x\,R^{2/3}\,x\,S^{1/2} \quad = \frac{1}{0{,}023}\,x\,6{,}476\,x\,0{,}072^{1/2} = 22{,}095\,m/detik$$

6) Debit Aliran menggunakan persamaan 8.

$$Q = A\,x\,V = 743{,}46\,x\,22{,}095 = 16.426{,}96\,m^3/det$$

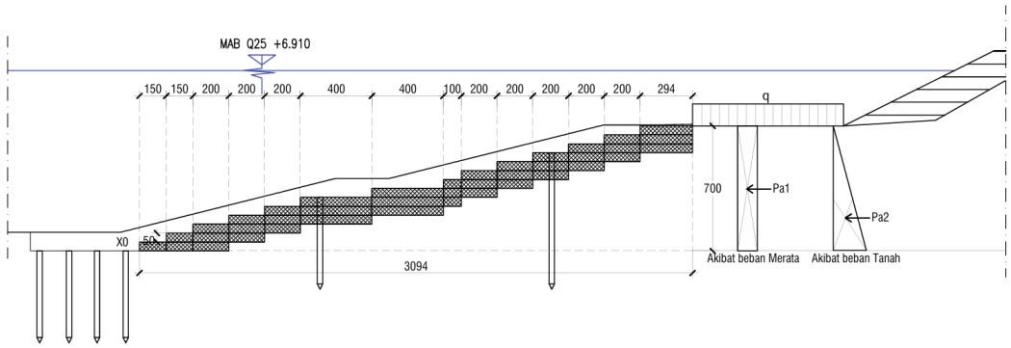
Dengan melihat kondisi Existing Sungai Wulan B = 80 m, H = 7,78 m, maka kapasitas debit yang bisa ditampung oleh sungai Wulan sebesar 16,426,96 m3/detik, lebih kecil dibandingkan Q25 rencana = 21.327,42 m3/detik, sehingga kapasitas sungai tidak dapat menampung debit tahunan (Q25), sehingga perlu di normalisasi.

Analisis Kapasitas Aliran Normalisasi

Dalam menanggulangi debit air yang lebih tinggi bila terjadi curah hujan yang tinggi, untuk itu perlu adanya peninggian tanggul Sungai Wulan. Direncanakan peninggian dimensi tinggi muka air menjadi 10 m dengan lebar saluran 80 m dan talud 1:3. Maka didapatkan hasil kecepatan aliran sebesar 31,063 m/detik dan debit aliran sebesar 34.169,47 m^3/detik. Debit air sungai setelah dinormalisasi menjadi lebih besar dibanding Q25 rencana 21.327,42 m^3/detik. Kapasitas sungai setelah dilakukan normalisasi dapat menampung debit tahunan Q25.

Analisis Perkuatan Tebing

Analisis perkuatan tebing ini berguna untuk menganalisis kemampuan tebing pondasi Sungai Wulan dalam menahan beban guling dan geser. Direncanakan perkuatan tebing menggunakan bronjong. Bronjong diketahui mampu menahan gerusan air pada dinding-dinding sungai (Amiwarti, 2018). Rencana letak bronjong Sungai Wulan dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Desain Bronjong Sungai Wulan Kab. Kudus

(Sumber : Pengolahan Data, 2025)

Perhitungan perkuatan tebing terdiri dari:

1) Koefisien Tanah Aktif

Karena permukaan tanah urugan yang berada di atas dinding penahan tanah tidak memiliki sudut atau datar (β=0) maka rumus koefisien tekanan tanah aktif dengan persamaan 9 adalah

$$Ka = tan^2 (45 - \frac{\emptyset}{2}) = tan^2 (45 - \frac{12,8}{2}) = 0,636$$

2) Perhitungan Gaya Horisontal
Perhitungan gaya horisontal pada bronjong didapatkan besar gaya P= 273,39 Kg, dan Momen sebesar 679,477 KgM.

3) Perhitungan Gaya Vertikal
Besaran gaya momen vertikal adalah 10526,569 KgM

4) Kontrol Terhadap Guling
Syarat *safety factor* terhadap guling adalah:

$$\text{SF terhadap guling} = \frac{\sum MV}{\sum MH} > \text{SF ijin}$$

$$= \frac{10526,56}{679,47} > 2$$

SF terhadap guling = 15,49 > 2 (Aman)

Hasil *safety factor* guling sebesar 15,49 melebihi SF ijin, sehingga desain bronjong aman terhadap guling.

5) Kontrol Terhadap Geser
- Kohesi (c) = 0,248 Kg/cm^2
- tan δ = tan (24,33) = 0,227
- ∑ph = 273,39 kN/m^3

Gaya tahan geser menggunakan persamaan 13.

$$\text{Gaya geser} = c.b + \Sigma W. \tan \delta \quad (13)$$

Gaya geser = (24,33 x 30,94) + (659,03 x 0,227) = 900,32

Sehingga kontrol tahan geser adalah:

$$SF = \frac{\sum V \, x \tan \delta}{\sum H} > \text{SF ijin}$$

$$SF = \frac{900,32}{273,39} > 1,5$$

SF = 3,29 > 1,5

Hasil *safety factor* geser sebesar 3,29 melebihi SF ijin, sehingga desain bronjong aman terhadap geser.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa Sungai Wulan memerlukan penanganan teknis terintegrasi karena kapasitas eksistingnya terbukti tidak memadai untuk menampung debit banjir rencana. Berdasarkan analisis hidrologi menggunakan metode HSS Nakayasu dengan distribusi Log Pearson Tipe III, diperoleh debit banjir rencana kala ulang 25 tahun (Q25) sebesar 21.327,426 m³/detik, yang jauh melampaui kapasitas tampung sungai kondisi eksisting sebesar 16.426,96 m³/detik . Temuan ini menjawab tujuan penelitian dengan mengonfirmasi urgensi normalisasi alur sungai. Desain normalisasi yang diusulkan, dengan dimensi lebar dasar 80 m, kedalaman 10 m, dan kemiringan talud 1:3, secara signifikan meningkatkan kapasitas pengaliran menjadi 34.169,47 m³/detik, sehingga dinyatakan aman untuk mengendalikan banjir periode ulang 25 tahun. Selain aspek hidrolika, stabilitas struktur perkuatan tebing juga terjamin melalui penggunaan bronjong setinggi 7 meter. Analisis geoteknik menunjukkan bahwa desain tersebut memiliki stabilitas yang tinggi, ditandai dengan nilai Faktor Keamanan (SF) terhadap guling sebesar 15,49 dan terhadap geser sebesar 3,29 yang keduanya melampaui batas aman yang dipersyaratkan. Sebagai tindak lanjut dari temuan ini, disarankan agar pemeliharaan sungai, khususnya pengerukan sedimen, dilakukan secara rutin untuk menjaga kapasitas tampung desain tetap optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Amiwarti, A., & Nopriansyah, E. (2018). Analisis Perencanaan Bronjong Sungai Desa Muara Baru Ogan Komering Ilir. *Jurnal Deformasi, 3(2),* 96-102.

Bowles, Joseph.E, Johan K. Hainim. 2004. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Erlangga. Jakarta.

BR, Sri Harto.(1993). *Analisis Hidrologi*.Jakarta:Gramedia Pustaka Utama.

Kurniawan, D., & Prasetyo, B. (2023). Evaluasi Keandalan Tanggul Sungai Berdasarkan Analisis Rembesan dan Stabilitas Lereng. *Jurnal Fondasi, 11(1), 15–24.*

Maddi, H. C., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Kajian Pengendalian Banjir dengan Menggunakan Waduk Regulasi: Studi Kasus: DAS Wanggu Kota Kendari. *Jurnal Flyover, 1*(1), 21-32.

Priyantoro, D., dkk. (2022). Evaluasi Kinerja Aliran dan Perkuatan Tebing Sungai dalam Mitigasi Bencana Banjir di Wilayah Pantura Jawa. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 13(2), 115–128

Rahmawati, D., dkk. (2021). *Analisis Kapasitas Tampung Alur Sungai Akibat Sedimentasi dan Perubahan Morfologi. Jurnal Sumber Daya Air, 17(1), 45–58.*

Rahmadani, S., dkk. (2024). Evaluasi Kinerja Drainase Jalan Soekarno-Hatta Kota Binjai. *Wahana Teknik Sipil, 29*(1), 104-112.

Rurung, M. A., Riogilang, H., & Hendratta, L. A. (2019). Perencanaan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan dengan Sumur Resapan di Lahan Perumahan *Wenwin–Sea* Tumpengan Kabupaten Minahasa. *Jurnal Sipil Statik, 7*(2), 189-200.

Rosyidah, E., & Wirosoedarmo, R. (2013). Pengaruh Sifat Fisik Tanah pada Konduktivitas Hidrolik Jenuh Di 5 Penggunaan Lahan (Studi Kasus di Kelurahan Sumbersari Malang). *Agritech, 33*(3), 340-345.

Soewarno, S. (1995). Hidrologi: Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Nova Bandung.

Utami, R., dkk. (2024). Dampak Banjir Pantura Jawa Tengah Awal 2024 dan Evaluasi Penanganan Infrastruktur Darurat. *Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan*, 10(1), 33–47

Wibowo, A., dkk. (2022). Analisis Risiko Bencana Banjir di Wilayah Pesisir Utara Jawa Tengah. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 18(2), 89–102.

Yusuf, A., & Dona, K. (2017). Perencanaan Dinding Penahan Tanah Dengan Metode *Revetment Retaining Wall,* Kota Metro. Universitas Muhammadiyah Metro. Jurnal Tapak (Teknologi Aplikasi Konstruksi).

Zevri, A. (2020). Analisis Rencana Tinggi Tanggul Banjir DAS Bangkatan Sebagai Alternatif Pengendalian Banjir Kota Binjai. *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(2), 63-76.