

## ANALISIS STABILITAS LERENG *SPILLWAY* SISI KIRI BENDUNGAN BAGONG STA 0+225

Muhammad Dwi Cahyono<sup>1</sup>, Moch. Sholeh<sup>2</sup>, Mohamad Zenurianto<sup>3</sup>

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

Koresponden\*, [muhhammadwicahyono1920@gmail.com](mailto:muhhammadwicahyono1920@gmail.com)<sup>1</sup>[moch.sholeh@polinema.ac.id](mailto:moch.sholeh@polinema.ac.id)<sup>2</sup>[mzenurianto@polinema.ac.id](mailto:mzenurianto@polinema.ac.id)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Lereng kiri *spillway* Bendungan Bagong STA 0+225 mengalami ketidakstabilan akibat longsor di sekitarnya. Penelitian ini mempunyai empat tujuan, diantaranya pertama, menganalisis stabilitas lereng eksisting dengan *Rocscience Slide* dan perhitungan manual. Kedua, menganalisis stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan perhitungan manual metode baji (*wedge*) dan *Rocscience Slide*. Ketiga, menjelaskan metode pelaksanaan perkuatan *soil nailing*. Keempat, memperkirakan biaya perkuatan *soil nailing*. Analisis stabilitas dilakukan dengan metode *Fellenius* pada lereng eksisting dan metode baji (*wedge*) dengan *soil nailing* untuk perhitungan manual. Data yang dibutuhkan meliputi parameter tanah, hasil bor, koefisien gempa, data perencanaan *soil nailing*, dan HSPK Kab. Trenggalek 2022. Stabilitas lereng dibandingkan menggunakan *Rocscience Slide* dan perhitungan manual *Fellenius* dan Baji (*wedge*) dalam kondisi tanpa dan saat gempa. Hasil dengan *Rocscience Slide*: faktor keamanan (FK) 1,496 dan *FKbgempa* 0,975 untuk lereng eksisting. Dari perhitungan manual *Fellenius* didapatkan nilai FK 1,496 dan *FKbgempa* 0,956. Setelah perkuatan *soil nailing*, perhitungan manual baji (*wedge*) didapatkan nilai FK 2,517 dan *FKbgempa* 1,295. Dari analisis *Rocscience Slide* didapatkan nilai FK 2,294 dan *FKbgempa* 1,163. Metode pelaksanaan *soil nailing*, meliputi pembersihan area, galian tanah, pemasangan *soil nailing*, *wheephole*, *shotcrete*, dan muka permanen. Biaya perkuatan *soil nailing* diperkirakan sekitar Rp 9.911.916.686,-.

**Kata kunci** : Stabilitas lereng; *Fellenius*; Baji (*wedge*); *Soil nailing*; *Rocscience Slide*

### ABSTRACT

The left slope of Bagong Dam spillway at STA 0+225 experienced instability due to a landslide in its surrounding area. This study has four objectives, including firstly, analyzing the stability of the existing slope using *Rocscience Slide* and manual calculations. Secondly, analyzing the slope stability with soil nailing reinforcement using manual calculations with the wedge method and *Rocscience Slide*. Thirdly, explaining the method of implementing soil nailing reinforcement. Fourthly, estimating the cost of soil nailing reinforcement. Stability analysis is conducted using the *Fellenius* method for the existing slope and the wedge method with soil nailing for manual calculations. The required data include soil parameters, drilling results, seismic coefficients, soil nailing design data, and HSPK Kab. Trenggalek 2022. The slope stability is compared using *Rocscience Slide* and manual calculations with the *Fellenius* and wedge methods under both normal and seismic conditions. The results from *Rocscience Slide* show a safety factor (SF) of 1.496 and SF earthquake of 0.975 for the existing slope. The manual calculation by *Fellenius* yields SF of 1.496 and SF earthquake of 0.956. After soil nailing reinforcement, the manual calculation with the wedge method yields SF of 2.517 and SF earthquake of 1.295. The analysis with *Rocscience Slide* yields SF of 2.294 and SF earthquake of 1.163. The method of implementing soil nailing includes area cleaning, excavation, soil nailing installation, weep holes, shotcrete, and permanent facing. The estimated cost of soil nailing reinforcement is approximately IDR 9,911,916,686.

**Keywords** : Slope stability; *Fellenius*; Baji (*wedge*); *Soil nailing*; *Rocscience Slide*

### 1. PENDAHULUAN

Pada lereng sisi kiri *spillway* bendungan Bagong STA 0+225 elevasi 315 sampai 300 m kondisi lereng tidak stabil

karena ada lereng di sekitar lokasi tersebut terjadi longsor. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan analisis

stabilitas lereng pada lereng eksisting dan pada lereng dengan perkuatan *soil nailing*.

Analisis stabilitas dilakukan dengan program *Rocscience Slide* dan perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* pada lereng eksisting. Pada perkuatan *soil nailing* perhitungan manual menggunakan metode baji (*wedge*) nailing dan analisis stabilitas lereng menggunakan program *Rocscience Slide*.

Pada lereng sisi kiri *spillway* ini juga menggunakan perkuatan *soil nailing* untuk menstabilkan lereng. *Soil nailing* dipilih sebagai perkuatan karena dapat menghemat biaya dan dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan seperti kemiringan permukaan dan tulangan, bentuk struktur, kepadatan, dimensi perkuatan dan karakteristik tanah.

Tujuan dari jurnal skripsi ini adalah:

- Menganalisis stabilitas lereng eksisting di sisi kiri *spillway* bendungan Bagong STA 0+225.
- Menganalisis stabilitas lereng yang sudah diperkuat dengan *soil nailing* di sisi kiri *spillway* bendungan Bagong STA 0+225.
- Menjelaskan metode pelaksanaan perkuatan lereng menggunakan *soil nailing*.
- Menghitung Rencana Anggaran Biaya dari lereng yang sudah dilakukan perkuatan dengan *soil nailing*.

**2. METODE**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menghitung beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019 (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non Gedung) dan SNI 8460:2017 (Persyaratan perencanaan geoteknik).
- Menghitung stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius* dan program *Rocscience Slide* dan perhitungan manual.
- Untuk analisis lereng dengan metode *Fellenius* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

• Kondisi tanpa gempa

$$FK = \frac{\Sigma(c' l + (W \cos \alpha - u.l) \tan \phi)}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (1)$$

• Kondisi gempa

$$FK_{bgempa} = \frac{\Sigma(c' l + (W \cos \alpha - (u.l + Ne)) \tan \phi)}{(\Sigma W \sin \alpha + Te)} \quad (2)$$

- Menghitung stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan metode baji (*wedge*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

• Kondisi tanpa gempa

$$FK = \frac{c L_f + (W \cos \alpha - u.l) \tan \alpha + (\Sigma T_i \sin(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)) \tan \phi}{W \sin \alpha - \Sigma T_i \cos(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)} \quad (3)$$

• Kondisi gempa

$$FK_{bgempa} = \frac{c L_f + (W \cos \alpha - (u.l + Ne)) \tan \alpha + (\Sigma T_i \sin(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)) \tan \phi}{(W \sin \alpha + Te) - \Sigma T_i \cos(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)} \quad (4)$$

- Faktor keamanan geser

$$FK_{geser} = \frac{c x BL + (W + Q + PA \sin \phi) \tan \phi}{PA \cos \phi} \quad (5)$$

• Faktor keamanan putus tulangan

$$Fr = \frac{(0,25 x \pi x d^2 x fy)}{1000} \quad (6)$$

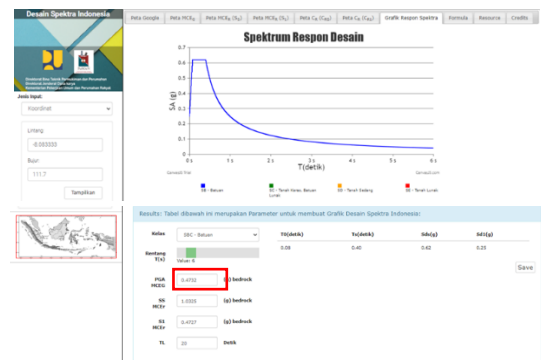
• Faktor keamanan cabut tulangan

$$Fp = \frac{\pi x qu x Ddh x Lp}{sh x Sv x Sh} \quad (7)$$

- Membuat metode pelaksanaan pada area akan dilakukan perkuatan.
- Menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada akan dilakukan perkuatan.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada aplikasi spektrum respons desain Indonesia 2019, yang mengacu pada SNI 1726:2019 di dapatkan nilai PGA pada proyek pembangunan bendungan Bagong yaitu sebesar 0,4732 g.



**Gambar 1.** Nilai PGA pada lokasi proyek

Nilai adalah 50,066 maka, menurut SNI 1726:2019. Tanah di lokasi lereng sisi kiri *spillway* diklasifikasikan sebagai tanah keras (SC) karena nilainya lebih dari 50.

Kelas situs tanah pada proyek pembangunan bendungan Bagong termasuk tanah keras (SC). Maka didapatkan nilai  $F_{PGA}$  yaitu sebesar 1,0.

**Tabel 1.** Faktor Amplifikasi untuk PGA

Kelas situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,4
	Ss ≤ 0,25	Ss = 0,5	Ss = 0,75	Ss = 1,0	Ss ≥ 1,0
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 seismic horizontal ( $k_h$ ) dapat Perhitungan koefisien *seismic horizontal* ( $k_h$ ) dapat dihitung berdasarkan SNI 8460:2017 (Persyaratan perencanaan geoteknik) dengan perhitungan berikut ini:

- Mencari nilai  $PGA_M$   
 $PGA_M = F_{PGA} \times PGA$   
 $= 1,0 \times 0,4732 = 0,4732 \text{ g}$
- Mencari nilai  $kh$  (koefisien horizontal)  
 $kh = 0,5 \times \frac{PGA_M}{g}$   
 $= 0,5 \times \frac{0,4732}{g} = 0,2366$

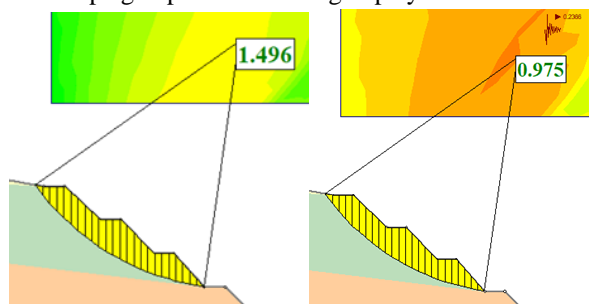
Selanjutnya yaitu menghitung stabilitas lereng dengan menggunakan data parameter tanah di lereng *spillway* sisi kiri STA 0+225 elevasi 315 s/d 300 m.

Tabel 2. Parameter tanah

Parameter	Nilai	Satuan
Berat isi tanah ( $\gamma$ )	18,188	kN/m <sup>3</sup>
Kohesi (c)	11,081	kPa
Sudut geser dalam	32,216	°

### Stabilitas Lereng Eksisting

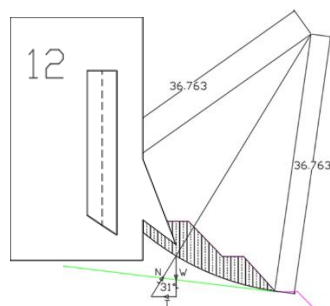
Menghitung stabilitas lereng eksisting menggunakan program *Rocscience Slide* dengan cara memasukkan data parameter tanah dan koefisien horizontal (jika menggunakan beban gempa). Nilai faktor keamanan lereng eksisting pada kondisi tanpa gempa dan kondisi gempa yaitu:



Gambar 2. Nilai FK Lereng Eksisting

Jika menggunakan perhitungan manual, maka nilai faktor keamanan lereng eksisting dihitung dengan cara:

- Membuat gambar pada autocad dengan jari-jari bidang longsor sebesar 36,763 m. Kemudian membagi bidang longsor tersebut menjadi 25 irisan.
- Menghitung berat irisan yang merupakan hasil kali dari luas tiap irisan (A) dan berat isi tanah ( $\gamma$ ). Dengan contoh irisan ke-12.



Gambar 3. Bidang Longsor Lereng Eksisting

$$W = A \cdot \gamma$$

$$= 5,041 \cdot 18,188$$

$$= 91,795 \text{ kN}$$

- Mencari nilai  $kh$  (koefisien horizontal)
- Menghitung berat irisan ( $W$ )
- Menentukan sudut bidang longsor dengan arah gaya berat masing-masing irisan ( $\alpha$ ). Sudut dari irisan ke-12 = 31°
- Menghitung beban berat komponen tangensial dan vertikal bidang longsor, yaitu dengan perhitungan sebagai berikut:

$$T = W \cdot \sin \alpha$$

$$= 91,795 \cdot 0,515$$

$$= 47,278 \text{ kN}$$

$$N = W \cdot \cos \alpha$$

$$= 91,795 \cdot 0,857$$

$$= 78,684 \text{ kN}$$

- Menghitung nilai  $Ne$  dan  $Te$  untuk beban gempa:

$$Ne = kh \cdot W_{total} \sin \alpha$$

$$= 0,2366 \cdot 817,879$$

$$= 193,510 \text{ kN}$$

$$Te = kh \cdot W_{total} \cos \alpha$$

$$= 0,2366 \cdot 1416,299$$

$$= 335,096 \text{ kN}$$

- Sehingga didapatkan nilai faktor keamanan lereng eksisting adalah:

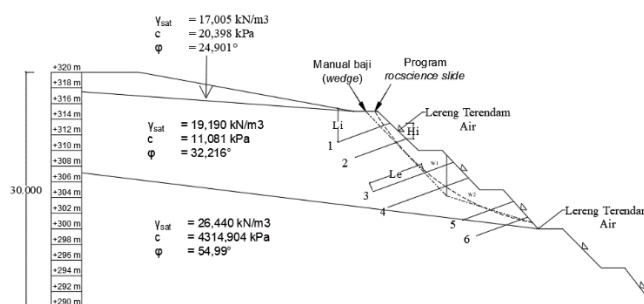
$$FK = \frac{\sum(c' + (W \cos \alpha - u \cdot l) \tan \phi)}{\sum W \sin \alpha} = \frac{1223,767}{817,879} = 1,496$$

$$FK_{bgempa} = \frac{\sum(c' + (W \cos \alpha - (u \cdot l + Ne)) \tan \phi)}{(\sum W \sin \alpha + Te)}$$

$$= \frac{1101,832}{1152,976} = 0,956$$

### Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Soil nailing

Selanjutnya yaitu menghitung stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan data parameter tanah yang didapatkan dari pengujian laboratorium dan propertis perencanaan *soil nailing*. Berikut adalah data parameter tanah dan data perencanaan *soil nailing* di lokasi lereng *spillway* sisi kiri STA 0+225 dengan elevasi 315 sampai 300 m.



Gambar 4. Lereng dengan perkuatan *soil nailing*

Menghitung stabilitas lereng dengan perkuatan *soil nailing* menggunakan perhitungan manual metode baji (*wedge*). Berikut adalah cara untuk menghitungnya:

• Analisis stabilitas terhadap keruntuhan global

a. Menghitung berat massa tanah yang longsor

$$W = \gamma \cdot A$$

$$W_1 = 19,190 \cdot 24,638 = 472,798 \text{ kN}$$

$$W_2 = 19,190 \cdot 29,049 = 577,446 \text{ kN}$$

$$W_{\text{total}} = 472,798 + 577,446 = 1030,244 \text{ kN}$$

b. Menghitung panjang bidang longsor

$$L_f = \frac{H}{\sin \alpha}$$

$$L_{f1} = \frac{10,682}{\sin 46} = 14,850 \text{ m}$$

$$L_{f2} = \frac{3,425}{\sin 17} = 11,715 \text{ m}$$

$$L_{f_{\text{total}}} = 14,850 + 11,715 = 26,564 \text{ m}$$

c. Menghitung daya dukung tarik tulangan

$$R_n = F_y \cdot A_s \text{ tulangan}$$

$$= 420 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 32^2)$$

$$= 337784 \text{ N} = 337,784 \text{ kN}$$

$$R_c = 0,5 \cdot R_n$$

$$= 0,5 \cdot 337,784 = 168,892 \text{ kN}$$

d. Menghitung gaya geser ijin tulangan

$$V_n = \frac{R_n}{2 \sqrt{1+4 \cdot \tan^2(90-(\alpha_{\text{rata-rata}} + i))}}$$

$$= \frac{337,784}{2 \sqrt{1+4 \cdot \tan^2(90-(31,5+20))}} = 89,881 \text{ kN}$$

e. Menghitung gaya tarik ijin tulangan

$$T = 4 \cdot V \cdot \tan(90-(\alpha_{\text{rata-rata}} + i))$$

$$= 4 \cdot 89,881 \cdot \tan(90-(31,5+20)) = 285,978 \text{ kN}$$

f. Menghitung gaya geser ijin tanah

$$P_u = (C_1 \cdot H + C_2 \cdot D) \cdot \gamma \cdot H$$

$$= (2,3 \cdot 14,216 + 3 \cdot 0,032) \cdot 19,190 \cdot 14,216$$

$$= 8473,375 \text{ kN}$$

$$P_u = C_3 \cdot D \cdot \gamma \cdot H$$

$$= 38 \cdot 0,032 \cdot 19,190 \cdot 14,216 = 245,629 \text{ kN}$$

$$P_p = P_u/2 = 245,629/2 = 122,815 \text{ kN}$$

$$L_o = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot EI}{K_s \cdot D}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{3,39 \cdot 10^8 \cdot 4,91 \cdot 10^{-8}}{46000 \cdot 0,032}} = 1,097 \text{ m}$$

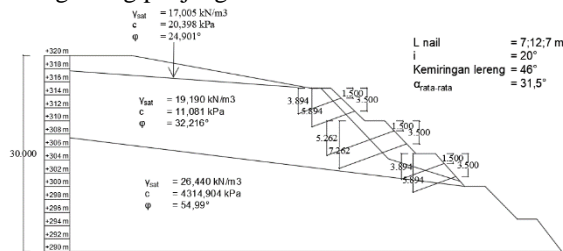
$$V_s = P_p \cdot \frac{D}{2} \cdot L_o$$

$$= 122,815 \cdot \frac{0,032}{2} \cdot 1,097$$

$$= 6,735 \text{ kN} < V_n = 89,881 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max}} = 6,735 \text{ kN}$$

g. Menghitung panjang Le



Gambar 5. Panjang Le

Menghitung contoh nail ke-1

FK = faktor keamanan, untuk perhitungan pertama diasumsikan faktor keamanan = 2,0 dengan cara coba-coba maka didapatkan nilai FK yang konvergen sebesar FK = 2,517 > 1,5 (Aman)

$$f_{\text{maks}} = 150 \text{ kN/m}^2$$

$$T_1 = \frac{\pi D L_e f_{\text{maks}}}{SF}$$

$$= \frac{\pi \cdot 0,032 \cdot 5,695 \cdot 150}{2,517} = 106,644 \text{ kN}$$

h. Menghitung gaya tarik ijin total

$$\Sigma T_i = \frac{T_1+T_2+\dots+T_n}{Sh}$$

$$= \frac{106,644+104,004+150,744+150,763+110,652+153,272}{2}$$

$$= 388,039 \text{ kN}$$

Dimana Sh = 2 meter adalah spasi horizontal (tegak lurus bidang)

i. Menghitung gaya geser ijin total

$$\Sigma V_i = \frac{V_1+V_2+\dots+V_n}{Sh}$$

$$= \frac{6,735+6,735+6,735+6,735+6,735}{2} = 20,205 \text{ kN}$$

j. Menghitung Faktor keamanan terhadap keruntuhan global

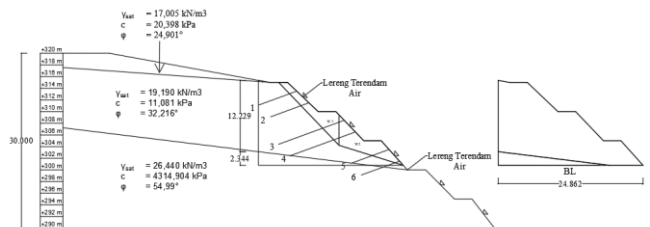
$$FK = \frac{c L_f + (W \cos \alpha - u \cdot L) \tan \alpha + (\Sigma T_i \sin(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)) \tan \phi}{W \sin \alpha - \Sigma T_i \cos(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)}$$

$$= \frac{715,195}{284,163} = 2,517$$

$$FK_{\text{bgempa}} = \frac{c L_f + (W \cos \alpha - (u \cdot L + N_e)) \tan \alpha + (\Sigma T_i \sin(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)) \tan \phi}{(W \sin \alpha + T_e) - \Sigma T_i \cos(\alpha+i) - \Sigma V_i \cos(\alpha+i)}$$

$$= \frac{637,148}{491,999} = 1,295$$

• Analisis stabilitas terhadap geser



a. Menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif dan pengaruh kohesi

$$K_{a1} = \text{tg}^2(45 - \frac{\phi_1}{2})$$

$$= \text{tg}^2(45 - \frac{32,216}{2}) = 0,305$$

$$K_{a2} = \text{tg}^2(45 - \frac{\phi_2}{2})$$

$$= \text{tg}^2(45 - \frac{54,990}{2}) = 0,099$$

b. Menghitung tekanan tanah aktif total di belakang zona perkuatan

$$P_{a1} = \frac{\gamma_1 \cdot H_1^2}{2} \cdot K_{a1}$$

$$= \frac{19,190 \cdot 12,229^2}{2} \cdot 0,305 = 436,983 \text{ kN/m}$$

$$P_{a2} = \gamma_1 \times H_1 \times H_2 \times K_{a2} + \frac{\gamma_2 \times H_2^2}{2} \times K_{a2}$$

$$= 19,190 \cdot 12,229 \cdot 2,344 \cdot 0,099 + \frac{26,440 \cdot 2,344^2}{2} \cdot 0,099$$

$$= 61,944 \text{ kN/m}$$

$$P_{a_{\text{total}}} = 436,983 + 61,944 = 498,927 \text{ kN/m}$$

c. Pengaruh adanya kohesi

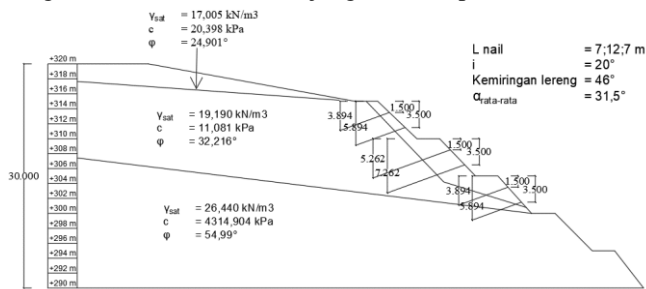
$$\begin{aligned} \text{Lapis 1} &= -2 \times c \sqrt{Ka_1} \\ &= -2 \times 11,081 \sqrt{0,305} = -12,230 \\ \text{Lapis 2} &= -2 \times c \sqrt{Ka_2} \\ &= -2 \times 4314,904 \sqrt{0,099} = -2721,796 \end{aligned}$$

d. Faktor aman terhadap penggeseran

$$\begin{aligned} W &= \text{Luas} \times \gamma \\ W_1 &= 191,277 \times 19,190 = 3478,900 \text{ kN} \\ W_2 &= 22,451 \times 26,440 = 577,032 \text{ kN} \\ W_{\text{total}} &= 3478,900 + 577,032 = 4055,932 \text{ kN} \\ FK &= \frac{c \times BL + (W+Q+PA \sin \varphi) \tan \varphi}{PA \cos \varphi} \\ &= \frac{2998,849}{422,114} = 7,104 \end{aligned}$$

• Analisis stabilitas internal terhadap putus dan cabut tulangan

Analisis stabilitas internal terhadap putus dan cabut tulangan dilakukan dengan bantuan program *AutoCAD 2020* untuk mengetahui nilai *Le* (panjang *nail* di belakang bidang longsor) dan *li* (kedalaman ujung *nail* dari permukaan tanah).



Gambar 5. Panjang Li dan Hi

Tabel 3. Parameter nail

No. nail	Hi (m)	Li (m)	Le (m)
1	1,500	4,763	4,037
2	3,500	6,294	3,899
3	1,500	4,920	3,403
4	3,500	6,920	3,650
5	1,500	0,540	3,795
6	3,500	2,321	6,198

Contoh perhitungan menggunakan perkuatan nail ke-1

a. Menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif

$$\begin{aligned} Ka_1 &= \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left( 45 - \frac{32,216}{2} \right) = 0,305 \end{aligned}$$

b. Menghitung Tegangan Horizontal

$$\begin{aligned} \sigma_h &= Ka \times \gamma \times z \\ &= 0,305 \times 19,190 \times 3,894 = 22,757 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

c. Menghitung angka keamanan terhadap putus tulangan

$$\begin{aligned} Fr &= \frac{(0,25 \times \pi \times d^2 \times fy)}{1000} \\ &= \frac{\sigma_h \times Sv \times Sh}{(0,25 \times \pi \times 32^2 \times 420)} \\ &= \frac{22,757 \times 2 \times 2}{1000} = 3,373 > 1,5 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

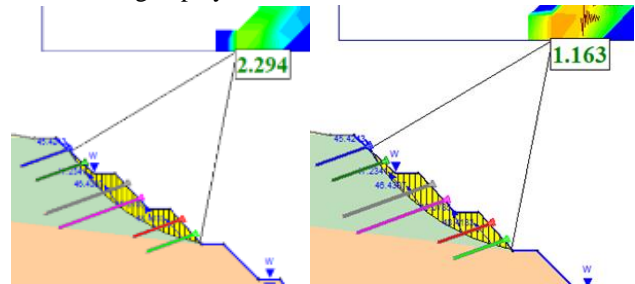
d. Menghitung angka keamanan terhadap cabut tulangan

$$\begin{aligned} e. Fp &= \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\pi \times 150 \times 0,1 \times 5,695} \\ &= \frac{22,757 \times 2 \times 2}{22,757 \times 2 \times 2} = 2,948 > 1,5 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil perhitungan Stabilitas Internal

No. nail	Ka	Le	σh	Fr	Fp	Kontrol
1	0,305	5,695	22,757	3,711	2,948	> 1,5 OK
2	0,305	5,554	34,445	2,452	1,900	> 1,5 OK
3	0,305	8,050	30,751	2,746	3,084	> 1,5 OK
4	0,305	8,051	42,439	1,990	2,235	> 1,5 OK
5	0,305	5,909	31,354	2,693	2,220	> 1,5 OK
6	0,099	8,185	15,502	5,448	6,220	> 1,5 OK

Jika menggunakan program *Rocscience Slide* dengan memasukkan data parameter tanah, data perencanaan *soil nailing* dan koefisien horizontal (jika menggunakan beban gempa). Nilai faktor keamanan lereng dengan perkuatan *soil nailing* dalam kondisi tanpa gempa dan kondisi gempa yaitu:



Gambar 4. Nilai FK Lereng Dengan Perkuatan Soil nailing

### Metode Pelaksanaan

Untuk menghitung Rencana Anggaran Biaya, maka sebelumnya harus Menyusun metode pelaksanaan pekerjaan stabilitas lereng ini. Berikut adalah metode pelaksanaan pekerjaan stabilisasi lereng dengan perkuatan *soil nailing*:

- Pekerjaan ini melibatkan pembersihan area dari hambatan-hambatan seperti batu besar, akar dan ranting pohon yang dapat mengganggu pemasangan *soil nailing*. Selain itu, juga termasuk pembersihan tanah yang mengalami longsor dan pengukuran batas lahan yang akan digali.
- Pekerjaan galian dilakukan sesuai volume yang akan digali sesuai gambar lereng yang sudah direncanakan. Tahapan pekerjaan galian adalah sebagai berikut:
  - Pekerjaan galian tanah ini menggunakan excavator, kemudian di loading ke dump truk untuk di pindahkan ke area disposal.
  - Galian dilakukan per layer sehingga bisa mengurangi resiko terjadi kelongsoran.
- Pemasangan *soil nailing* dilakukan setelah kemiringan lereng sudah sesuai dengan perencanaan. Tahap pemasangan *soil nailing* adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk pemasangan *soil nailing*.
  - Melakukan proses pengeboran lubang *soil nailing* sesuai dengan diameter perencanaan. Kemudian lubang tersebut dibersihkan dari material yang jatuh ke dalam lubang.
  - Pemasangan *nail bar* yang sudah di lengkapi *centralizer* ke dalam lubang yang sudah dibor sebelumnya.
  - Proses *grouting* dilakukan untuk memenuhi lubang bor sebelumnya dan juga berfungsi sebagai penguat pemasangan *soil nailing*.
- d. Pemasangan pipa *wheephole* dilakukan untuk mengalirkan air yang berada di dalam tanah ke luar dinding lereng yang sudah tertutupi dengan beton *shotcrete*. Tahap pemasangan pipa *wheephole* adalah sebagai berikut:
- Menyiapkan peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk pemasangan *wheephole*.
  - Melakukan proses pengeboran lubang *wheephole* sesuai dengan diameter perencanaan. Kemudian lubang tersebut dibersihkan dari material yang jatuh ke dalam lubang.
  - Pasang pipa PVC diameter 2” yang sudah dilengkapi geotextile non woven.
- e. Pemasangan *shotcrete* sebagai proteksi lereng dengan mutu beton sesuai dengan perencanaan. Tahap pemasangan *shotcrete* adalah sebagai berikut:
- Menyiapkan peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk pemasangan *shotcrete*.
  - Memasang lembaran tulangan wiremesh dan sambung dengan kawat pengikat sehingga antar lembaran tulangan wiremesh tersambung.
  - Memasukkan material sesuai campuran yang disyaratkan ke dalam mesin *shotcrete* dan material tersebut didorong dengan kompresor melalui selang yang sudah disediakan dan ditembakkan ke lereng yang akan dipasang *shotcrete* sesuai dengan ketebalan yang sudah direncanakan.
- f. Pemasangan muka permanen sebagai penutup *soil nailing* sehingga tidak terjadi korosi pada nail bar, plat besi dan baut. Tahap pemasangan penutup muka permanen adalah sebagai berikut:
- Pemasangan plat besi dan baut.
  - Pembuatan bekisting penutup dengan ukuran 20 x 20 x 20 cm.
  - Melakukan pengecoran dengan mutu beton K 200 pada cetakan yang sudah dibuat pada setiap titik *soil nailing*.

**Rencana Anggaran Biaya**

Untuk menentukan besar biaya yang diperlukan adalah volume pekerjaan yang direncanakan dan harga satuan pekerjaan.

**Tabel 5.** Rencana Anggaran Biaya

No	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Pekerjaan Galian Tanah	38.218,93	m <sup>3</sup>	Rp 28.855,12	Rp 1.102.811.900,51
2	Pekerjaan Pemasangan <i>Soil Nailing</i>	6.038,20	m	Rp 914.302,45	Rp 5.520.741.044,83
3	Pekerjaan Pemasangan <i>Wheephole</i>	851,25	m	Rp 34.386,18	Rp 29.271.238,56
4	Pekerjaan <i>Shotcrete</i>	6.724,58	m <sup>2</sup>	Rp 483.926,74	Rp 3.254.201.662,04
5	Pekerjaan Penutup Muka Permanen	5,45	m <sup>3</sup>	Rp 897.731,37	Rp 4.890.840,48
Jumlah					Rp 9.911.916.686,42

Sumber: Hasil Perhitungan Rencana Anggaran Biaya 2022

**4. KESIMPULAN**

Kesimpulan harus ditulis hasil berdasarkan hasil penelitian pembahasan, dan temuan yang telah ditulis pada sebelumnya dan sesuai dengan tujuan penelitian, ditulis singkat dan jelas dengan urutan sesuai dengan tujuan penelitian.

- a. Pada lereng eksisting nilai FK dari analisis stabilitas lereng tersebut adalah:
- Nilai faktor keamanan lereng eksisting dari analisis program *Rocscience Slide* pada kondisi tanpa gempa adalah sebesar 1,496 < 1,5 (tidak aman) dan pada kondisi gempa sebesar 0,975 < 1,1 (tidak aman).
  - Nilai faktor keamanan lereng eksisting dari perhitungan manual dengan metode *Fellenius* pada kondisi tanpa gempa adalah sebesar 1,496 < 1,5

(tidak aman) dan pada kondisi gempa sebesar 0,956 < 1,1 (tidak aman).

- b. Pada lereng dengan kekuatan *soil nailing* nilai FK dari analisis stabilitas lereng tersebut adalah:
- Nilai faktor keamanan lereng dengan kekuatan *soil nailing* dari perhitungan manual menggunakan metode Baji (*wedge*) pada kondisi tanpa gempa adalah sebesar 2,517 > 1,5 (aman) dan pada kondisi gempa sebesar 1,295 > 1,1 (aman).
  - Nilai faktor keamanan lereng dengan kekuatan *soil nailing* dari analisis program *Rocscience Slide* pada kondisi tanpa gempa adalah sebesar 2,294 > 1,5 (aman) dan pada kondisi gempa sebesar 1,163 > 1,1 (aman).
- c. Metode pelaksanaan yang digunakan untuk kekuatan *soil nailing* diantaranya pekerjaan pembersihan area,

galian tanah, pemasangan *soil nailing*, *wheephole*, *shotcrete* dan penutup muka permanen.

- d. Biaya yang dibutuhkan untuk stabilisasi lereng menggunakan *soil nailing* adalah sejumlah Rp. 9.911.916.686,42.-, dengan volume galian sebesar 38.218,93 m<sup>3</sup>, kebutuhan *soil nailing* sebanyak 6.038,20 m, kebutuhan *wheephole* sebanyak 851,25 m, luas *shotcrete* sebesar 6.724,58 m<sup>2</sup>, dan volume beton penutup muka permanen sebesar 5,45 m<sup>3</sup>.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, M.G., Richard K.S. 1987. Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology. John Wiley and Sons.
- [2] Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design. Tokyo, Japan. McGrawHill Kogakusha, Ltd.
- [3] Craig, R.F (translated by Soepandji, B.S). (1989). Mekanika Tanah, Edisi keempat. Jakarta: Erlangga.
- [4] Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. Penerbit Erlangga, 1–300.
- [5] FHWA-NHI-14-007. Geotechnical Engineering Circular No.7 Soil Nail Walls.
- [6] Hardiyatmo, H.C. (2006). Mekanika Tanah I. Edisi keempat, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [7] Hardiyatmo, H.C. 2010. Mekanika Tanah II. Edisi Kelima, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [8] Hardiyatmo, H.C. (2012). Penanganan Tanah Longsor dan Erosi. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [9] Lambert and Whitman, R.V. (1969). Soil Mechanics. John Willey and Sons. New York. N.Y.
- [10] Prasetyo Utomo, B. (2019). Analisis Stabilitas Leremh dengan Perkuatan *Soil nailing* dengan Menggunakan Program Geoslope (Studi Kasus. Universitas Islam Indonesia.
- [11] SNI 1726:2019. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non Gedung.
- [12] SNI 8460:2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik