

ARTIKEL ILMIAH

**PERENCANAAN PERKUATAN TEBING SUNGAI DI KELURAHAN
KARANG PULE KECAMATAN SEKARBELA KOTA MATARAM**

***DESIGN OF RIVERBANK PROTECTION IN KARANG PULE VILLAGE SEKARBELA
DISTRICT MATARAM CITY***



Oleh :

BULAN RAHAJENG

F1A018120

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MATARAM

2024

**PERENCANAAN PERKUATAN TEBING SUNGAI DI KELURAHAN
KARANG PULE KECAMATAN SEKARBELA KOTA MATARAM**
*DESIGN OF RIVERBANK PROTECTION IN KARANG PULE VILLAGE
SEKARBELA DISTRICT MATARAM CITY*

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

1. Pembimbing Utama



Atas Pradyo, ST., MT., Ph.D
NIP: 19710717 1998 03 005

Tanggal:

2. Pembimbing Pendamping



Ir. Yusron Saadi, ST., M.Sc., Ph.D
NIP: 19661020 1994 03 1003

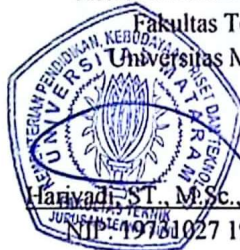
Tanggal: 24/01/24

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Mataram



Harivadi, ST., M.Sc., (Eng), Dr. Eng
NIP: 19781027 199802 1 001

**PERENCANAAN PERKUATAN TEBING SUNGAI DI KELURAHAN
KARANG PULE KECAMATAN SEKARBELA KOTA MATARAM**
*DESIGN OF RIVERBANK PROTECTION IN KARANG PULE VILLAGE SEKARBELA
DISTRICT MATARAM CITY*

Oleh :

Bulan Rahajeng
F1A 018 120

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I



Dr. Eng. Hartana, ST., MT
NIP : 19740315 1998 03 1002

Tanggal :

2. Penguji II



Tri Sulistyowati, ST., MT
NIP : 19730202 1998 02 1003

Tanggal :

3. Penguji III



Ir. Ismail Hoesain Muchtaranda., MT
NIP : 19650717 199403 1001

Tanggal :

Mataram, Januari 2024
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Ir. Muhammad Syamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D
NIP : 19720222 199903 1002

**PERENCANAAN PERKUATAN TEBING SUNGAI DI KELURAHAN KARANG
PULE KECAMATAN SEKARBELA KOTA MATARAM**

***DESIGN OF RIVERBANK PROTECTION IN KARANG PULE VILLAGE
SEKARBELA DISTRICT MATARAM CITY***

Bulan Rahajeng¹, Atas Pracoyo², Yusron Saadi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

Email : bulan.ajeng2000@gmail.com

Abstrak

Air yang mengalir di sungai akan mengakibatkan penggerusan tanah dasarnya. Banyak kasus yang terjadi di berbagai sungai mengenai kerusakan tebing sungai yang diakibatkan oleh gerusan, salah satunya di Sungai Unus yang melintasi Kabupaten Lombok Barat dan Kota Mataram. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil analisis debit banjir Q25 di Sungai Unus, dan merencanakan desain bronjong yang digunakan sebagai perkuatan tebing di Sungai Unus serta untuk mengetahui hasil RAB bronjong untuk perencanaan perkuatan lereng pada Sungai Unus Kota Mataram. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan debit banjir kala ulang 2 tahun sebesar 58,05 m³/dt, kala ulang 5 tahun sebesar 69,57 m³/dt, kala ulang 10 tahun sebesar 72,60 m³/dt dan kala ulang 25 tahun didapatkan sebesar 80,02 m³/dt. Dimensi bronjong yang digunakan yaitu 2 x 1 x 0,5 m dengan jumlah sekat 1 dan kapasitas 1m³. Didapatkan angka keamanan bronjong dengan metode Fellenius sebesar 0,86 < 1,5 dan stabilitas terhadap geser 2,76 > 1,5, nilai stabilitas terhadap guling sebesar 4,04 > 1,5 dan nilai daya dukung ultimit 4,92 > 3. Estimasi rencana anggaran biaya dari desain perkuatan tebing dengan Panjang 200 m dengan 8 trap bronjong, menggunakan bronjong dengan dimensi 2 x 1 x 0,5 m yaitu sebesar Rp. 1.122.017.421

Abstract

The flowing water in a river will result in the erosion of it's riverbed. Many cases have occurred in various rivers regarding riverbank damage caused by erosion, one of them being in the Unus River that passes through West Lombok Regency and Mataram City. The aim of this research is to determine the result of flood discharge analysis Q25 in the Unus River, and to plan the design of revertments used as slope reinforcement along the Unus River. It also aims to determine the budget to plane for the revetment as part of the slope reinforcement project along the Unus River in Mataram City. Based on the research, the flood discharge for 2 years return period it is 58,05 m³/sec, for 5 years return period it is 69,57 m³/sec, for 10 years return period it is 72,60 m³/sec, and for 25 years return period, it is 80,02 m³/sec. The dimensions of the revetent used are 2x1x0,5 m with 1 partition and a capacity of 1 m³. A safety factor according to the Fellenius Method of 0,86 < 1,5 , and the shear stability is 2,76 > 1,5, the stability against sliding is 4,04 > 1,5m, and the ultimate bearing capacity is 4,92>3. Based on the calculations performed, the estimated budget plan for the design of slope reinforcement with a leght of 200 m, including 8 trap gabions, using revetments with dimensions of 2x1x0,5 m is approximately Rp. 1.122.017.421

Keywords: riverbank, flood, erosion, revetment.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gerusan adalah fenomena alam yang terjadi karena erosi terhadap aliran air pada dasar dan tebing saluran alluvial atau proses menurunnya atau semakin dalamnya dasar sungai di bawah elevasi permukaan alami (datum) karena interaksi antara aliran dengan material dasar sungai (Hoffmans and Verheij, 1997). Proses gerusan tebing sungai dapat terjadi karena adanya perubahan morfologi sungai berupa tikungan dan pelebaran sungai akibat aliran air sungai yang mengalami kenaikan tinggi muka air.

Banyak kasus yang terjadi di berbagai sungai mengenai kerusakan tebing sungai yang diakibatkan oleh gerusan, salah satunya di Sungai Unus yang melintasi Kabupaten Lombok Barat dan Kota Mataram. Kerusakan tebing sungai yang terjadi setiap tahunnya di sungai tersebut semakin parah terutama di musim penghujan. Bagian kerusakan yang parah yaitu pada bagian tikungan sungai.. Berdasarkan survei awal, persawahan masyarakat yang berada di dekat tepi sungai terkikis akibat gerusan. Sebagian warga menggunakan karung berisikan pasir sebagai penanggulangan sementara kerusakan tebing dekat pemukiman mereka. Hal ini berdampak buruk bagi masyarakat, terutama yang tinggal di sekitar bantaran sungai. Tingkat kerusakan ini dapat dikurangi dengan dibangunnya bangunan perkuatan tebing sungai yang berfungsi untuk melindungi tebing terhadap gerusan.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis debit banjir Q25 di Sungai Unus ?
2. Bagaimana desain bronjong yang digunakan sebagai perkuatan tebing di Sungai Unus ?
3. Berapa RAB bronjong untuk perencanaan perkuatan lereng pada Sungai Unus Kota Mataram pada ruas yang di tinjau ?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui hasil analisis debit banjir Q25 di Sungai Unus
2. Merencanakan desain bronjong yang digunakan sebagai perkuatan tebing di Sungai Unus
3. Mengetahui hasil RAB bronjong untuk perencanaan perkuatan lereng pada Sungai Unus Kota Mataram pada ruas yang ditinjau.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melindungi dan memperkuat tebing sungai
2. Pengendalian gerusan pada tebing sungai
3. Dapat menjaga tepi sungai terhadap gerusan air
4. Dapat meningkatkan efektivitas fungsi sungai agar lebih berkualitas.

Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan efektif untuk mencapai sasaran yang ingin kita capai, maka batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

1. Tidak menganalisis laju sedimentasi pada ruas Sungai Unus
2. Dampak negatif di bagian hilir tidak diteliti
3. Tidak menganalisis pola aliran sungai

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Tinjauan Pustaka

Benyamin, dkk. (2017) sebelumnya telah melakukan penelitian mengenai perkuatan tebing menggunakan bronjong di Sungai Manikin. Kemudian, telah dilaksanakan perhitungan debit banjir rencana 50 tahun menggunakan metode tahapan langsung dimana didapat curah hujan rencana (Q50) berdasarkan Metode *Log-Pearson Type-III* adalah 573.410 m³/dt, dan hasil dari debit rencana tersebut digunakan untuk perhitungan debit banjir

maksimum (Q50) pada Potongan I-I = 1.253,300 m³/dt, pada Potongan II-II = 1.281,300 m³/dt dan pada Potongan III-III = 1.285,200 m³/dt. Diadakan analisis kontrol terhadap stabilitas krib bronjong diperoleh momen tahan sebesar 67,100 ton meter dan momen guling 8,487 ton meter, besarnya gaya vertikal = 37,400 ton dan gaya horizontal = 5,004 ton.

Daoed, dkk. (2015) melakukan penelitian tentang kinerja perkuatan tebing saluran dengan bronjong di belokan 120° akibat banjir bandang (Uji eksperimental di laboratorium). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa, keruntuhan bronjong terjadi pada awal dan akhir tikungan, dan setelah diperkuat dengan perkuatan gabungan arah horizontal dan vertikal (menjadikan elemen struktur lebih kompak), dan kemiringan dasar saluran ekstrim yakni hingga 7%, terlihat hanya bagian hilir tikungan saja yang mengalami keruntuhan.

Safriani dan Sari (2018) melakukan penelitian tentang perencanaan bangunan bronjong pada tikungan sungai di Desa Meunasah Buloh. Desain dan ukuran bronjong yang sesuai adalah bronjong bentuk I kode D dengan dimensi 2,0 x 1,0 x 1,0 m dan ukuran batu sebesar 40 cm. Hasil perhitungan stabilitas terhadap guling diperoleh Fs guling sebesar 3,49 dimana nilai ini lebih besar dari 1,5. Berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat bahwa struktur konstruksi bronjong aman terhadap gaya guling. Hasil perhitungan stabilitas bronjong terhadap gaya geser dimana nilai Fs geser sebesar 1,58. Didapat nilai ini lebih besar dari 1,5. Nilai kapasitas daya dukung yang diperoleh sebesar 16,84 kg/cm² sedangkan tegangan maksimum yang diperoleh 2,57 kg/cm².

Rosihun dan Endaryanta (2011) melakukan penelitian mengenai analisis stabilitas talud bronjong di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa talud bronjong pada Sungai Gajah Wong UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta kurang aman ditinjau dari

stabilitas pergeseran jika kawat bronjong dianggap tidak diikat. Kenyataannya kawat bronjong saling diikat sesamanya dan Talud Bronjong pada Sungai Gajah Wong UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta aman terhadap stabilitas penggulingan karena $F_{gl} > S_f$. Talud Bronjong pada Sungai Gajah Wong UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta aman terhadap daya dukung tanah karena $q_{max} \leq q_a$ yaitu $581,4 \leq 833,64 \text{ kN/m}^2$.

Dasar Teori Sungai

Sungai atau saluran terbuka menurut Triatmodjo (2008) merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit dan sebagainya.

Hidrologi Pengukuran Curah Hujan

Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)

Pengujian dilakukan terhadap penyimpangan kumulatif dari nilai reratanya yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

Nilai statistik Q_y :

$$Q_y = \text{Maks } |S_k^{**}|$$

$$0 \leq k \leq n$$

Nilai statistik R_y :

$$R_y = \text{Maks } S_k^{**} - \text{Min } S_k^{**}$$

$$0 \leq k \leq n \quad 0 \leq k \leq n$$

dengan :

S_k^* = simpangan awal

S_k^* = simpangan mutlak

S_k^{**} = nilai konsistensi data

Q = nilai statistik Q untuk $0 \leq k \leq n$

n = jumlah data

Penentuan Hujan Kawasan

A. Metode *Polygon Thiessen*

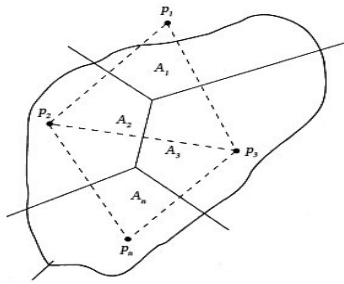
$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + A_3R_3 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

dengan :

\bar{R} = hujan rerata Kawasan

R_1, R_2, \dots, R_n = hujan pada stasiun 1, 2, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n



Gambar 1. DAS dengan perhitungan curah hujan Poligon Thiessen (Handayani, 2012)

B. Hujan Areal

$$APBAR = PBAR \times ARF$$

Tabel 1. Faktor Reduksi

DAS (km ²)	Faktor Reduksi
1-10	0,99
10-30	0,97
30-3000	1,152-0,123 log ₁₀ (AREA)

(Sumber : Joesron Loebis, 1984)

Analisis Frekuensi

Parameter Statistik

Parameter-parameter yang digunakan dalam pemilihan jenis distribusi curah hujan menurut Harto (1993) yaitu :

1. Nilai rerata (*average*).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

dengan :

\bar{X} = rerata

X_i = variabel acak

n = jumlah data

2. Standar Deviasi (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (x-x_i)^2}{n-1}}$$

3. Koefisien *Skewness* (Cs)

$$Cs = \frac{n \sum_{1-n} \{(x-x_i)^3\}}{(n-1)(n-2)^3}$$

4. Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{n^2 \sum_{1-n} \{(x-x_i)^4\}}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4}$$

5. Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{sd}{x}$$

Distribusi Curah hujan

- A. Metode *Log Pearson Type III*

Rumus yang digunakan dalam metode ini adalah (Triatmodjo, 2008) :

$$\text{Log } Xt = \log X + K \cdot Sx$$

dengan :

K = faktor frekuensi, yang merupakan fungsi dari kala ulang dan koefisien kepengangan

Sx = standar deviasi

Uji Kecocokan Agihan

- A. Uji *Smirnov Kolmogorof*

Prosedur dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

$$D_{maks} = [P(Xm) - P'(Xm)]$$

dengan :

D = selisih terbesar antara peluan empiris dengan teoritis

$P(x)$ = sebaran frekuensi teoritik berdasar sampel

$P'(x)$ = sebaran frekuensi komulatif berdasar sampel

m = nomor urut kejadian atau peringkat kejadian

- B. Uji *Chi-Kuadrat*

Uji *Chi-Kuadrat* menggunakan nilai X^2 yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$X^2 = \sum_{t=1}^N \frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$$

dengan :

X^2 = nilai *Chi-Kuadrat* terhitung

Ef = frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

Of = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

N = jumlah sub kelompok dalam satu grup

Intensitas Curah Hujan

Besarnya debit banjir rancangan ditentukan oleh intensitas hujan yang dinyatakan dengan rumus :

$$I = \frac{R24}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

dengan :

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = waktu (durasi) curah hujan

$R24$ = tinggi hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Perhitungan Debit Rencana dengan Metode Nakayasu

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \left(\frac{A R_e}{0.3 T_p + T_{0.3}} \right)$$

dengan:

Q_p = debit puncak banjir (m^3/s)

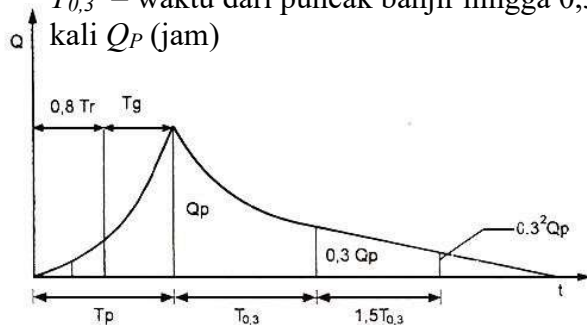
A = luas DAS (km^2)

R_e = curah hujan efektif (1 mm)

T_p = waktu dari permulaan banjir

hingga puncak banjir (jam)

$T_{0.3}$ = waktu dari puncak banjir hingga 0,3 kali Q_p (jam)



Gambar 2. HSS Nakayasu (Triatmodjo, 2008)

Debit Aliran

Pengukuran debit aliran dilapangan pada dasarnya dapat dilakukan melalui dua kategori (Asdak, 2014).

1. Pengukuran volume air
2. Pengukuran debit dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang sungai menggunakan rumus

$$Q = V \cdot A$$

$$V = \frac{1}{n} x R^{\frac{1}{3}} x I^{\frac{1}{2}}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$P = b + 2h\sqrt{m^2 + 1}$$

Gerusan Tebing

Definisi gerusan secara umum, gerusan (*scouring*) merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai (dapat berupa tikungan atau bagian penyempitan aliran sungai) atau adanya bangunan air (*hydraulic structure*) seperti jembatan, bendung, pintu air dan lain-lain.

Stabilitas Lereng

Metode Irisan

Secara ringkas bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang

longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Pernyataan tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan di bawah ini :

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca + (W_i \cos \theta_i - u_i a) \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad 42$$

dengan :

F = faktor aman

C = kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = sudut gesek dalam (derajat)

A_i = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-I (m)

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN/m^2)

U_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2)

θ_i = sudut yang didefinisikan dari gambar (derajat)

Stabilitas Penggeseran

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1.5$$

dengan:

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

$\sum P_h$ = jumlah gaya-gaya horizontal

Penanganan Gerusan Tebing Metode Konvensional Murni

Pelindung Tebing Sungai Menggunakan Bronjong

Adapun salah satu jenis revertment penanggulangan gerusan pada tebing sungai yaitu bronjong. Bangunan bronjong adalah struktur yang tidak kaku, oleh karena itu bronjong dapat menahan gerakan baik vertikal maupun horizontal dan apabila runtuh masih bisa dimanfaatkan lagi. Selain itu bronjong bersifat lolos terhadap air, sehingga air dapat terus lewat sementara pergerakan tanah dapat ditahan oleh bronjong.

Ukuran bronjong kawat bentuk I, menurut SNI 03-0090-1999, adalah seperti berikut :

Tabel 2. Ukuran kawat Bronjong

Kode	Ukuran (m)			Jumlah Sekat	Kapasitas m ³
	A	B	C		
A	2	1	4	3	2
B	3	1	1	2	3
C	4	1	1	3	4
D	2	1	0,5	1	1
E	3	1	0,5	2	1,5
F	4	1	0,5	3	2

(Sumber: SNI 03-0090-1999 Kementerian Pekerjaan Umum Badan Pembinaan Konstruksi)

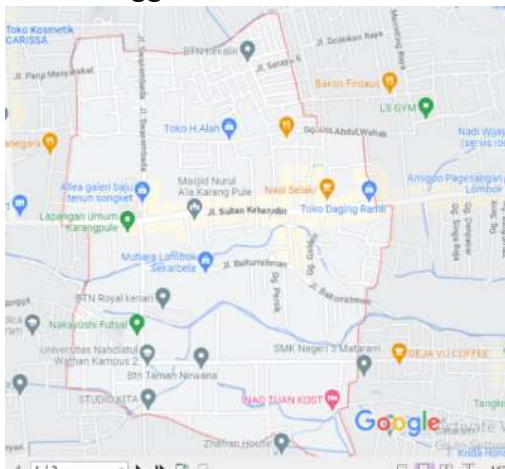
Estimasi Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya dalam sebuah konstruksi yaitu perhitungan tentang berapa banyak biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya yang bersifat tidak langsung yang berkaitan dengan pekerjaan proyek tersebut.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Unus, yang berlokasi di Kelurahan Karang Pule, Kecamatan Sekarbela, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat. .



Gambar 3. Lokasi Penelitian (sumber: Google Earth)

Tahap Penelitian

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua macam, yaitu data primer dan data sekunder.

Adapun primer yang termasuk berupa data lebar dan kedalaman sungai

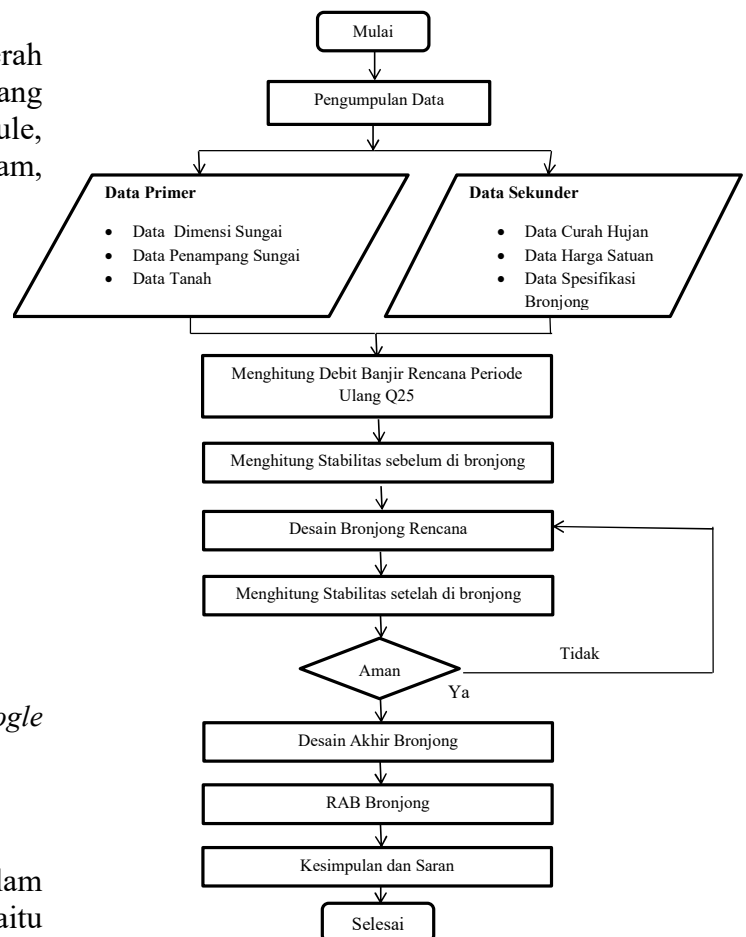
Adapun data skunder yang dibutuhkan yaitu data curah hujan.

Analisis Data

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data curah hujan
2. Menghitung curah hujan rencana Dalam menganalisis curah hujan rencana dengan periode tertentu, digunakan metode statistik yaitu:
3. Perhitungan debit banjir rencana
4. Melakukan perencanaan dimensi dinding penahan tebing
5. Analisa stabilitas dengan perkuatan bronjong
6. Melakukan perencanaan dimensi dinding penahan tanah
7. Menghitung RAB bronjong.

Bagan Alir Perencanaan



Gambar 4. Bagan Alir Perencanaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

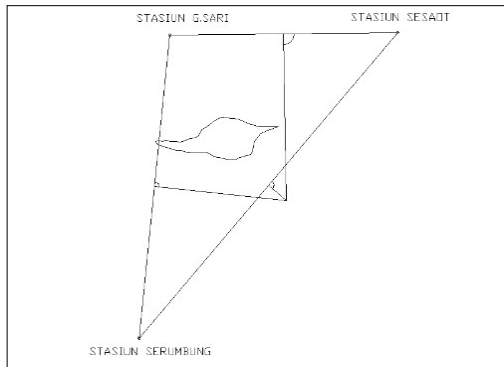
A. Analisis Curah Hujan Wilayah dan Hujan Harian Maksimum

Curah hujan rata-rata wilayah dihitung dengan menggunakan Metode *Polygon Thiessen*. Dari ketiga stasiun terdekat yang

relevan, hanya stasiun Gunung Sari yang memiliki pengaruh signifikan dalam analisis yang akan dilakukan.

1. Perhitungan Luas DAS

Berdasarkan AutoCad gambar sub DAS Unus, didapatkan data luas Sub DAS Unus = 11,20 km²



Gambar 5 Area sub DAS Unus yang dipengaruhi oleh Stasiun Gunung Sari

2. Hujan Rerata Maksimum Tahunan

Contoh perhitungan curah hujan harian maksimum rerata dengan faktor reduksi pada tahun 2003:

Faktor reduksi = 0,97 (karena luas daerah aliran sungai yang ditinjau 11,20 km² dapat dilihat pada Tabel 3.

Curah hujan harian maksimum tahun 2003 = 82,3 mm

Curah hujan harian maksimum rerata dengan faktor reduksi = 82,3 x 0,97 = 79,83 mm

Tabel 3. Perhitungan rata-rata curah hujan harian

TAHUN	TANGGAL	S. GUNUNG SARI (MM)	RERATA HUJAN (MM)
2003	05-Jan	82,3	82,3
2004	29-Okt	78	78
2005	22-Okt	110	110
2006	30-Jun	110	110
2007	25-Apr	105,1	105,1
2008	30-Apr	64,3	64,3
2009	15-Jan	62,1	62,1
2010	24-Sep	103,5	103,5
2011	23-Nov	76,8	76,8
2012	09-Des	75,4	75,4
2013	29-Jun	83,5	83,5
2014	09-Feb	94,8	94,8
2015	01-Jun	82,7	82,7
2016	10-Des	122,5	122,5
2017	10-Okt	160	160
2018	19-Jun	64,4	64,4
2019	21-Jan	85	85
2020	01-Mar	110	110
2021	05-Des	146,4	146,4
2022	21-Sep	126,5	126,5

B. Uji Konsistensi Data Metode RAPS

Uji konsistensi dilakukan hanya pada stasiun Gunung Sari saja dikarenakan hanya Stasiun Gunung Sari saja yang berpengaruh terhadap Das Sungai Unus.

Tabel 4. Perhitungan RAPS Stasiun Gunung Sari

NO	TAHUN	Yi (mm)	(Yi-Y) ²	sk*	Dy ²	sk**	sk**
1	2003	1827	30520,1	174,7	1526,0	0,4	0,4
2	2004	1539	12836,9	1539,0	641,8	3,2	3,2
3	2005	1614	1466,9	1614,0	73,3	3,4	3,4
4	2006	1691	1497,7	1691,0	74,9	3,5	3,5
5	2007	1560	8519,3	1560,0	426,0	3,2	3,2
6	2008	1200	204575,3	1200,0	10228,8	2,5	2,5
7	2009	1025	393505,3	1025,0	19675,3	2,1	2,1
8	2010	2282	396522,1	2282,0	19826,1	4,7	4,7
9	2011	1284	135644,9	1284,0	6782,2	2,7	2,7
10	2012	1624	800,9	1624,0	40,0	3,4	3,4
11	2013	1926	74911,7	1926,0	3745,6	4,0	4,0
12	2014	1178	224960,5	1178,0	11248,0	2,4	2,4
13	2015	1237	172474,1	1237,0	8623,7	2,6	2,6
14	2016	2556	816673,7	2556,0	40833,7	5,3	5,3
15	2017	2206	306583,7	2206,0	15329,2	4,6	4,6
16	2018	994	433358,9	994,0	21667,9	2,1	2,1
17	2019	949	494630,9	949,0	24731,5	2,0	2,0
18	2020	1782	16822,1	1782,0	841,1	3,7	3,7
19	2021	2505	727097,3	2505,0	36354,9	5,2	5,2
20	2022	2067	171976,1	2067,0	8598,8	4,3	4,3
OTA		33046	4.625.378,2		231268,9		
				Dy =	480,9		
RATA-RATA	1652	440.512,2095					
				sk** maks			5,3
				sk** min			0,4
				Q = sk** maks			5,3
				R = sk** maks - sk** min			5,0

C. Curah Hujan Rerata Daerah

Faktor reduksi = 0,97 (karena luas daerah aliran sungai yang ditinjau 11,20 km² dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Curah hujan harian rerata daerah Gunung Sari

TAHUN	TANGGAL	HUJAN HARIAN (MM)	FAKTOR REDUKSI	HUJAN AREA (MM)
2003	05-Jan	82,3	0,97	79,83
2004	29-Okt	78,0	0,97	75,66
2005	22-Okt	110,0	0,97	106,70
2006	30-Jun	110,0	0,97	106,70
2007	25-Apr	105,1	0,97	101,95
2008	30-Apr	64,3	0,97	62,37
2009	15-Jan	62,1	0,97	60,24
2010	24-Sep	103,5	0,97	100,40
2011	23-Nov	76,8	0,97	74,50
2012	09-Des	75,4	0,97	73,14
2013	29-Jun	83,5	0,97	81,00
2014	09-Feb	94,8	0,97	91,96
2015	01-Jun	82,7	0,97	80,22
2016	10-Des	122,5	0,97	118,83
2017	10-Okt	160,0	0,97	155,20
2018	19-Jun	64,4	0,97	62,47
2019	21-Jan	85,0	0,97	82,45
2020	01-Mar	110,0	0,97	106,70
2021	05-Des	146,4	0,97	142,01
2022	21-Sep	126,5	0,97	122,71

D. Analisis Frekuensi dan Curah Hujan Rencana

1. Analisis parameter statistik

Harga rata-rata (Xi)

$$Xi = \frac{1}{20} (1885) = 94,25$$

Standar Deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{13061,1}{20-1}} = 26,21$$

Koefisien Variasi (Cv)

$$Cv = \frac{S}{X} = \frac{26,21}{94,25} = 0,27$$

Koefisien Skewnes (Cs)

$$Cs = \frac{20 \times 242571,1}{(20-1)(20-2)26,21^3} = 0,78$$

Koefisien Kurtosis (Ck)

$$Ck = \frac{20^2 \times 24094073,8}{(20-1)(20-2)(20-3)26,21^4} = 3,51$$

Dari perhitungan di atas, selanjutnya dihitung analisis parameter statistik curah hujan maksimum harian rata-rata. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6, berikut :

Tabel 6. Analisis parameter statistik curah hujan maksimum harian rata-rata

TAHUN	CH (mm) (Xi)	(Xi-X)	(Xi-X)2	(Xi-X)3	(Xi-X)4
2017	155,2	60,9	3714,9	226422,8	13800455,3
2021	142,008	47,8	2280,8	108927,4	5202148,0
2022	122,705	28,5	809,7	23039,5	655588,5
2016	118,825	24,6	603,9	14841,5	364729,2
2005	106,7	12,4	155,0	1929,8	24025,4
2006	106,7	12,4	155,0	1929,8	24025,4
2020	106,7	12,4	155,0	1929,8	24025,4
2007	101,947	7,7	59,2	456,0	3509,7
2010	100,395	6,1	37,8	232,0	1425,8
2014	91,956	-2,3	5,3	-12,1	27,7
2019	82,45	-11,8	139,2	-1643,1	19388,1
2013	80,995	-13,3	175,7	-2328,9	30869,2
2015	80,219	-14,0	196,9	-2762,3	38757,9
2003	79,831	-14,4	207,9	-2997,9	43226,2
2004	75,66	-18,6	345,6	-6424,5	119432,4
2011	74,496	-19,8	390,2	-7708,5	152273,6
2012	73,138	-21,1	445,7	-9410,0	198665,1
2018	62,468	-31,8	1010,1	-32103,0	1020299,4
2008	62,371	-31,9	1016,3	-32397,8	1032812,5
2009	60,237	-34,0	1156,9	-39349,3	1338388,9
Jumlah	1885,0		13061,1	242571,1	24094073,8
Rerata (Xr)	94,3				

Setelah diperoleh hasil pada Tabel 7, selanjutnya untuk menentukan jenis metode yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 7, sebagai berikut:

Tabel 7. Kesimpulan Pemilihan Jenis Metode

Metode	Kriteria	Hasil	Kesimpulan
NORMAL	Cs ≈ 0,00	Cs = 0,78	tidak di pilih
	Ck ≈ 3,00	Ck = 3,51	
GUMBEL	Cs ≈ 1,1396	Cs = 0,78	tidak di pilih
	Cv ≈ 5,4002	Cv = 0,27	
LOG NORMAL	Cs ≈ 3 Cv	Cs = 0,78	tidak dipilih
	Ck > 0	Ck = 3,51	
LOG PEARSON TYPE III	tidak memenuhi sifat-sifat seperti pada kedua distribusi di atas		di pilih

2. Analisis Curah Hujan Rencana Metode Log Pearson Type III

Adapun Langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut:

Nilai rata-rata

$$(\text{Log } Xi) = \frac{\sum \log x}{n} = \frac{39,18}{20} = 1,95$$

Standar Deviasi

$$(Sd) = \sqrt{\frac{\sum (\log xi - \log xrt)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,25}{19}} = 0,11$$

Koef. Skewness (Cs) =

$$\frac{n \sum (\log xi - \log xrt)^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} = \frac{20 \times (0,0075)}{19 \times 18 \times 0,11^3} = 0,32$$

Tabel 8. Analisis Curah Rencana dengan Metode Log Pearson Type III

NO	TAHUN	Xi	LOG Xi	(LOG Xi - LOG Xrt)^2	(LOG Xi - LOG Xrt)^3
1	2017	155,2	2,1909	0,0537	0,0125
2	2021	142,008	2,1523	0,0373	0,0072
3	2022	122,705	2,0889	0,0168	0,0022
4	2016	118,825	2,0749	0,0134	0,0016
5	2005	106,7	2,0282	0,0048	0,0003
6	2006	106,7	2,0282	0,0048	0,0003
7	2020	106,7	2,0282	0,0048	0,0003
8	2007	101,947	2,0084	0,0024	0,0001
9	2010	100,395	2,0017	0,0018	0,0001
10	2014	91,956	1,9636	0,0000	0,0000
11	2019	82,45	1,9162	0,0018	-0,0001
12	2013	80,995	1,9085	0,0026	-0,0001
13	2015	80,219	1,9043	0,0030	-0,0002
14	2003	79,831	1,9022	0,0032	-0,0002
15	2004	75,66	1,8789	0,0064	-0,0005
16	2011	74,496	1,8721	0,0076	-0,0007
17	2012	73,138	1,8641	0,0090	-0,0009
18	2018	62,468	1,7957	0,0267	-0,0044
19	2008	62,371	1,7950	0,0269	-0,0044
20	2009	60,237	1,7799	0,0321	-0,0058
JUMLAH		1371,3778	39,1819	0,2593	0,0075
RATA-RATA		94,25005	1,9591	0,0130	0,0004

3. Menentukan Hujan Rancangan dengan Periode Ulang 5, 10, 20, 50, 100, dan 1000 Tahun

Hujan rancangan periode ulang 2 Tahun

$$\log xt = 1,95 + (-0,0532 \times 0,11) = 1,94$$

$$xt = 87,93$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan :

Tabel 9 Nilai curah hujan rancangan log pearson type III

Kala Ulang (Tahun)	Log XT (mm)	XT (mm)
2	1,944	87,932
5	2,067	116,574
10	2,094	124,131
25	2,154	142,577
50	2,194	156,426
100	2,231	170,365
200	2,266	184,561
1000	2,341	219,250

A. Pengujian Data Hujan
a. Pengujian Chi-Kuadrat

Diketahui :

$$n = 20$$

$$R \text{ terbesar} = 155,2 \text{ mm}$$

$$R \text{ terkecil} = 60,2 \text{ mm}$$

$$P = 2$$

Tabel 10. Analisa sebaran

Interval (P)	O _i	E _i	(O _i -E _i)	(O _i -E _i) ²
P < 79,2	6	4	2	4
79,2 < P < 98,2	5	4	1	1
98,2 < P < 117,2	5	4	1	1
117,2 < P < 136,2	2	4	-2	4
136,2 < P < 155,2	2	4	-2	4
Jumlah	20	20	0	14

Uji kecocokan untuk derajat kebebasan (α) = 5%

χ^2 hitungan < χ^2 tabel

$$= \frac{14}{20} < 5,99 = 0,7 < 5,99 \text{ COCOK}$$

b. Uji Kecocokan dengan Metode *Smirnov Kolmogorof*

Tabel 11 Perbedaan probabilitas distribusi Empiris dan Teoritis

No	Curah Hujan (mm)	P(X) = m/n+1	z = xi-x/s	z tabel = F(t)	D = P(X) - F(t)	D = P(X) - F(t)
1	60,237	0,050	-1,298	0,097	-0,047	0,047
2	62,371	0,100	-1,216	0,112	-0,012	0,012
3	62,468	0,150	-1,213	0,113	0,037	0,037
4	73,138	0,200	-0,805	0,210	-0,010	0,010
5	74,496	0,250	-0,754	0,226	0,024	0,024
6	75,66	0,300	-0,709	0,239	0,061	0,061
7	79,831	0,350	-0,550	0,291	0,059	0,059
8	80,219	0,400	-0,535	0,296	0,104	0,104
9	80,995	0,450	-0,506	0,307	0,143	0,143
10	82,45	0,500	-0,450	0,326	0,174	0,174
11	91,956	0,550	-0,088	0,465	0,085	0,085
12	100,395	0,600	0,234	0,593	0,007	0,007
13	101,947	0,650	0,294	0,615	0,035	0,035
14	106,7	0,700	0,475	0,683	0,017	0,017
15	106,7	0,750	0,475	0,683	0,067	0,067
16	106,7	0,800	0,475	0,683	0,117	0,117
17	118,825	0,850	0,938	0,826	0,024	0,024
18	122,705	0,900	1,086	0,861	0,039	0,039
19	142,008	0,950	1,822	0,966	-0,016	0,016
20	155,2	1,000	2,325	0,990	0,010	0,010
D maksimum						0,174

Dengan menggunakan nilai signifikan (α) = 5% dan jumlah data $n = 20$, maka berdasarkan Tabel Nilai Kritis uji *Smirnov-Kolmogorof* diperoleh D_k sebesar 0,29. $D_{maks} < D_k = 0,174 < 0,29$

Hidrograf Banjir Rancangan Periode Ulang dengan Metode Nakayasu

1. Curah Hujan Efektif

Untuk perhitungannya dapat dilihat dalam tabel

Tabel 12 Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Efektif

Waktu	Rasio	Kumulatif	Curah Hujan Rencana					
			2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun	50 Tahun	100 Tahun
1	58,480	58,480	40,110	53,175	56,622	65,036	71,353	77,711
2	15,200	73,680	10,425	13,821	14,717	16,904	18,546	20,198
3	10,663	84,343	7,313	9,696	10,324	11,858	13,010	14,169
4	8,489	92,832	5,822	7,719	8,219	9,441	10,358	11,281
5	7,168	100,000	4,916	6,518	6,940	7,972	8,746	9,525
Hujan Efektif			68,587	90,928	96,822	111,210	122,012	132,885
Koefisien Pengaliran			0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
Prob. Hujan Maksimum			87,932	116,574	124,131	142,577	156,426	170,365

2. Analisis Debit Banjir Metode HSS Nakayasu

Untuk menganalisis debit banjir rancangan, terlebih dahulu harus dibuat hidrograf banjir pada sungai yang bersangkutan.

Tabel 13. Ordinat hidrograf satuan sintetik dengan metode Nakayasu

t (jam)	keterangan	Q (m ³ /dt)
0	Q _a	0,00
1		0,16
2		0,84
3	Q _d = Q _p 0.3 ^{(t-T_p)/T_{0.3}}	0,63
4		0,48
5	Q _d = Q _p 0.3 ^{(t-T_p + 0.5 T_{0.3})/1.5T_{0.3}}	0,27
6		0,21
7		0,16
8		0,07
9		0,05
10		0,04
11		0,03
12		0,02
13		0,02
14		0,01
15		0,01
16	Q _d = Q _p 0.3 ^{(t-T_p+1.5T_{0.3})/2T_{0.3}}	0,01
17		0,01
18		0,00
19		0,00
20		0,00
21		0,00
22		0,00
23		0,00
24		0,00

3. Analisis Tinggi Muka Air Sungai

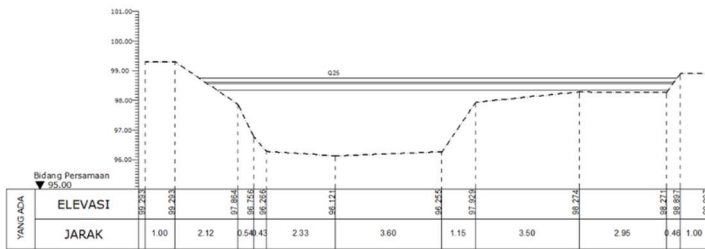
Tinggi muka air banjir (h) untuk kala ulang 25 tahun

$$Q_{25} = AV = ((B+mh)h) \times \frac{1}{n} \times \left(\frac{(B+mh)h}{B+2h\sqrt{1+m^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

$$80,02 = ((5,93 + 1,34h)h) \times \frac{1}{0,025} \times \left(\frac{(5,93 + 1,34h)h}{5,93 + 2h\sqrt{2,79}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\times 0,0032^{\frac{1}{2}}$$

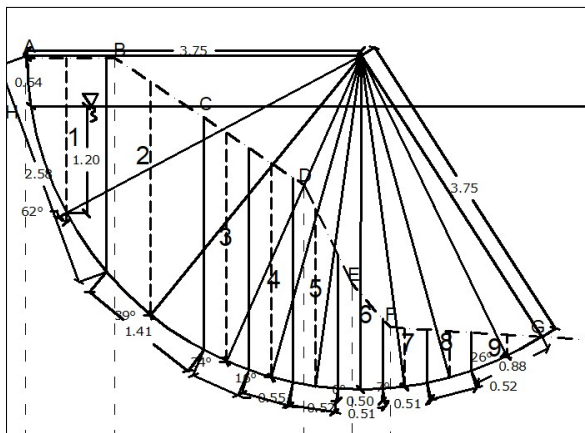
$$h = 2,63 \text{ m}$$



Gambar 6 Profil Muka Air Sungai Unus pada Q2, Q5, Q10 dan Q25

Perhitungan Kestabilan Lereng dengan Metode Potongan *Fillenius*

Dalam perhitungan menggunakan metode ini, akan dibuat sebuah pemodelan lereng dan lereng akan di bagi menjadi 9 pias yang akan menjadi dasar dalam melakukan analisis.

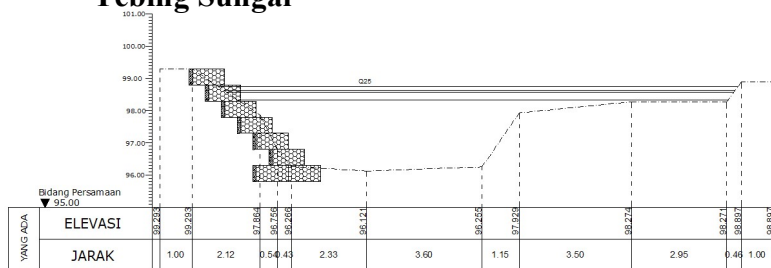


Gambar 7. Analisis lingkaran gelincir dengan memakai cara *Fillenius* pada P1
Tabel 14 Analisis perhitungan stabilitas lereng metode *Fillenius*

Pot	Y (kn/m ³)	luas irisan	W (Kn)	Wtot (Kn)	α (°)	sin α	cos α	Ln	Wtot sin α	Wtot cos α	Ui = ui ai (kN)	Wcos α - ui ai
1	12,06	0,46	5,55	18,81	62	0,88	0,47	2,58	16,59	8,82	30,62	-21,80
	17,004	0,78	13,26									
2	12,06	0,27	3,26	46,11	39	0,63	0,77	1,41	29,05	35,50	31,95	3,55
	17,004	2,52	42,85									
3	17,004	1,28	21,73	21,73	24	0,41	0,91	0,55	8,91	19,78	8,16	11,62
	17,004	1,19	20,23									
4	17,004	0,98	16,66	16,66	8	0,14	0,99	0,51	2,33	16,50	5,58	10,91
	17,004	0,58	9,86									
5	17,004	0,33	5,61	5,61	-7	-0,12	0,99	0,51	-0,67	5,56	3,04	2,51
	17,004	0,25	4,25									
6	17,004	0,18	3,06	3,06	-26	-0,44	0,9	0,88	-1,34	2,75	1,82	0,93
	17,004	0,18	3,06									
jumlah									7,98	59,43	122,31	29,93

Angka faktor keamanan yang didapatkan melalui analisis manual menggunakan metode *Fellenius* didapatkan sebesar 1,01 pada lereng asli dengan kondisi normal sebelum di rencanakan perkuatan. *Hardiyatmo* (2002) menyatakan keadaan lereng berdasarkan nilai angka keamanannya menandakan lereng tersebut dalam keadaan kritis. Akan tetapi fakta di lapangan juga menunjukkan bahwa tebing Sungai Unus tersebut mengalami kelongsoran dan sebagai penanggulangan sementara, warga menggunakan karung berisikan pasir

Desain Bronjong Untuk Perkuatan Tebing Sungai

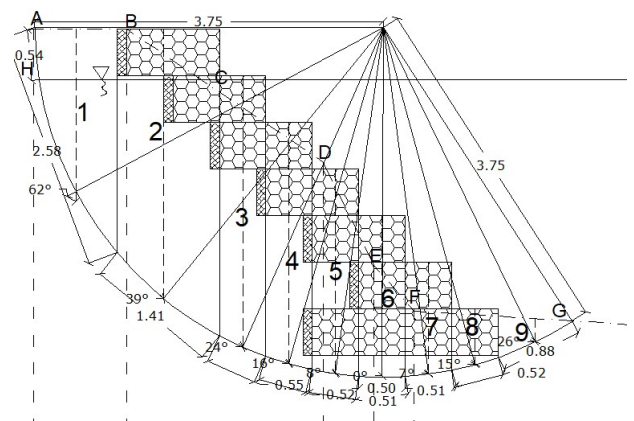


Gambar 8 sketsa desain bronjong Sungai Unus untuk Titik P1

Analisa Stabilitas Bronjong

A. Stabilitas Metode *Fellenius*

Dalam perhitungan menggunakan metode ini, akan dibuat sebuah pemodelan lereng dan lereng akan di bagi menjadi 9 pias yang akan menjadi dasar dalam melakukan analisis



Gambar 9 Analisis Stabilitas Bronjong dengan Metode *Fellenius*

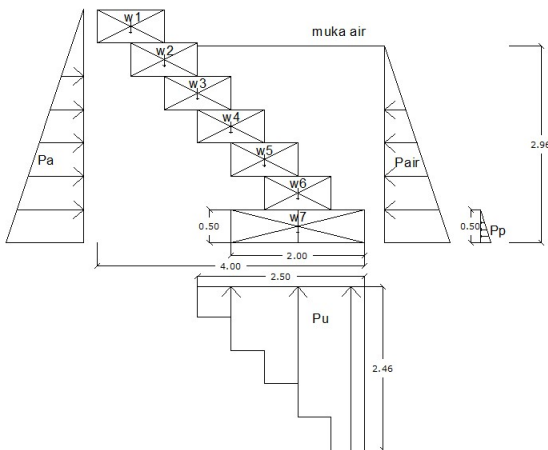
Tabel 16 Analisis perhitungan stabilitas bronjong Metode *Fillenius*

Pot	Y (kn/m)	luas irisan	W (Kn)	Wtot (Kn)	α (°)	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	Ln	Wtot $\sin \alpha$	Wtot $\cos \alpha$	Ui= uai (kN)	Wcos α - uai
1	12,06	0,46	5,55	18,81	62	0,88	0,47	2,58	16,59	8,82	30,62	-21,80
	17,004	0,78	13,26									
2	22	0,75	16,50	56,45	39	0,63	0,78	1,41	35,51	57,23	25,72	31,51
	12,06	0,07	0,84									
	17,004	2,30	39,11									
3	22	0,55	12,10	27,46	24	0,41	0,91	0,55	11,15	25,07	14,83	10,24
	17,004	0,90	15,36									
4	22	0,56	12,21	24,12	16	0,28	0,96	0,52	6,63	23,18	13,16	10,02
	17,004	0,70	11,90									
5	22	0,80	17,51	22,48	8	0,14	0,99	0,51	3,12	22,25	10,95	11,30
	17,004	0,29	4,97									
6	22	0,38	8,25	10,10	0	0	1	0,50	0,00	10,10	8,44	1,66
	17,004	0,11	1,85									
7	22	0,50	11,00	12,56	-7	-0,12	0,99	0,51	-1,52	12,46	5,95	6,51
	17,004	0,09	1,56									
8	22	0,25	5,50	6,19	-15	-0,26	0,97	0,52	-1,60	5,97	3,01	2,97
	17,004	0,04	0,69									
9	17,004	0,18	3,13	3,13	-26	-0,44	0,9	0,88	-1,37	2,81	2,07	0,74
jumlah								7,98	68,52	167,90		53,15

Angka faktor keamanan yang didapatkan melalui analisis manual menggunakan metode Fillenius didapatkan sebesar 0,86 pada lereng setelah di rencanakan perkuatan menggunakan bronjong.

B. Stabilitas Lereng Bronjong

Dalam analisis ini, dilakukan evaluasi mendalam terkait stabilitas geser dan guling dan daya dukung bronjong yang telah direncanakan sebagian dari sistem perlindungan sungai.



Gambar 10 Beban-Beban pada Bronjong

1. Perhitungan kapasitas dukung tanah

$$F = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{q_u - \gamma D_f}{q - \gamma D_f}$$

$$F = \frac{129,44 - (7,19 \times 0,5)}{620,08} = 4,92$$

> 3 (AMAN)

2. Perhitungan stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{f + \left(\frac{2}{3}\right) \cdot c \cdot B + P_p + p_u + \sum W}{P_a}$$

$$SF = \frac{0,35 + \left(\frac{2}{3}\right) \times 38,2 \times 4 + 3,83 + 60,33 + 88}{58,86}$$

$= 2,76 > 1,5$ (AMAN)

3. Perhitungan stabilitas terhadap guling

$$SF = \frac{\sum M + \sum M_p + \mu u}{\sum M_a}$$

$$SF = \frac{170,49 + 0,63 + 75,41}{60,92} = 4,04$$

$> 1,5$ (AMAN)

Rencana Anggaran Biaya

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan estimasi rencana anggaran biaya dari desain perkuatan tebing dengan Panjang 200 m, dan 8 trap bronjong menggunakan dengan dimensi 2 x 1 x 0,5 m yaitu sebesar Rp. 1.122.017.421.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai perencanaan perkuatan lereng menggunakan bronjong pada Sungai Unus Kota Mataram. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan debit banjir kala ulang 2 tahun sebesar 58,05 m³/dt, kala ulang 5 tahun sebesar 69,57 m³/dt, kala ulang 10 tahun sebesar 72,60 m³/dt dan kala ulang 25 tahun didapatkan sebesar 80,02 m³/dt. Dengan mengacu dari data tersebut maka dimensi bronjong yang digunakan yaitu 2 x 1 x 0,5 m dengan jumlah sekat 1 dan kapasitas 1m³

Adapun hasil analisis perhitungan bronjong dengan dimensi bronjong yang digunakan didapatkan angka keamanan bronjong dengan metode Fellenius sebesar 0,86 < 1,5 dan stabilitas terhadap geser 2,76 > 1,5, nilai stabilitas terhadap guling sebesar 4,04 > 1,5 dan nilai daya dukung ultimit 4,92 > 3.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan estimasi rencana anggaran biaya dari desain perkuatan tebing dengan panjang 200 m dengan 8 trap bronjong, menggunakan bronjong dengan dimensi 2 x 1 x 0,5 m yaitu sebesar Rp. 2.224.034.842.

Saran

1. Hasil penelitian tugas akhir ini di harapkan dapat menjadi masukan yang berguna dalam proses pengambilan keputusan untuk kepentingan

penanggulangan potensi gerusan tebing Sungai Unus.

2. Pekerjaan penanggulangan potensi gerusan yang terjadi di Sungai Unus sebaiknya dilakukan secara menyeluruh dan berkesinambungan, juga dengan pengawasan yang serius agar menghasilkan infrastruktur yang bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- Benyamin, E.A., Udiana, I.M., dan Utomo, S. (2017). *Perkuatan Tebing Sungai Menggunakan Bronjong di Sungai Manikin*. Jurnal Teknik Sipil, Vol.VI, No. 2, pp. 187-198
- Daoed, D., Sunaryo., Istijono B., dan Utama W.P. (2015). *Kinerja Perkuatan Tebing Saluran Dengan Bronjong di Belokan 120° Akibat Banjir Bandang (Uji Eksperimental di Laboratorium)*. Jurnal Rekayasa Sipil Vol. 11 No.1, ISSN 1858-2133
- Hoffman, G. J., dan Verheiji, H. J. (1997). *Scour Manual*. (Vol. 96). CRC Press
- Rosihun, M. dan Endaryanta. (2011). *Analisis Stabilitas Talud Bronjong Sungai*. UIN Sunan Kalijaga Ygyakarta, Jurnal Inersia, Vol. : No.2. pp. 182-201
- Safriani, M., dan Sari, D.P., 2018. *Studi Perencanaan Bangunan Bronjong Pada Tikungan Sungai Di Desa Meunasah Buloh*. Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand), 14 (2), 107-120
- Standar Nasional Indonesia, 2003, SNI 03-0090-1999. *Spesifikasi Bronjong Kawat*. Indonesia.
- Triatmodjo B., 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset