

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN BRONJONG MENGGUNAKAN SOFTWARE SLOPE/W ANALYSIS 2018 (KM 15+700)

^{*}Fernanda Disi Vera Agistin¹, Reki Arbianto¹, Sumina¹, Paska Wijayanti¹, Siti Farah Wahida²

¹Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta, Indonesia

²Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Sultan Idris Shah, Selangor, Malaysia

^{*} Email: verananda679@gmail.com

ABSTRACT

This study investigates the slope stability of the Grompol River, one of the major rivers flowing through the Sragen area. The downstream region of the river is highly susceptible to slope instability due to erosion and land subsidence. To address these issues, gabion reinforcement was proposed as an effective slope stabilization method. Therefore, an accurate and efficient slope stability analysis was conducted using both manual calculations and Slope/W Analysis 2018 software. The analysis considered three water level conditions, namely low, medium, and high-water levels, under various loading scenarios including earthquake and surcharge (even) loads. The results indicate that the safety factor of the natural slope subjected to earthquake loading was 1.511 under low water conditions, 1.617 under medium water conditions, and 1.746 under high water conditions. For reinforced slopes subjected to earthquake loading, the safety factors increased significantly to 1.910, 2.169, and 2.589 for low, medium, and high-water conditions, respectively. In addition, the natural slope subjected to both earthquake and surcharge loads recorded safety factors of 1.369, 1.455, and 1.690 under low, medium, and high-water conditions, respectively. Meanwhile, the reinforced slope subjected to earthquake and surcharge loads achieved higher safety factors of 1.653, 1.844, and 2.138 for the respective water level conditions.

Keywords: Slope Stability, Grompol River, Gabion Strengthening, SLOPE/W Analysis 2018 Geotechnical Engineering

ABSTRAK

Sungai Grompol merupakan salah satu sungai yang melintasi wilayah Sragen. Wilayah sekitar hilir Sungai Grompol di Sragen rentan terhadap masalah stabilitas lereng akibat erosi dan penurunan tanah. Dalam mengatasi masalah ini perkuatan bronjong menjadi salah satu solusi yang mungkin efektif. Untuk itu diperlukan analisis stabilitas lereng dengan tepat dan efektif menggunakan perhitungan software dan perhitungan manual. *Software* yang digunakan untuk menganalisis yaitu *Slope/W Analysis 2018*. Penelitian dilakukan dengan pengujian muka air surut, sedang dan pasang, Hasil pengujian dengan 12 kondisi ini menunjukkan keamanan lereng alami diberi beban gempa pada kondisi air surut *Safety Factor* = 1,511; Kondisi air sedang *Safety Factor* = 1,617; Kondisi air pasang *Safety Factor* = 1,746; Lereng dengan perkuatan diberi beban gempa pada kondisi air surut *Safety Factor* = 1,910; Kondisi air sedang *Safety Factor* = 2,169; Kondisi air pasang *Safety Factor* = 2,589; Lereng alami diberi beban gempa dan beban merata dengan kondisi air surut *Safety Factor* = 1,369; Kondisi air sedang *Safety Factor* = 1,455; Kondisi air pasang *Safety Factor* = 1,690; Lereng dengan perkuatan dan beban merata diberi beban gempa kondisi air surut *Safety Factor* = 1,653; Kondisi air sedang *Safety Factor* = 1,844; Kondisi air pasang *Safety Factor* = 2,138.

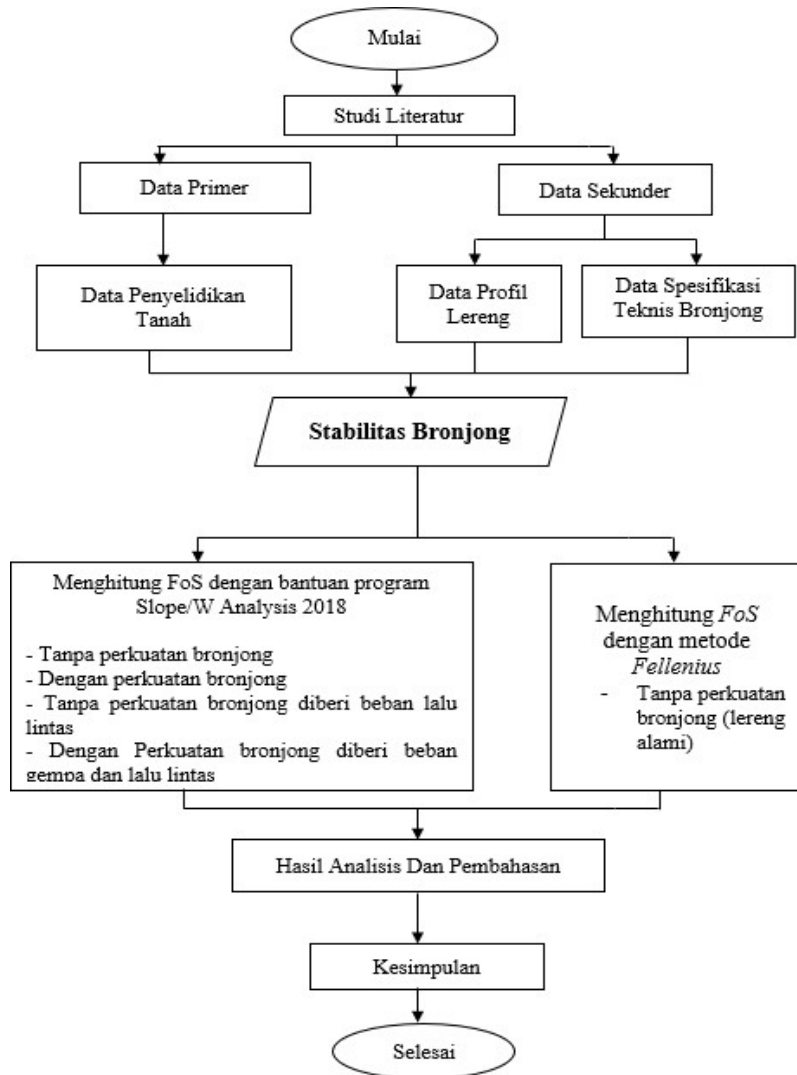
Kata kunci : Stabilitas Lereng, Sungai Grompol, Perkuatan Bronjong, *SLOPE/W Analysis 2018* Rekayasa Geoteknik

1. PENDAHULUAN

Wilayah sekitar hilir Sungai Grompol di Sragen rentan terhadap masalah stabilitas lereng akibat erosi dan penurunan tanah. Dalam mengatasi masalah ini, perkuatan bronjong menjadi salah satu solusi yang mungkin efektif. Bronjong merupakan struktur pemecah gelombang yang terbuat dari batu alam atau bahan sintesis, yang dipasang secara bertumpuk untuk menahan erosi dan mendukung stabilitas lereng. Dalam hal tersebut keamanan dari bangunan rumah penduduk menjadi fokus perhatian yang utama. Fokus keamanan tersebut dengan melindungi masyarakat agar resiko-resiko kerusakan bangunan dan limpasan air sungai tidak terjadi. Gaya gravitasi dan kondisi lereng yang curam sangat berperan dalam menggerakkan tanah ke bawah. Ditambah dengan beban lalu lintas serta bangunan rumah penduduk di atasnya. Untuk itu diperlukan analisis stabilitas lereng dengan tepat dan efektif menggunakan perhitungan software dan perhitungan manual. *Software* yang digunakan untuk menganalisis yaitu *Slope/W Analysis 2018*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan dibantu oleh *Software Slope/W (Analysis 2018)*. Analisis ini membahas mengenai stabilitas lereng pada kondisi sebelum diberi perkuatan, kondisi setelah diberi perkuatan pemasangan bronjong dan kondisi setelah diberi asumsi beban gempa dan beban yang terjadi lainnya. Parameter yang digunakan antara lain fluktuasi muka air tanah, kombinasi beban yang bekerja dan konfigurasi pemasangan bronjong.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada awal bagian ini, Interpretasi data uji Sondir melibatkan analisis statistik dan pengalaman dalam menafsirkan nilai NSPT dan korelasinya dengan kondisi tanah di lapangan. Penggunaan perangkat lunak geoteknik dapat mempermudah proses ini dengan menyediakan alat untuk visualisasi dan analisis data yang lebih mendalam.

Tabel 1.1 Data Sondir

kedalaman (m)	conus (kg/cm ²)	conus + cleef (kg/cm ²)	cleef (kg/cm ²)	total (kg/cm)	JHP (kg/cm)	HS (kg/cm)
1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0
0.2	0	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	0	0	0
0.6	0	0	0	0	0	0
0.8	0	0	0	0	0	0
-1	0	0	0	0	0	0
1.2	0	0	0	0	0	0
1.4	0	0	0	0	0	0
1.6	0	0	0	0	0	0
1.8	0	0	0	0	0	0
-2	0	5	5	10	10	0.5

kedalaman (m)	conus (kg/cm ²)	conus + cleef (kg/cm ²)	cleef (kg/cm ²)	total (kg/cm)	JHP (kg/cm)	HS (kg/cm)
1	2	3	4	5	6	7
2.2	0	10	10	20	30	1
2.4	5	10	5	10	40	0.5
2.6	5	10	5	10	50	0.5
2.8	0	10	10	20	70	1
-3	5	10	5	10	80	0.5
3.2	5	10	5	10	90	0.5
3.4	5	10	5	10	100	0.5
3.6	0	15	15	30	130	1.5
3.8	5	15	10	20	150	1
-4	15	25	10	20	160	1
4.2	15	25	10	20	180	1
4.4	15	20	5	10	190	0.5
4.6	15	25	10	20	210	1
4.8	15	30	15	30	240	1.5
-5	15	30	15	30	270	1.5
5.2	20	30	10	20	290	1
5.4	15	25	10	20	310	1
5.6	10	30	20	40	350	2
5.8	10	20	10	20	370	1
-6	15	25	10	20	390	1
6.2	15	20	5	10	400	0.5
6.4	20	30	10	20	420	1
6.6	20	35	15	30	450	1.5
6.8	35	45	10	20	470	1
-7	30	50	20	40	510	2
7.2	25	40	15	30	540	1.5
7.4	25	40	15	30	570	1.5
7.6	20	35	15	30	600	1.5
7.8	20	35	15	30	630	1.5
-8	10	15	5	10	640	0.5
8.2	10	25	15	30	670	1.5
8.4	20	30	10	20	690	1
8.6	20	30	10	20	710	1
8.8	15	25	10	20	730	1
-9	15	25	10	20	750	1
9.2	20	35	15	30	780	1.5
9.4	20	30	10	20	800	1
9.6	20	30	10	20	820	1
9.8	15	20	5	10	830	0.5
-10	15	30	15	30	860	1.5
10.2	15	25	10	20	880	1
10.4	15	25	10	20	900	1
10.6	20	30	10	20	920	1
10.8	15	30	15	30	950	1.5
-11	30	40	10	20	970	1
11.2	20	35	15	30	1000	1.5
11.4	25	35	10	20	1020	1
11.6	30	40	10	20	1040	1
11.8	25	40	15	30	1070	1.5
-12	20	40	20	40	1110	2
12.2	30	40	10	20	1130	1
12.4	25	40	15	30	1160	1.5
12.6	30	35	5	10	1170	0.5
12.8	30	40	10	20	1190	1

3.1 N-SPT (Nilai *Standart Penetration Test*)

Perhitungan data N-SPT dari pengolahan data Sondir merupakan hasil pengukuran yang penting dalam geoteknik untuk mengevaluasi sifat-sifat mekanik tanah. Data NSPT mencerminkan resistensi tanah terhadap penetrasi dan memberikan indikasi tentang kepadatan dan kekuatan tanah

Tabel 1.2 Data N-SPT

Kedalaman	Jenis tanah	qc (kg/cm ²)	N-SPT	Cu (ton/m ²)	C'	phi °	
0.00-7.60	Butiran	2.69	0.67	0.47	4.71	0.47	18.67
7.80-10.00	Lanau	24.58	6.15	4.30	43.02	4.30	26.09
10.20-12.40	Lanau	30.00	7.50	5.25	52.50	5.25	27.25
12.60-13.00	Pasir	61.67	15.42	10.79	107.92	10.79	32.56
13.60-16.60	Pasir	41.25	10.31	7.22	72.19	7.22	29.36
16.80-18.40	Pasir	94.44	23.61	16.53	165.28	16.53	36.73

Sumber: Perhitungan pribadi, 2024

Tabel 1.3 Data N-SPT

Kedalaman	Jenis Tanah	qc (kg/cm ²)	N-SPT	Cu (ton/m ²)	C'	phi °
0.00-2.00	butiran	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00
2.20 - 3.80	lempung	10.56	2.64	1.85	18.47	11.85
4.00 - 5.60	lanau	15.00	3.75	2.63	26.25	2.63
5.80 - 8.20	lanau	19.62	4.90	3.43	34.33	3.43
8.40 - 10.80	lempung	17.31	4.33	3.03	30.29	3.03
11.00 - 17.00	lempung	27.90	6.98	4.88	48.83	4.88
17.20 - 19.40	pasir	76.25	19.06	13.34	133.44	13.34

Tabel 1.4 Data N-SPT

Kedalaman	Jenis tanah	qc (kg/cm ²)	N-SPT	Cu (ton/m ²)	C'	phi °
0.00 - 2.00	butiran	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00
2.20 - 5.00	lanau	38.67	9.67	6.77	67.67	6.77
5.60 - 9.00	pasir	43.06	10.76	7.53	75.35	7.53
9.40 - 17.60	pasir	54.17	13.54	9.48	94.79	9.48
17.80 - 21.40	pasir	48.95	12.24	8.57	85.66	8.57

**Gambar 2.** Grafik N-SPT

3.2 Geometri Lereng

Data geometri lereng berdasarkan NSPT dikumpulkan melalui pengujian Sondir yang menyediakan nilai NSPT pada kedalaman tertentu. Data ini kemudian dianalisis untuk memahami kondisi mekanik tanah dan karakteristik geometris lereng yang relevan. Analisis lebih lanjut bisa dilakukan menggunakan perangkat lunak geoteknik untuk memprediksi perilaku dan stabilitas lereng secara lebih rinci.

Tabel 1.5 Data Geometri

Kedalaman	Jenis tanah	Konsistensi / Kepadatan
0.00-7.60	Butiran	Sangat lunak
7.80-10.00	Lanau	Teguh
10.20-12.40	Lanau	Teguh
12.60-13.00	Pasir	Sangat kaku
13.60-16.60	Pasir	Kaku

16.80-18.40 Pasir Sangat kaku

Tabel 1.6 Data geometri titik

Kedalaman	Jenis tanah	Konsistensi / Kepadatan
0.00-2.00	butiran	Sangat lunak
2.20 - 3.80	lempung	Teguh
4.00 - 5.60	lanau	Teguh
5.80 - 8.20	lanau	Teguh
8.40 - 10.80	lempung	Teguh
11.00 - 17.00	lempung	Teguh
17.20 - 19.40	pasir	Sangat kaku

Tabel 1.7 Geometri Lereng Titik

Kedalaman	Jenis tanah	Konsistensi / Kepadatan
0.00 - 2.00	butiran	Sangat lunak
2.20 - 5.00	lanau	Kaku
5.60 - 9.00	pasir	Kaku
9.40 - 17.60	pasir	Kaku
17.80 - 21.40	pasir	Kaku
21.60 - 23.20	pasir	Kaku

3.3 Metode Fellenius

Penerapan metode Fellenius dibuat contoh perhitungan pada pias No. 1 dengan berat volume tanah (γ_b) = 17,72 kN/m³, kohesi tanah (c) = 65,5 kPa, sudut geser dalam (ϕ) = 0°, nilai angka pori (e) = 1,23, berat jenis tanah (G_s) = 2,34 (lempung anorganik) dan berat jenis air (γ_w) = 9,81 kN/m³.

1. Menghitung berat volume jenuh air:

$$\begin{aligned} \gamma_{sat} &= \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e} \\ &= \frac{9,81 (2,34 + 1,23)}{1 + 1,23} \\ &= 11,772 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

2. Menghitung berat volume efektif:

$$\begin{aligned} \gamma' &= \gamma_{sat} - \gamma_w \\ &= 11,772 - 9,81 \\ &= 1,962 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

3. Menghitung berat volume tanah efektif:

$$\begin{aligned} \gamma_b' &= \gamma_b - \gamma' \\ &= 17,72 - 1,962 \\ &= 15,758 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

4. Cara menghitung gaya berat dan tekanan air pori adalah sebagai berikut:

Luas area pias (A)	= ½ x a x t
Berat pias (W _i)	= A x γ_b'
Ordinat tekanan air pori	= didapat dari rencana m.a.t
Tekanan air pori	= Ordinat tekanan air pori x γ_{sat}
Panjang garis longsor (a _i)	= didapat dari gambar
Gaya akibat tekanan air pori (U _i)	= $u_i \times a_i$
Sudut yang didefinisikan (θ)	= Didapat dari gambar

Tabel 1.8 Tabel Perhitungan Fellenius

No. Pias	Luas Pias	Wi = A. γb'	Ui	ai	θi	Ui= ui-ai	Wi cos θi	Wi sin θi	Wi cos θi-Ui
1	0.0838	1.0595	29.43	0.6193	95	18.2260	-0.09	1.06	-18.32
2	0.2409	3.0457	29.43	0.5622	79	16.5455	0.58	2.99	-15.96
3	0.4142	5.2368	29.43	0.5594	77	16.4631	1.18	5.10	-15.29
4	0.5569	7.0410	29.43	0.5220	73	15.3625	2.06	6.73	-13.30
5	0.6848	8.6580	29.43	0.4925	68	14.4943	3.24	8.03	-11.25
6	0.8002	10.1171	29.43	0.4686	64	13.7909	4.44	9.09	-9.36
7	0.9049	11.4408	29.43	0.4488	59	13.2082	5.89	9.81	-7.32
8	1.0002	12.6457	29.43	0.4322	57	12.7196	6.89	10.61	-5.83
9	1.0872	13.7456	29.43	0.4181	55	12.3047	7.88	11.26	-4.42
10	0.8537	10.7935	29.43	0.3007	53	8.8496	6.50	8.62	-2.35
11	0.8941	11.3042	29.43	0.2948	50	8.6760	7.27	8.66	-1.41
12	0.9006	11.3864	29.43	0.2894	49	8.5170	7.47	8.59	-1.05
13	0.8747	11.0590	29.43	0.2847	48	8.3787	7.40	8.22	-0.98
14	1.1733	14.8342	29.43	0.3729	45	10.9744	10.49	10.49	-0.49

Dengan memperhatikan jari-jari dan sudut yang diapit, maka didapatkan panjang garis A sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Garis A} &= \frac{\text{Derajat} \times 2\pi}{360} \\ &= \frac{95}{360} \times 2 \times 3,14 \times 6.0622 \\ &= 10.046 \text{ m} \end{aligned}$$

Tahanan terhadapplongsoran yangdikerahkan oleh komponen kohesi:

$$\begin{aligned} \Sigma c.A &= c \times A \\ &= 21 \times 10.046 \\ &= 210.975 \text{ Kn} \end{aligned}$$

Mencari nilai tekanan hidrostatik :

$$\begin{aligned} a &= 2.231 \\ t &= 3 \text{ m} \\ ph &= L' \times \gamma' \\ &= (1/2 \times a \times t) \times \gamma' \\ &= (1/2 \times 2,231 \times 3) \times 5,207 \\ &= 17,425 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Mencari nilai *Safety Factor* (SF) :

$$\begin{aligned} \text{Faktor aman (SF)} &= \frac{\Sigma c.A + (\Sigma W_i \cos \theta_i - U_i) \cdot \tan \phi + ph}{\Sigma W_i \sin \theta_i} \\ &= \frac{210.975 + (-66.92 \times \tan 0) + 17,425}{185.27} \\ &= 1,233 < 1,5 \text{ (Tidak Aman)} \end{aligned}$$

3.4 Rekapitulasi hasil analisis

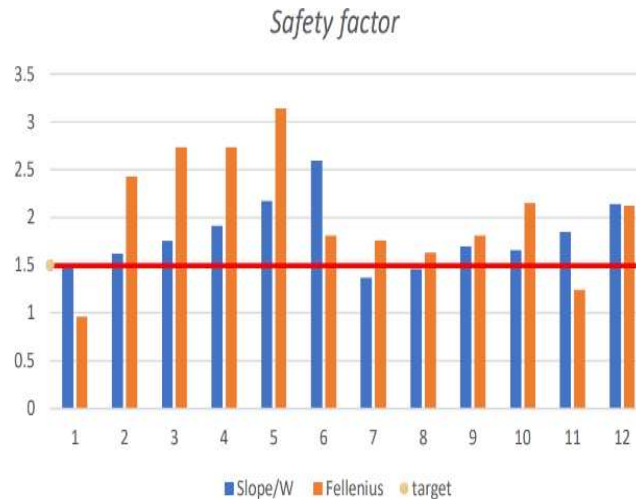
Tabel 1.9 Rekapitulasi hasil analisis

No	Tipe Pemodelan	Uraian	Safety Factor		Ket
			Slope/W	Fellenius	
1	Model 1	Lereng tanpa perkuatan bronjong dan beban pada kondisi air surut	1,511	1,907	Aman
2	Model 2	Lereng tanpa perkuatan bronjong dan beban pada kondisi air sedang	1,617	2,425	Aman
3	Model 3	Lereng tanpa perkuatan bronjong dan beban pada kondisi air pasang	1,746	2,732	Aman
4	Model 4	Lereng dengan perkuatan bronjong pada kondisi air surut	1,910	2,734	Aman
5	Model 5	Lereng dengan perkuatan bronjong pada kondisi air surut	2,169	3,142	Aman
6	Model 6	Lereng dengan perkuatan bronjong pada kondisi air pasang	2,589	1,807	Aman
7	Model 7	Lerengdengan beban gempa pada kondisi air surut	1,369	1,753	Tidak aman
8	Model 8	Lerengdengan beban gempa pada kondisi air sedang	1,455	1,625	Tidak aman
9	Model 9	Lerengdengan beban gempa pada kondisi air pasang	1,690	1,806	Aman
10	Model 10	Lerengdengan perkuatanbronjong dengan beban gempa pada kondisi	1,822	2,146	Aman

No	Tipe Pemodelan	Uraian	Safety Factor		Ket
			Slope/W	Fellenius	
11	Model 11	air surut Lerengdengan perkuatanbronjong dengan beban gempa pada kondisi	1,844	1,241	Aman
12	Model 12	air sedang Lerengdengan perkuatanbronjong dengan beban gempa pada kondisi air pasang	2,138	2,121	Aman

3.5 Hubungan safety factor

Hasil analisis *Software Slope/W* digunakan untuk membandingkan hasil perhitungan manual sehingga perhitungan manual dengan menggunakan metode Fellenius dapat digunakan dalam perhitungan analisis stabilitas lereng.



Gambar 3 Safety Factor

4. KESIMPULAN

Hasil perhitungan Lereng alami tanpa perkuatan bronjong diberi beban gempa menggunakan *Software Slope/W Analysis* 2018 didapatkan *Safety Factor* (SF) aman, metode fellenius didapatkan *Safety Factor* (SF) aman. Lereng dengan perkuatan bronjong diberi beban gempa menggunakan *Software Slope/W Analysis* 2018 didapatkan *Safety Factor* (SF) aman, metode fellenius didapatkan *Safety Factor* (SF) aman. Lereng alami diberi beban gempa dan beban merata (lalu lintas) menggunakan *Software Slope/W Analysis* 2018 didapatkan *Safety Factor* (SF) tidak aman, metode fellenius didapatkan *Safety Factor* (SF) aman. Lerengdenganperkuatan bronjongdan beban merata diberi beban gempa menggunakan *Software Slope/W Analysis* 2018 didapatkan *Safety Factor* (SF) aman, metode fellenius didapatkan *Safety Factor* (SF) aman.

Menurut (*SNI 8460:2017*) apabila nilai faktor kestabilan lereng lebih dari $> 1,5$ maka massa tanah pada lereng dianggap stabil, dan apabila nilai kestabilan lereng kurang dari $< 1,5$ massa tanah pada lerengdianggap tidak stabil, jika $FK = 1,5$ Massa tanah pada lereng diambang kelongsoran. Hasil analisis menggunakan *Software Slope W Analysis* 2018 didapatkanhasil Saat air pasang, *safety factor* tinggi dikarenakanair sungai menekantanah di lereng yang bisa memberikan dukungan tambahan terhadap kestabilan lereng. Namun saat air surut, *safety factor* rendah dikarenakan tekanan air yang memberikan dukungan ini berkurang atau bahkan hilang, membuat lereng lebih rentan terhadap pergerakan tanah yang tidak terkendali

DAFTAR PUSTAKA

- D. Daoed, S. Sunaryo, B. Istijono, and W. P. Utama, "Kinerja Perkuatan Tebing Saluran Dengan Bronjong Di Belokan 1200 Akibat Banjir Bandang(Uji Eksperimental Di Laboratorium)," *Jurnal Rekayasa Sipil(JRS-Unand)*, vol. 11, no. 1, p. 11, 2015, doi: 10.25077/jrs.11.1.11-22.2015.
- A. RPratama, "Analisis Stabilitas Struktur Pelindung Pantai Batu Bronjong," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 9, no. 65, pp. 1–83, 2013.

A. Stabilitas, L. Dengan, B. Menggunakan, and M. Bishop, “(So Hok Gie),” 2016.

M. M. Murri, N. S. Surjandari, and S. As’ad, “Analisis Stabilitas Lereng dengan Pemasangan Bronjong (Studi Kasus di Sungai Gajah Putih, Surakarta),” *e-Journal Matriks Teknik Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 162–169, 2014.

R. T. Prayitno, B. Setiawan, and H. Dananjaya, “Analisis Stabilitas Lereng Bertingkat Dengan Perkuatan Gabion,” *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, pp. 297–304, 2017.

B. Prasetyo Utomo, “ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN SOIL NAILING DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM GEOSLOPE (Studi Kasus,” *Universitas Islam Indonesia*, 2019.

M. Safriani and D. P. Sari, “Studi Perencanaan Bangunan Bronjong Pada Tikungan Sungai Di Desa Meunasah Buloh,” *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, vol. 14, no. 2, p. 107, 2018, doi: 10.25077/jrs.14.2.107-120.2018. “sni-03-0090-1999pdf_compress”.

“Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus 1”, doi: 10.1520/B0117-16.