

## ANALISIS STABILITAS LERENG HILIR *SPILLWAY* PROYEK BENDUNGAN BAGONG TRENGGALEK MENGGUNAKAN DINDING PENAHAN TANAH TIPE *COUNTERFORT*

Nicky Rana Afifah<sup>1\*</sup>, Moch. Sholeh<sup>2</sup>, Ikrar Hanggara<sup>3</sup>

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>3</sup>

Koresponden\*, [nickyrf12@gmail.com](mailto:nickyrf12@gmail.com)<sup>1</sup>, [moch.sholeh@polinema.ac.id](mailto:moch.sholeh@polinema.ac.id)<sup>2</sup>, [ikrar.hanggara@polinema.ac.id](mailto:ikrar.hanggara@polinema.ac.id)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Proyek Bendungan Bagong di Trenggalek terdapat lereng dengan kemiringan curam yang berpotensi longsor, sehingga diperlukan perkuatan menggunakan dinding penahan tanah tipe *counterfort*. Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan metode Fellenius. Stabilitas dinding penahan dianalisis terhadap penggulingan, pergeseran, dan kapasitas daya dukung tanah. Evaluasi stabilitas kelongsoran global juga dilakukan setelah penambahan dinding *counterfort* menggunakan perhitungan manual dan *software Geo5*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor keamanan lereng eksisting dalam kondisi normal adalah 1,18 dan kondisi gempa adalah 0,77 dengan perhitungan manual, serta 0,97 dan 0,86 menggunakan *software Geo5*. Stabilitas dinding *counterfort* dengan dimensi lebarnya 6,16 meter dan tingginya 8,20 meter memiliki faktor keamanan terhadap guling, geser, dan kapasitas daya dukung sebesar 3,44; 3,32; dan 8,26 dalam kondisi normal, serta 2,47; 1,35; dan 8,23 pada kondisi gempa melalui perhitungan manual. Analisis menggunakan program menunjukkan nilai 3,37; 2,15; dan 8,34 dalam kondisi normal, serta 2,02; 1,14; dan 5,94 pada kondisi gempa. Setelah penambahan dinding *counterfort*, faktor keamanan lereng mencapai 1,65 pada kondisi normal dan 1,19 pada kondisi gempa menggunakan program, serta 1,67 dan 1,54 secara manual. Pelaksanaan dinding *counterfort* meliputi galian tanah, pembesian, bekisting, pengecoran, dan pemeliharaan beton. Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk dinding penahan tanah tipe *counterfort* sebesar Rp 5.213.208.000,00 dengan panjang dinding 70,80 meter.

**Kata kunci** : Stabilitas lereng, Dinding penahan, Tipe *Counterfort*, *Fellenius*, *Geo5*

### ABSTRACT

*The Bagong Dam project in Trenggalek has a steep slope that is potentially landslide, so additional support is required by using counterfort-type retaining walls. The slope stability analysis uses the Fellenius method. The stability of the support walls is analyzed against the overturning, sliding, and bearing capacity. Evaluation of global stability was also carried out after the addition of counterfort walls by using manual calculations and Geo5 software. The result shows that the safety factor of the slope in normal conditions is 1.18 and under seismic load is 0.77 by using manual calculation; meanwhile, by using the Geo5 software, the result is 0.97 and 0.86, respectively. The safety factor resulting from the counterfort wall stability (6.16 meters wide x 8.20 meters high) against overturning, sliding, and bearing capacity is 3.44, 3.32, and 8.26, respectively, under normal circumstances. Meanwhile, the safety factor under seismic load is 2.47, 1.35, and 8.23, respectively, by using manual calculations. On the other hand, by using Geo5 software, the safety factor under normal circumstances against overturning, sliding, and bearing capacity of 3.37, 2.15, and 8.34, simultaneously, and under seismic loading is 2.02, 1.14, and 5.94, respectively. After the addition of counterfort walls, the slope safety factor reached 1.65 under normal conditions and 1.19 under seismic loading by using Geo5 software, as well as 1.67 and 1.54 by using manual calculation. The construction method of the counterfort walls includes soil excavation, rebaring, formwork construction, casting, and curing. The estimated cost of a counterfort-type retaining wall is IDR 5,213,208,000.00 with a wall length of 70,80 meters.*

**Keywords** : Slope stability, Retaining wall, Counterfort-type, Fellenius, Geo5

## 1. PENDAHULUAN

Bendungan Bagong, dibangun oleh Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, terletak di Desa Sumurup dan Desa Sengon, Kecamatan Bendungan, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. Pekerjaan galian dan timbunan sering mengubah topografi alamiah area proyek, sehingga membentuk lereng curam yang rentan terhadap masalah stabilitas tanah seperti longsor. Lereng merupakan bidang miring yang tercipta karena adanya beda tinggi antara bidang tanah dan bidang lainnya dan dapat terjadi akibat alam maupun buatan manusia (Anggraini, Riskiyah & Purnomo, 2022). Lereng alam adalah lereng yang terbentuk oleh proses alami seperti perbukitan, sementara lereng buatan adalah lereng yang dipadatkan oleh proses seperti tanggul atau bendungan urugan tanah. Kemiringan lereng di area disposal, tepatnya di tepi sungai hilir bangunan pelimpah, memiliki perbedaan elevasi signifikan yang perlu dianalisis dan ditangani. Elevasi disposal mencapai  $\pm 252,000$  m, sementara dasar sungai pada hilir spillway berada di  $\pm 213,500$  m dan hilir disposal di  $\pm 182,000$  m. Dinding penahan tanah adalah bangunan struktur yang berfungsi untuk menahan tanah lepas atau alami dan mencegah keruntuhan pada lereng yang tidak stabil atau berpotensi longsor serta menjaga kestabilan lereng atau tanah timbunan (Prasetyo, 2020). Dengan adanya dinding penahan tanah yang kokoh dan terencana dengan baik, diharapkan dapat mengurangi risiko erosi dan longsor yang dapat timbul akibat tekanan air dari limpasan spillway menuju lereng area disposal.

Penelitian ini menganalisis kestabilan lereng menggunakan metode Fellenius karena kesederhanaan dan kemudahannya dibandingkan metode lain. Meskipun sederhana, metode ini memberikan hasil akurat dan telah banyak digunakan dalam studi sebelumnya. Perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah tipe *counterfort*, memperhatikan faktor keamanan terhadap stabilitas guling, geser, dan kapasitas daya dukung tanah. Tipe *counterfort* dipilih karena mampu mengurangi tekanan lateral dan meningkatkan stabilitas guling serta geser.

Analisis lereng dan perkuatan dinding penahan tanah dilakukan menggunakan perhitungan manual dan program *Geo5*. Program ini mempermudah dan mempercepat analisis serta digunakan untuk membandingkan hasil. *Geo5* adalah perangkat lunak yang populer di kalangan ahli geoteknik untuk analisis geologi dan perencanaan desain geoteknik.

## 2. METODE

Dalam analisis penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, diantaranya sebagai berikut.

- Nilai koefisien gempa mengacu pada SNI 1726:2019 (Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung) dan SNI 8460:2017 (Peraturan Perancangan Geoteknik).
- Analisis stabilitas lereng pada kondisi eksisting menggunakan program *Geo5* dengan metode *Fellenius* hingga mendapatkan faktor keamanan pada kondisi normal (tanpa gempa) dan kondisi gempa.
- Jika nilai faktor keamanan belum memenuhi syarat sebesar  $> 1,5$  pada kondisi normal dan  $> 1,1$  pada kondisi gempa, maka dilanjutkan dengan perencanaan dimensi dinding penahan tanah tipe *counterfort*.
- Penentuan dimensi dinding penahan tanah tipe *counterfort* sesuai dengan persyaratan SNI 8460:2017.
- Analisis stabilitas dinding penahan tanah tipe *counterfort* yakni stabilitas guling, geser, dan kapasitas daya dukung menggunakan perhitungan manual dan program *Geo5*. Faktor keamanan izin stabilitas terhadap guling yaitu 2, stabilitas terhadap geser yaitu 1,5 dan terhadap kapasitas daya dukung yaitu 3.
- Analisis stabilitas lereng setelah penambahan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan program *Geo5* dan perhitungan manual pada kondisi normal dan gempa.
- Metode pelaksanaan dinding penahan tanah tipe *counterfort*.
- Perhitungan rencana anggaran biaya dinding penahan tanah tipe *counterfort*.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Aplikasi Respon Spektra 2021, nilai PGA Kabupaten Trenggalek didapatkan sebesar 0,4731 gal.



Gambar 1. Nilai PGA Lokasi Proyek

Nilai  $\bar{N}$  adalah 49. Maka, menurut SNI 1726:2019 tanah pada lokasi lereng bagian hilir spillway diklasifikasikan sebagai tanah sedang (SD) karena nilainya antara 15 sampai 50. Maka didapatkan nilai FPGA yaitu sebesar 1,1.

**Tabel 1.** Faktor Amplikasi untuk PGA Trenggalek

Kelas situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,5
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss ≥ 1,25
Batuan (SB)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan keras (SA)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus (FK)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI 8460, 2017

Perhitungan koefisien seismik horizontal (Kh) sebagai berikut:

Perhitungan nilai PGAM

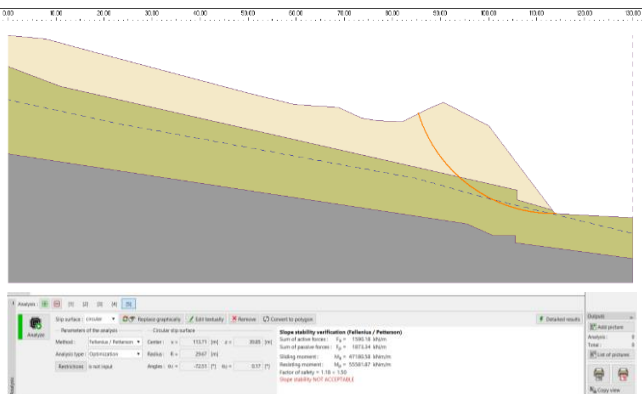
$$PGAM = F_{PGA} \times PGA = 1,1 \times 0,4731 = 0,520$$

Perhitungan nilai Kh

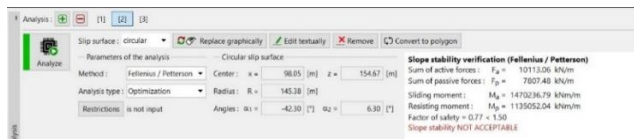
$$Kh = 0,5 \times \frac{PGAM}{g} = 0,5 \times \frac{0,520}{1} = 0,260$$

**Stabilitas Lereng Eksisting**

Perhitungan stabilitas lereng eksisting menggunakan program *GEOS* dengan menginput gambar potongan melintang dan parameter tanah. Nilai faktor keamanan pada kondisi normal 1,18 dan kondisi gempa 0,77 artinya keduanya tidak aman karena kurang dari faktor ijin sebesar 1,5 untuk kondisi normal dan 1,1 kondisi gempa.



**Gambar 2.** Stabilitas Lereng Eksisting Kondisi Normal



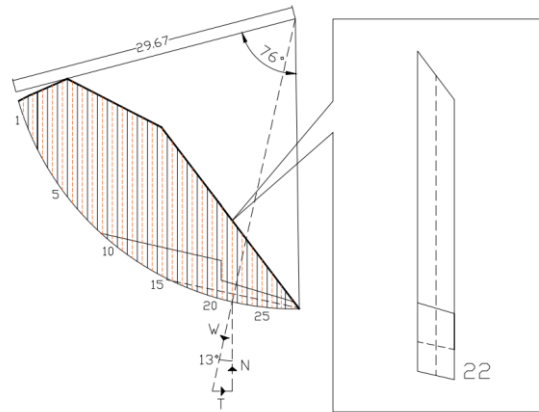
**Gambar 3.** Stabilitas Lereng Eksisting Kondisi Gempa

Untuk perhitungan stabilitas lereng eksisting menggunakan perhitungan manual metode *Fellenius* sebagai berikut.

**Gambar 4.** Bidang Longsor Lereng Eksisting

1. Menyiapkan gambar potongan melintang lereng pada AutoCAD untuk perhitungan analisis.
2. Menggambar bidang longsor dengan jari-jari sebesar 28 meter.
3. Membuat irisan pada bidang longsor dengan membayanya menjadi 28 irisan.

4. Dalam perhitungan analisis ini menggunakan contoh irisan ke-22, kemudian menghitung luas irisannya.



- Luas bagian I

$$\text{Luas Trapesium} = \frac{(a+b)}{2} \times t = \frac{(5,817+6,844)}{2} \times 1 = 6,3305 \text{ m}^2$$

- Luas bagian II

$$\text{Luas Trapesium} = \frac{(a+b)}{2} \times t = \frac{(0,975+1,057)}{2} \times 1 = 1,016 \text{ m}^2$$

- Luas bagian III

$$\text{Luas Trapesium} = \frac{(a+b)}{2} \times t = \frac{(0,818+0,805)}{2} \times 1 = 0,812 \text{ m}^2$$

5. Menghitung berat irisan (W) dari perhitungan hasil kali luas setiap irisan (A) dan berat volume ( $\gamma$ ).
6. Menentukan sudut bidang longsor dari arah gaya berat setiap irisan ( $\alpha$ ). Sudut irisan ke-12 sebesar 13°.
7. Menghitung beban berat tangensial bidang longsor dari perhitungan hasil kali berat irisan dan  $\sin \alpha$ .  
 $T = W_{12} \times \sin \alpha = 94,771 \times \sin 13^\circ = 21,319 \text{ kN}$
8. Menghitung beban berat vertikal dari perhitungan hasil kali berat irisan dan  $\cos \alpha$ .  
 $N = W_{12} \times \cos \alpha = 94,771 \times \cos 13^\circ = 20,773 \text{ kN}$
9. Perhitungan nilai Ne dan Te pada irisan ke-22 dihitung seperti dibawah ini:  
 $Ne = W_{22} \sin \alpha \times Kh = 21,319 \times 0,260 = 5,547 \text{ kN}$   
 $Te = W_{12} \cos \alpha \times Kh = 20,773 \times 0,260 = 5,405 \text{ kN}$
10. Menghitung tekanan air pori (u) dari perhitungan kedalaman air (Hw) dan berat volume air ( $\gamma_w$ ).  
 $u_{12} = H_w \times \gamma_w = 0,8162 \times 9,810 = 8,007 \text{ kN/m}^2$
11. Menentukan panjang garis bidang longsor (l) setiap irisan. Panjang lengkung irisan ke-12 adalah 1,025 meter.
12. Menghitung gaya akibat tekanan air pori (U) dari hasil kali tekanan air pori (u) dan panjang garis bidang longsor (l).  
 $U = u \times l = 8,007 \times 1,025 = 8,207 \text{ kN}$

13. Menghitung tahanan terhadap longsor akibat kohesi dari perhitungan kohesi (c) dengan panjang lengkung (l) setiap irisan.

c. l = kohesi lapisan 2 x panjang irisan ke-12

$$= 33,24 \times 1,025 = 34,075 \text{ kN}$$

14. Menghitung faktor keamanan dari keseluruhan perhitungan manual stabilitas lereng.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c.l + (W_i \cos \alpha_i - \mu_i l_i) \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \alpha_i}$$

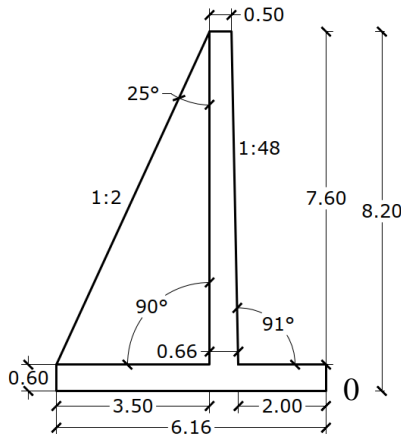
$$= \frac{1534,560 + 272,382}{1578,845} = 0,97 < 1,5 \text{ (Tidak Aman)}$$

$$SF_{\text{gempa}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c.l + (W_i \cos \alpha_i - \mu_i l_i + Ne) \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \alpha_i + Te}$$

$$= \frac{1262,178 + 370,980}{1578,845 + 311,714} = 0,86 < 1,1 \text{ (Tidak Aman)}$$

### Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Setelah menganalisis lereng eksisting dimana kondisi lereng yang kurang stabil pada kondisi normal maupun gempa, maka perlu adanya perkuatan pada lereng berupa dinding penahan tanah. Tipe dinding penahan tanah yang digunakan adalah tipe *counterfort*, karena memiliki tingkat kekakuan yang tinggi serta dapat mendistribusikan beban lateral secara merata ke pondasi sehingga mengurangi tekanan pada dinding.



Gambar 5. Dimensi Dinding Penahan Tipe *Counterfort*

Data-data pada dinding penahan tanah tipe *counterfort* yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Dinding penahan tanah terbuat dari beton bertulang.
- Berat volume beton bertulang sebesar 24 kN/m<sup>3</sup>.
- Mutu beton dinding penahan tanah sebesar 25 MPa.
- Panjang dinding penahan yaitu 70,8 meter.
- Untuk satu segmen dinding sepanjang 6,6 meter.

### Perhitungan Manual

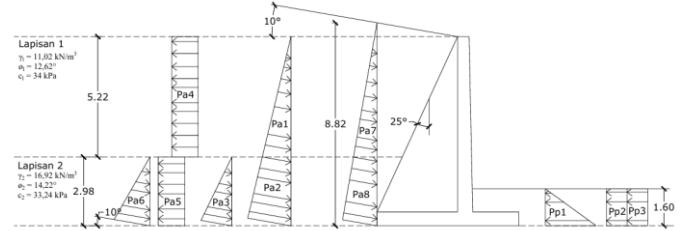
Untuk perhitungan manual analisis stabilitas dinding penahan sebagai berikut.

1. Menghitung gaya dan momen vertikal dinding pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Perhitungan Gaya dan Momen Vertikal

No	Luas (m <sup>2</sup> )	Panjang (m)	V (m <sup>3</sup> )	Berat Jenis (kN)	Berat W (kN/m <sup>3</sup> )	Jarak dari 0 (m)	Momen dari 0 (kN)
1	3.70	6.6	24.39	24	585.45	3.08	1803.17
2a	5.74	0.6	3.44	24	82.60	3.87	319.23
2b	1.42	0.6	0.85	24	20.39	5.07	103.39
3	6.29	0.6	3.77	24	90.58	2.66	240.94
4	1.51	6.6	9.97	24	239.39	2.33	557.78
5	2.90	6.6	19.12	24	458.90	2.33	1069.24
6	2.00	6.6	13.20	16.92	223.34	1.00	223.34
7	15.21	6.6	100.37	11.02	1106.04	6.16	6813.18
8	13.44	6	80.65	11.02	888.79	2.66	2364.17

2. Menghitung tekanan tanah lateral terhadap dinding. Tekanan tanah lateral merupakan beban yang berada di belakang dan depan dinding penahan yaitu tekanan tanah aktif dan pasif. Perhitungan dilakukan pada kondisi normal menggunakan teori Rankine kondisi permukaan tanah miring dan kondisi gempa menggunakan teori Mononobe-Okabe.



Gambar 6. Diagram Tekanan Tanah Lateral

Dimana koefisien tekanan tanah aktif dan pasif pada kondisi normal dan gempa dapat dihitung dalam persamaan berikut ini.

### Tekanan tanah aktif:

Kondisi normal

$$Ka1 = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta 1}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta 1}} = 0,751$$

$$Ka2 = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta 2}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta 2}} = 0,689$$

Kondisi gempa

$$Kae1 = \frac{\cos^2(\theta 1 - \alpha - \Psi)}{\cos \Psi \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta + \Psi) \left[ 1 + \frac{\sin(\theta 1 + \delta) \cdot \sin(\theta 1 - \beta - \Psi)}{\cos(\delta + \alpha + \Psi) \cdot \cos(\beta - \alpha)} \right]^2} = 1,025$$

$$Kae2 = \frac{\cos^2(\theta 2 - \alpha - \Psi)}{\cos \Psi \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\alpha + \delta + \Psi) \left[ 1 + \frac{\sin(\theta 2 + \delta) \cdot \sin(\theta 2 - \beta - \Psi)}{\cos(\delta + \alpha + \Psi) \cdot \cos(\beta - \alpha)} \right]^2} = 1,035$$

### Tekanan tanah pasif:

Kondisi normal

$$Kp1 = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta 1}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta 1}} = 1,291$$

$$Kp2 = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta 2}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta 2}} = 1,407$$

Kondisi gempa

$$K_{pe1} = \frac{\cos^2(\theta1+\alpha-\Psi)}{\cos \Psi \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta-\alpha+\Psi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\theta1+\delta) \cdot \sin(\theta1+\beta-\Psi)}{\cos(\delta-\alpha+\Psi) \cdot \cos(\beta-\alpha)}} \right]} = 0,729$$

$$K_{pe2} = \frac{\cos^2(\theta1+\alpha-\Psi)}{\cos \Psi \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta-\alpha+\Psi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\theta1+\delta) \cdot \sin(\theta1+\beta-\Psi)}{\cos(\delta-\alpha+\Psi) \cdot \cos(\beta-\alpha)}} \right]} = 0,663$$

Tabel 3. Rekapitulasi Gaya dan Momen Kondisi Normal

Notasi	Nilai	Sudut				Gaya		Lengan Momen		Momen		
		cos β	sin β	Pa cos β	Pa sin β	Pv	Ph	x	y	Mx	My	
W1	585.45					585.45		3.08		1803.175		
W2a	82.60					82.60		3.87		319.232		
W2b	20.39					20.39		5.07		103.387		
W3	90.58					90.58		2.66		240.936		
W4	239.39					239.39		2.33		557.779		
W5	458.90					458.90		2.33		1069.238		
W6	223.34					223.34		1.00		223.344		
W7	1106.04					1106.04		6.16		6813.179		
W8	888.79					888.79		2.66		2364.168		
Pa1	112.77	0.98	0.17	111.054	19.582	19.582	111.054	2.66	4.72	52.088	524.174	
Pa2	118.18	0.98	0.17	116.388	20.522	20.522	116.388	2.66	1.49	54.589	173.418	
Pa3	21.77	0.98	0.17	21.434	3.779	3.779	21.434	2.66	0.99	10.053	21.292	
Pa4	-307.89	0.98	0.17	-303.211	-53.464	-53.464	-303.211	2.66	5.59	-142.215	1694.948	
Pa5	-164.52	0.98	0.17	-162.017	-28.568	-28.568	-162.017	2.66	1.49	-75.991	241.405	
Pa6	43.56	0.98	0.17	42.897	7.564	7.564	42.897	2.66	0.99	20.120	42.611	
Pa7	191.27	0.98	0.17	188.362	33.213	33.213	188.362	2.66	4.93	88.347	927.995	
Pa8	199.69	0.98	0.17	196.655	34.676	34.676	196.655	2.66	1.49	92.237	293.017	
Pp1	2.45						2.45		0.33		0.817	
Pp2	55.21						55.21		0.50		27.603	
Pp3	9.81						9.81		0.50		4.905	
		Σ V				3732.77	Σ Mv		13593.666			
		Σ H				279.03	Σ Mh		3952.184			

Tabel 4. Rekapitulasi Gaya dan Momen Kondisi Gempa

Notasi	Nilai	Sudut				Gaya		Lengan Momen		Momen		
		cos β	sin β	Pa cos β	Pa sin β	Pv	Ph	x	y	Mx	My	
W1	585.45					585.45	152.216	3.08	0.3	1803.175	45.665	
W2a	82.60					82.60		3.87	1.79	319.232		
W2b	20.39					20.39		5.07	1.39	103.387		
W3	90.58					90.58		2.66	4.72	240.936		
W4	239.39					239.39	62.241	2.33	1.79	557.779	111.412	
W5	458.90					458.90	119.314	2.33	4.72	1069.238	563.163	
W6	223.34					223.34		1.00	1.1	223.344		
W7	1106.04					1106.04		6.16	5.48	6813.179		
W8	888.79					888.79		2.66	2.53	2364.168		
Pa1	153.84	0.98	0.17	151.502	26.714	26.714	151.502	2.66	4.72	71.059	715.090	
Pa2	125.01	0.98	0.17	123.114	21.708	21.708	123.114	2.66	1.49	57.744	183.439	
Pa3	23.02	0.98	0.17	22.673	3.998	3.998	22.673	2.66	0.99	10.634	22.522	
Pa4	-359.61	0.98	0.17	-354.150	-62.446	-62.446	-354.150	2.66	5.59	-166.107	1979.698	
Pa5	-169.20	0.98	0.17	-166.632	-29.382	-29.382	-166.632	2.66	1.49	-78.155	248.282	
Pa6	43.56	0.98	0.17	42.897	7.564	7.564	42.897	2.66	0.99	20.120	42.611	
Pa7	261.73	0.98	0.17	257.749	45.448	45.448	257.749	2.66	4.93	120.892	1269.845	
Pa8	211.47	0.98	0.17	208.255	36.721	36.721	208.255	2.66	1.49	97.678	310.300	
Pp1	2.59						2.59		0.33		0.864	
Pp2	56.78						56.78		0.50		28.390	
Pp3	9.81						9.81		0.50		4.905	
		Σ V				3745.79	Σ Mv		13628.302			
		Σ H				688.36	Σ Mh		5526.186			

3. Menghitung stabilitas dinding penahan tanah.

a) Stabilitas terhadap guling

Perhitungan stabilitas terhadap guling pada dinding penahan tanah berdasarkan perbandingan momen yang menggulingkan atau akibat dari tekanan tanah lateral arah horizontal pada tanah di belakang dinding penahan dengan momen yang menahannya yaitu berat sendiri dinding dan tekanan tanah arah vertikal.

$$FK_{guling} \text{ (normal)} = \frac{\sum Mv}{\sum Mh} = \frac{13593,666}{3952,184} = 3,44 > 2 \text{ (Aman)}$$

$$FK_{guling} \text{ (gempa)} = \frac{\sum Mv}{\sum Mh} = \frac{13628,302}{5526,186} = 2,47 > 1,1 \text{ (Aman)}$$

b) Stabilitas terhadap geser

Perhitungan stabilitas terhadap geser pada dinding penahan tanah berdasarkan bahwa penggeseran terjadi antara tanah dasar dengan dinding penahan. Berikut perhitungan ini dihitung per 6,6 meter karena merupakan perhitungan menerus.

Dengan,  $f = \tan \phi = \tan (14,22^\circ) = 0,25$

$$FK_{geser} \text{ (normal)} = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} = \frac{0,25 \times 3732,77}{279,03} = 3,32 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

$$FK_{geser} \text{ (gempa)} = \frac{f \cdot \sum V}{\sum H} = \frac{0,25 \times 3745,79}{688,36} = 1,35 > 1,1 \text{ (Aman)}$$

c) Stabilitas terhadap kapasitas daya dukung

Perhitungan stabilitas terhadap kapasitas daya dukung tanah menggunakan persamaan Bowles (1968) berdasarkan nilai N-SPT adalah sebagai berikut.

Data:

Kedalaman (Df) = 1,6 m

Lebar (B) = 6,16 m

γsat lapisan 2 = 16,92 kN/m<sup>3</sup>

Perhitungan:

$$K_d = 1 + 0,33 \left( \frac{Df}{B} \right) = 1 + 0,33 \left( \frac{1,6}{6,16} \right) = 1,086$$

$$q_a = 12,5N \left( \frac{B+0,3}{B} \right)^2 K_d = 12,5 \times 49 \left( \frac{6,16+0,3}{6,16} \right)^2 1,086 = 731,35 \text{ kN/m}^2$$

$$q = q_a + Df \times \gamma_{sat} = 731,35 + 1,6 \times 16,92 = 758,422 \text{ kN/m}^2$$

Kapasitas daya dukung pada kondisi normal:

$$\sum W = \frac{\sum V}{(B \times L)} = \frac{3732,91}{(6,16 \times 6,6)} = 91,814 \text{ kN/m}^2 < 758,422 \text{ kN/m}^2$$

$$FK_{bearing \ capacity} = \frac{q}{\sum W} = \frac{758,422}{91,814} = 8,26 > 3 \text{ (Aman)}$$

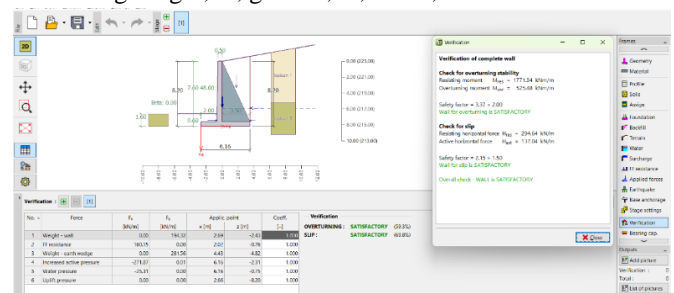
Kapasitas daya dukung pada kondisi gempa:

$$\sum W = \frac{\sum V}{(B \times L)} = \frac{3745,79}{(6,16 \times 6,6)} = 92,134 \text{ kN/m}^2 < 758,422 \text{ kN/m}^2$$

$$FK_{bearing \ capacity} = \frac{q}{\sum W} = \frac{758,422}{92,134} = 8,23 > 1,1 \text{ (Aman)}$$

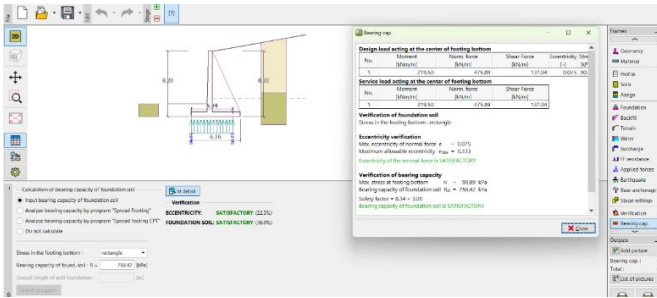
Program GEO5

Untuk analisis stabilitas dinding penahan tanah tipe counterfort menggunakan program GEO5 pada kondisi normal diperoleh hasil stabilitas guling 3,37, geser 2,15, dan kapasitas daya dukung 8,34. Pada kondisi gempa stabilitas guling 2,02, geser 1,14, dan 5,94.

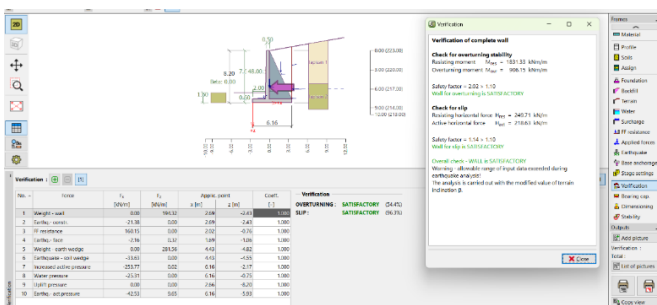




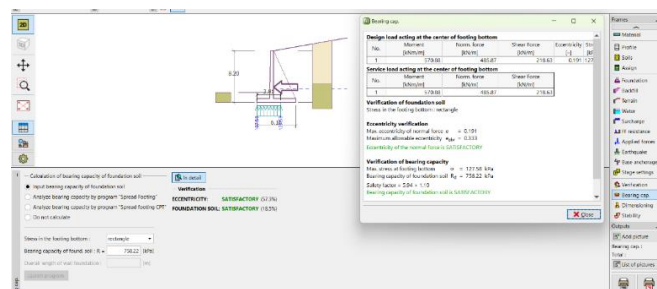
Gambar 7. Verification Overtuning dan Slip Kondisi Normal



Gambar 8. Verification Bearing Capacity Kondisi Normal



Gambar 9. Verification Overtuning dan Slip Kondisi Gempa



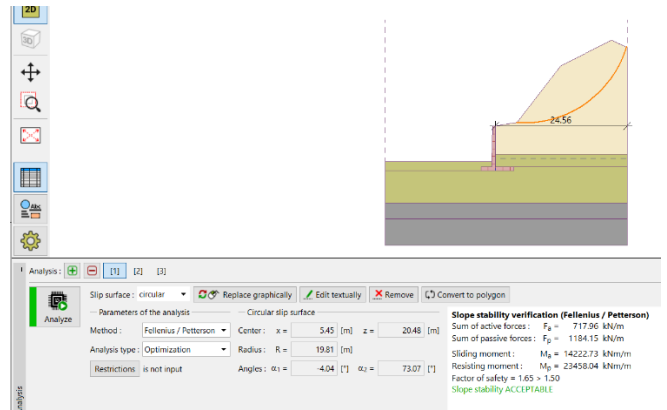
Gambar 10. Verification Bearing Capacity Kondisi Gempa

### Stabilitas Lereng Setelah Perkuatan Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort

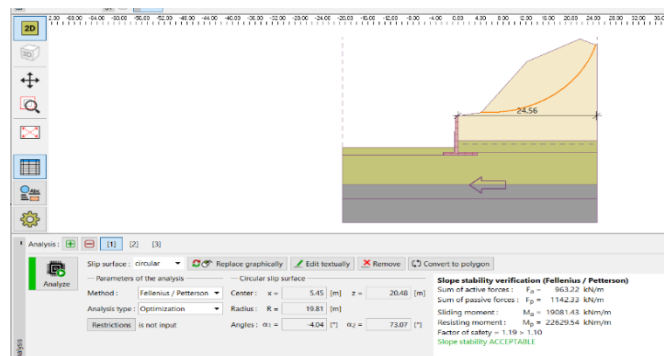
Dalam analisis stabilitas lereng setelah penambahan perkuatan konstruksi dinding penahan tanah disebut dengan analisis stabilitas terhadap kelongsoran global. Analisis ini dilakukan menggunakan program GEO5 dan perhitungan manual.

#### Program GEO5

Setelah menganalisis dinding penahan dan didapatkan nilai safety factor yang stabil maka selanjutnya pada program tersebut terdapat menu *Stability* untuk menganalisis kelongsoran global yang terjadi. Hasil yang diperoleh pada kondisi normal sebesar 1,65 dan kondisi gempa sebesar 1,19 yang artinya kondisi lereng setelah penambahan perkuatan dinding penahan sudah stabil dan aman.



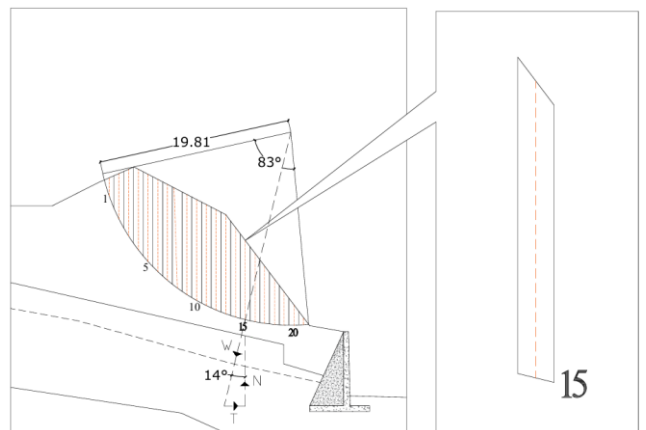
Gambar 11. Kelongsoran Global Kondisi Normal



Gambar 12. Kelongsoran Global Kondisi Gempa

### Perhitungan Manual

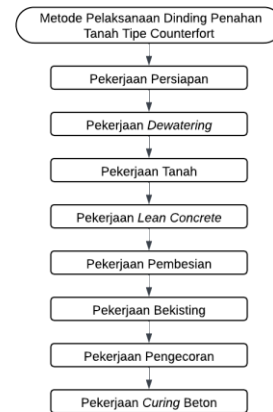
Pada perhitungan manual analisis kelongsoran global menggunakan metode yang sama dengan analisis lereng eksisting, yaitu dengan metode *Fellenius*. Hasil yang diperoleh pada kondisi normal 1,67 dan pada kondisi gempa sebesar 1,54. Berikut gambar bidang longsor dan tabel hasil perhitungan dari analisis kelongsoran global.



Gambar 13. Bidang Longsor Lereng Setelah Perkuatan

Tabel 5. Hasil Analisis Kelongsoran Global Kondisi Normal

No. Irian	Berat Wi (kN)	$\alpha$ (°)	Wi . Sin $\alpha$ (kN)	Wi . Cos $\alpha$ (kN)	c.l	Wi . Cos $\alpha$ . tan $\phi$	U=u.l (kN/m)	SF
1	18.580	71	17.567	5.719	105.626	3.862	0.000	
2	50.604	63	45.088	20.470	76.191	13.822	0.000	
3	75.112	57	62.994	34.309	63.396	23.167	0.000	
4	90.750	52	71.512	44.027	55.875	29.729	0.000	
5	98.574	48	73.255	49.017	50.805	33.098	0.000	
6	104.271	44	72.433	52.104	47.130	35.183	0.000	
7	108.448	40	69.709	53.400	44.340	36.058	0.000	
8	111.390	38	68.579	54.041	42.162	36.491	0.000	
9	113.264	33	61.688	51.736	40.426	34.934	0.000	
10	114.200	29	55.365	48.424	38.131	32.698	0.000	
11	114.299	26	50.106	45.035	37.001	30.409	0.000	
12	113.616	23	44.393	40.864	36.070	27.593	0.000	1.672
13	111.038	20	37.977	35.687	35.339	24.097	0.000	
14	101.153	17	29.574	28.282	34.707	19.097	0.000	
15	89.615	14	21.680	21.036	34.208	14.204	0.000	
16	77.471	11	14.782	14.510	33.843	9.798	0.000	
17	64.731	8	9.009	8.921	33.544	6.024	0.000	
18	51.430	5	4.482	4.465	33.377	3.015	0.000	
19	37.358	2	1.304	1.303	33.278	0.880	0.000	
20	23.087	1	0.403	0.403	33.244	0.272	0.000	
21	8.067	-4	-0.563	-0.561	34.208	-0.379	0.000	
<b>Total</b>			811.338	613.191	942.902	414.053	0.000	



Gambar 14. Metode Pelaksanaan

Tabel 6. Hasil Analisis Kelongsoran Global Kondisi Normal

No. Irian	Berat Wi (kN)	$\alpha$ (°)	Wi . Sin $\alpha$ (kN)	Wi . Cos $\alpha$ (kN)	c.l	U=u.l (kN/m)	Ne	Te	(Wi . Cos $\alpha$ + Ne) . tan $\phi$	Wi . Sin $\alpha$ + Te	SF
1	18.580	71	17.567	5.719	105.626	0.000	4.571	1.488	6.949	19.056	
2	50.604	63	45.088	20.470	76.191	0.000	11.732	5.326	21.744	50.415	
3	75.112	57	62.994	34.309	63.396	0.000	16.391	8.927	34.235	71.922	
4	90.750	52	71.512	44.027	55.875	0.000	18.608	11.456	42.294	82.968	
5	98.574	48	73.255	49.017	50.805	0.000	19.061	12.754	45.969	86.009	
6	104.271	44	72.433	52.104	47.130	0.000	18.847	13.558	47.909	85.991	
7	108.448	40	69.709	53.400	44.340	0.000	18.139	13.895	48.306	83.604	
8	111.390	38	68.579	54.041	42.162	0.000	17.845	14.062	48.540	82.640	
9	113.264	33	61.688	51.736	40.426	0.000	16.051	13.462	45.773	75.150	
10	114.200	29	55.365	48.424	38.131	0.000	14.406	12.600	42.426	67.965	
11	114.299	26	50.106	45.035	37.001	0.000	13.038	11.718	39.213	61.824	
12	113.616	23	44.393	40.864	36.070	0.000	11.551	10.633	35.393	55.026	1.544
13	111.038	20	37.977	35.687	35.339	0.000	9.882	9.286	30.770	47.263	
14	101.153	17	29.574	28.282	34.707	0.000	7.695	7.359	24.293	36.933	
15	89.615	14	21.680	21.036	34.208	0.000	5.641	5.474	18.013	27.153	
16	77.471	11	14.782	14.510	33.843	0.000	3.846	3.776	12.395	18.558	
17	64.731	8	9.009	8.921	33.544	0.000	2.344	2.321	7.607	11.330	
18	51.430	5	4.482	4.465	33.377	0.000	1.166	1.162	3.803	5.644	
19	37.358	2	1.304	1.303	33.278	0.000	0.339	0.339	1.109	1.643	
20	23.087	1	0.403	0.403	33.244	0.000	0.105	0.105	0.343	0.508	
21	8.067	-4	-0.563	-0.561	34.208	0.000	-0.146	-0.146	-0.478	-0.709	
<b>Total</b>			811.338	613.191	942.902	0.000	211.114	159.555	556.606	970.893	

Dari analisis kelongsoran global dari program maupun perhitungan manual yang telah dilakukan untuk analisis lereng setelah diberi penambahan perkuatan berupa dinding penahan tanah tipe *counterfort* didapatkan nilai faktor keamanannya melebihi nilai faktor keamanan yang disyaratkan sehingga dapat disimpulkan telah stabil.

### Metode Pelaksanaan Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort

Metode pelaksanaan perkuatan dinding penahan tanah pada lereng terdapat beberapa item pekerjaan seperti berikut.

### Rencana Anggaran Biaya Perkuatan Dinding Penahan Tanah Tipe Counterfort

Dalam perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) konstruksi dinding penahan tanah terdapat beberapa langkah yang dilakukan, diantaranya meliputi perhitungan volume setiap pekerjaan dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Pada perhitungan AHSP yang perlu dipersiapkan sebelumnya yaitu Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kabupaten Trenggalek Tahun 2023 yang memuat harga satuan material, alat, dan upah tenaga kerja. Berikut ini hasil perhitungan rencana anggaran biaya.

Tabel 7. Rencana Anggaran Biaya

No.	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	AHSP	Jumlah Harga
1.	Pekerjaan Galian	2005.48	m <sup>3</sup>	Rp	29.608.24 Rp
2.	Pekerjaan Dewatering	708.00	m <sup>3</sup>	Rp	375.132.51 Rp
3.	Pekerjaan <i>Lean Concrete</i>	43.61	m <sup>3</sup>	Rp	840.295.62 Rp
4.	Pekerjaan Pembesian	81268.76	kg	Rp	34.167.19 Rp
5.	Pekerjaan Bekisting	5930.14	m <sup>2</sup>	Rp	142.571.24 Rp
6.	Pekerjaan Pengecoran	676.13	m <sup>3</sup>	Rp	1.117.344.16 Rp
	<b>Jumlah</b>				4.739.279.122.25 Rp
	<b>PPN 11%</b>				473.927.912.225 Rp
	<b>Jumlah Total</b>				5.213.207.034.47 Rp
	<b>Dibulatkan</b>				5.213.208.000.00 Rp

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah tipe *counterfort* pada proyek Bendungan Bagong Trenggalek, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai faktor keamanan lereng eksisting menggunakan program *GEO5* pada kondisi normal  $1,18 < 1,5$  (tidak stabil) dan kondisi gempa sebesar  $0,77$  (tidak stabil). Sedangkan menggunakan perhitungan manual pada kondisi normal sebesar  $0,972 < 1,5$  (tidak stabil) dan pada kondisi gempa sebesar  $0,864 < 1,1$  (tidak stabil).
2. Stabilitas dinding penahan tanah tipe *counterfort* telah stabil baik menggunakan perhitungan manual maupun program *GEO5*. Nilai faktor keamanan pada perhitungan manual kondisi normal terhadap stabilitas guling ( $3,44 > 2$ ), geser ( $3,32 > 1,5$ ), dan kapasitas daya

dukung ( $8,26 > 3$ ) serta pada kondisi gempa stabilitas guling ( $2,47 > 1,1$ ), geser ( $1,35 > 1,1$ ), dan kapasitas daya dukung ( $8,23$ ). Sedangkan nilai faktor keamanan pada program *GEO5* kondisi normal terhadap stabilitas guling ( $3,37 > 2$ ), geser ( $2,15 > 1,5$ ), dan kapasitas daya dukung ( $8,34 > 3$ ) serta pada kondisi gempa stabilitas guling ( $2,02 > 1,1$ ), geser ( $1,14 > 1,1$ ), dan kapasitas daya dukung ( $5,94 > 1,1$ ).

3. Nilai faktor keamanan lereng setelah perkuatan dinding penahan tanah tipe *counterfort* menggunakan program *GEO5* pada kondisi normal sebesar  $1,65 > 1,5$  (stabil) dan kondisi gempa  $1,19$  (stabil). Sedangkan pada perhitungan manual kondisi normal  $1,67 > 1,5$  (stabil) dan kondisi gempa  $1,54 > 1,1$  (stabil).
4. Metode pelaksanaan dalam perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tipe *counterfort* diantaranya pekerjaan persiapan, pekerjaan dewatering, pekerjaan tanah, pekerjaan lean concrete, pekerjaan pembesian, pekerjaan bekisting dan pengecoran, serta curing beton.
5. Hasil perhitungan rencana anggaran biaya dalam pekerjaan dinding penahan tanah tipe *counterfort* senilai Rp 5.213.208.000,00.- dengan konstruksi dinding sepanjang 70,80 meter.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anggraini, N, Riskiyah, IR & Purnomo, FF 2022, 'Perbandingan Analisa Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi Dan Kantilever Menggunakan Geostudio Slope/W Pada Proyek Jalur Lintas Selatan LOT 7 Blitar', *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi Polinema*, vol. 3, no. 4, pp. 339–346.
- [2] Cahyono, MD, Sholeh, M & Zenurianto, M 2023, 'Analisis Stabilitas Lereng *Spillway* Sisi Kiri Bendungan Bagong STA 0+225', *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi Polinema*, vol. 4, no. 3, pp. 244-250.
- [3] Das, BM 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [4] Das, BM 2019, *Principles of Foundation Engineering 9 th Edition*, Boston, United State of America.
- [5] Hakim, L, Putra, PP & Nurtanto, D 2021, 'Perkuatan Lereng pada Sempadan Sungai Jl. Sultan Agung Kabupaten Jember dengan Dinding Penahan Tanah Kantilever', *Bentang : Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol.9, no. 2, pp. 115–128, <https://doi.org/10.33558/bentang.v9i2.2864>.
- [6] Hardiyatmo, HC 2002, *Teknik Pondasi I*, Edisi Kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [7] Hardiyatmo, HC 2012, *Tanah Longsor & Erosi Kejadian dan Penanganan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [8] Hardiyatmo, HC 2018, *Mekanika Tanah II*, Edisi Keenam, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [9] Mau, J, Rasidi, N, Hanggara, I 2017, 'Studi Penentuan Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Menggunakan Metode *Fellinius* dan *Bishop* pada Dinding Penahan Batu Kali di Jl. Raya Beji Puskesmas Kota Batu', *eUREKA: Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 1, no. 2.
- [10] Muttafaq, W 2017, 'Perencanaan Bangunan Pelimpah Samping (*Side Channel Spillway*)', <http://repository.ub.ac.id/6880/>.
- [11] Pratama, RR 2021, 'Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Berjenjang Tipe *Concrete Cantilever* Menggunakan Program *Plaxis 8.6*'.
- [12] Pratiwi, SA 2023, 'Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe *Counterfort* Pada Ruas Jalan Bypass Bil - Mandalika', [http://eprints.unram.ac.id/42820/2/ARTIKEL\\_ILMIAH\\_SINTIA\\_AYU\\_PRATIWI.pdf](http://eprints.unram.ac.id/42820/2/ARTIKEL_ILMIAH_SINTIA_AYU_PRATIWI.pdf).
- [13] Standart Nasional Indonesia 4153 2008, *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*.
- [14] Standart Nasional Indonesia 8460 2017, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*.
- [15] Mau, J, Rasidi, N, Hanggara, I 2017, 'Studi Penentuan Faktor Keamanan Stabilitas Lereng Menggunakan Metode *Fellinius* dan *Bishop* pada Dinding Penahan Batu Kali di Jl. Raya Beji Puskesmas Kota Batu', *eUREKA: Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 1, no. 2.