

ANALISIS PERKUATAN TANAH DENGAN GEOTEKSTIL PADA LERENG JLS. LOT 6 TRENGGALEK-TULUNGAGUNG STA 6+250

Nur Hasanah¹, Moch. Sholeh², Dandung Novianto³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Email: 2141327017@student.polinema.ac.id¹ moch.sholeh@polinema.ac.id² dandung.novianto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Proyek pembangunan Jalur Lintas Selatan Lot 6. Trenggalek-Tulungagung merupakan jalan nasional. Pada proses pekerjaan galian tanah terjadi kelongsoran pada STA 6+250 sehingga diperlukan adanya perbaikan tanah. Berdasarkan masalah tersebut, maka dianalisis kestabilan dengan mencari Faktor Keamanan (FK) dengan perhitungan manual menggunakan metode Fellinius dan program Geoslope/W. Analisis dilakukan pada kondisi lereng eksisting serta *redesign* kemiringan kemudian dilanjutkan dengan perkuatan geotekstil. Hasil analisis manual dengan beban gempa diperoleh nilai FK 0,554 dan tanpa beban gempa didapatkan nilai FK 0,728 sedangkan analisis menggunakan geoslope/W tanpa beban gempa senilai 0,768 dan 0,417 nilai FK dengan beban gempa sehingga disimpulkan bahwa lereng pada STA 6+250 termasuk lereng labil. Analisis berikutnya dengan memvariasikan gradiennya dan jenis *slope*. Pada kemiringan 1:2; 2:3; 3:4; 1:1; 6:5 model *multiple slope* didapatkan nilai FK pada analisis dengan gempa masing-masing 2,009; 1,860; 1,533; 1,110; 1,074 dan untuk FK tanpa beban gempa masing-masing senilai 3,649; 3,138; 2,523; 1,774; 1,620 sedangkan model *single slope* diperoleh nilai FK dengan beban gempa masing-masing 1,663; 1,263; 1,228; 0,826; 0,721 serta nilai FK tanpa beban gempa masing-masing senilai 2,943; 2,036; 1,949; 1,685; 1,061. Analisis perkuatan geotekstil dilakukan pada kemiringan 1:1 dan 6:5, kemudian diperoleh nilai ditentukan kemiringan 6:5 model *single slope* dengan FK gempa 1,394 dan FK tanpa gempa 1,734. Biaya untuk perkuatan lereng senilai Rp1.229.816.878 sehingga biaya perkuatan perlapis senilai Rp40.993.896 dengan 30 lapis geotekstil.

Kata kunci : Perkuatan Tanah; Geotekstil; Fellinius; Faktor Keamanan; *Geoslope/W*

ABSTRACT

Lot 6 South Cross Road construction project. Trenggalek-Tulungagung is a national road. During the excavation work process, a landslide occurred at STA 6+250 so that soil improvement was needed. Based on these problems, the stability is analyzed by looking for the Safety Factor (SF) with manual calculations using the Fellinius method and the Geoslope/W program. The analysis was carried out on the existing slope conditions and redesign the slope and then continued with geotextile reinforcement. The results of manual analysis with earthquake loads obtained SF values of 0.554 and without seismic loads obtained SF values of 0.728 while the analysis using geoslope/W without earthquake loads was worth 0.768 and 0.417 SF values with seismic loads so that it was concluded that the slopes at STA 6+250 were unstable slopes. The next analysis is to vary the gradient and the type of slope. At a slope of 1:2; 2:3; 3:4; 1:1; 6:5 multiple slope model obtained SF values in the analysis with earthquakes each; 2,009; 1,860; 1,533; 1,110; 1,074 and for SF without seismic loads, each is worth 3,649; 3,138; 2,523; 1,774; 1,620 while the single slope model obtained SF values with seismic loads of each; 1,663; 1,263; 1,228; 0,826; 0,721 and the value of SF without seismic load is each; 2,943; 2,036; 1,949; 1,271; 1,061. The geotextile reinforcement analysis was carried out at a slope of 1:1 and 6:5, then the values obtained were determined by a slope of 6:5 single slope model with 1.394 earthquake FK and 1.734 FK without earthquake. The cost for slope reinforcement is Rp1.229.816.878 so that the cost of reinforcement for layers is Rp40.993.896 with 30 layers of geotextiles.

Keywords : Soil Reinforcement; Geotextile; Fellinius; Safety Factor; *Geoslope/W*

1. PENDAHULUAN

Penelitian dilakukan di Proyek Jalur Lintas Selatan JLS. LOT 6: Prigi-Batas Kabupaten Tulungagung – Kalatak – Brumbun, tepatnya pada STA 6+250 Prigi. Pada pengamatan yang dilakukan oleh penulis pada bulan Februari 2021, terjadi kelongsoran lereng pada STA 6+250.

Penyebab kelongsoran akibat kemiringan lereng yang terlalu terjal yaitu kemiringan 2:1. Selain itu penyebab longsornya lereng disebabkan oleh kondisi tanah yang tidak mampu menahan beban yang ada dikarenakan curah hujan di Kabupaten Trenggalek yang cukup tinggi, data BPS (2019), curah hujan pada Februari 2019 sebesar 223 mm/hari sehingga terjadi penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng, meningkatnya kadar air dan tekanan air pori. Untuk mengatasi permasalahan yang terjadi, maka diperlukan perkuatan tanah dengan memvariasikan kemiringan.

Adapun metode perhitungan yang digunakan yaitu metode Fellinius dan program geoslope/W serta membandingkan keduanya. Pemilihan metode Fellinius dengan pertimbangan sering digunakan di lapangan serta kesalahan hitungan masih pada sisi aman.

Dalam penelitian ini, upaya penstabilan lereng yang dilakukan dengan memasang geotekstil jenis anyaman (*woven*) dengan kuat tarik 60 kN/m/ pertimbangan pemilihan jenis geotekstil *woven* karena memiliki kuat tarik yang lebih kuat dari pada jenis non-anyam serta tidak membutuhkan vegetasi alami disebabkan aliran permukaan dan bawah tanah akan keluar melalui celah-celah anyaman.

Out put lainnya dalam penelitian ini yaitu merencanakan metode pelaksanaan pemasangan geotekstil dan merencanakan anggaran biaya yang dibutuhkan. Berikut ini tujuan dari perencanaan ini, diantaranya:

Tujuan dari jurnal skripsi ini adalah :

- 1) Menghitung nilai Faktor Keamanan (FK) lereng eksisting menggunakan metode Fellinius.
- 2) Menghitung nilai Faktor Keamanan (FK) lereng setelah *redesign* kemiringan lereng.
- 3) Menghitung nilai Faktor Keamanan (FK) lereng setelah perkuatan dengan geotekstil.
- 4) Merencanakan metode pelaksanaan pemasangan geotekstil pada lereng.
- 5) Merencanakan anggaran biaya (RAB) yang dibutuhkan dalam perkuatan dengan geotekstil.

2. METODE

Dalam perencanaan stabilisasi lereng terdapat prosedur dan metode dalam merencanakan, diantaranya:

- 1) Menentukan karakteristik tanah di lapangan sesuai dengan pengujian.
- 2) Pada pengujian bore log akan didapatkan nilai Muka Air Tanah (MAT) dan jenis lapisan tanah.

- 3) Mencari nilai kohesi dan sudut geser tanah yang diperoleh dari membandingkan teori korelasi SPT.

- 4) Menghitung beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019^[1] (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung) dan SNI 8460:2017^[2] (Persyaratan perancangan geoteknik).

- 5) Metode yang digunakan dalam perencanaan yaitu dengan metode Fellinius dengan membandingkan nilai FK pada *Software* Geostudio Slope / W dan perhitungan manual. Menurut Hardiyatmo (1992)^[3] metode Fellinius merupakan pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Berikut ini rumus Fellinius:

- Tanpa beban gempa

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

- Dengan beban gempa

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

- 6) Menghitung stabilitas lereng dengan memvariasikan kemiringan lereng.

- 7) Jika nilai FK pada saat memvariasikan kemiringan lereng belum memenuhi syarat, maka dilanjutkan dengan perencanaan perkuatan geotekstil.

- 8) Untuk perencanaan geotekstil mengacu pada Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009. Berikut ini langkah-langkah dalam merencanakan perkuatan geotekstil:

- a. Merencanakan kuat tarik ijin rencana geotekstil (T_{all}) dengan persamaan berikut ini:

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_D \times FK} \quad (3)$$

- b. Merencanakan jarak antar geotekstil (S_v). Berikut ini rumus yang digunakan:

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma'_a \times SF} \quad (4)$$

- c. Kemudian merencanakan panjang geotekstil, sebagaimana persamaan berikut ini:

$$L_r = \frac{(H-z)}{\tan(45^\circ + \frac{\varphi'}{2})} \quad (5)$$

$$L_o = \frac{S_v \times \sigma'_a \times SF}{4 (c + \gamma \times z \times \tan \delta)} \quad (6)$$

dengan $\delta = 2/3 \varphi'$

- d. Dalam perencanaan geotekstil harus dikontrol terhadap stabilitas internal, stabilitas eksternal, dan stabilitas global.

- Stabilitas internal

Kontrol terhadap putusnya perkuatan geotekstil:

$$FK_{OS} = \frac{T_{all}}{T_{pendorong}} \quad (7)$$

Kontrol terhadap tercabutnya geotekstil:

$$FK_{PO} = \frac{T_{penahan}}{T_{pendorong}} \quad (8)$$

$$= \frac{L \times F^* \times \alpha \times \sigma'_{v_c}}{T_{max}} \quad (9)$$

- Stabilitas eksternal

Kontrol terhadap kestabilan tanah dasar:

$$FK_{\text{tanah dasar}} = \frac{q_{ult}}{q_{act}} > 2 \quad (10)$$

$$= \frac{c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma}{(\gamma \cdot H)} \quad (11)$$

Kontrol terhadap stabilitas guling:

$$FK_{\text{guling}} = \frac{M_{RO}}{M_o} \geq 1,5 \quad (12)$$

Kontrol terhadap stabilitas geser:

$$FK_{\text{geser}} = \frac{\sum P_R}{\sum P_a} \geq 1,5 \quad (13)$$

$$= \frac{\sum (W \tan \phi' + P_{av} \tan \phi')}{\sum P_a} \quad (14)$$

- Stabilitas global

$$FK_{\text{perkuatan}} = FK_{\text{non perkuatan}} + \frac{M_d}{M_R} \geq 1,3 \quad (15)$$

$$= FK_{\text{non perkuatan}} + \frac{\sum_{i=1}^n T_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n (W_i \sin \theta)_R} \quad (16)$$

9) Merencanakan metode pelaksanaan pemasangan geotekstil pada lereng dan menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) perkuatan lereng dengan geotekstil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi N-SPT

Dikarenakan keterbatasan data di lapangan, maka nilai parameter kohesi dan sudut geser dalam diperoleh dari korelasi N-SPT yang didapat dari pengujian bore log. Untuk hasil yang lebih akurat maka digunakan tiga teori pembanding, namun dalam karya ilmiah ini hanya dicantumkan satu teori yang dipakai.

• Sudut Geser Dalam Efektif (ϕ')

Dalam perhitungan sudut geser dalam efektif digunakan teori berdasarkan nilai tipikal (AS 4678, 2002), Wolff (1989), dan Meyehof (1959). Namun yang digunakan oleh penulis dalam menganalisis kestabilan lereng yaitu teori Wolff karena parameter sudut efektif yang didapat melalui satu kali proses perhitungan. Berikut ini hasil perhitungan korelasi terhadap sudut geser dalam:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Sudut Geser Dalam Efektif dengan Teori Wolff (1989)

h	SPT	Tipe lapisan	ϕ'
2	37	Lanau kepasiran	33,56
4	60	Batu pasir	37,30
6	37	Lanau kepasiran	33,56
10	45	Lanau kepasiran	34,88
12	60	Batu pasir	37,30
14	49	Pasir	35,54
16	60	Batu pasir	37,30
18	60	Batu pasir	37,30
20	60	Batu pasir	37,30

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

• Kohesi Efektif (c')

Sama halnya dengan mencari parameter sudut geser dalam, penulis menggunakan tiga teori untuk mencari parameter kohesi efektif, diantaranya teori berdasarkan nilai tipikal (AS 4678, 2002), Kulhahawy, Mayne. Selanjutnya digunakan teori Mayne. Berikut ini hasil perhitungan kohesi efektif:

Tabel 2. Nilai Kohesi Efektif

h	SPT	Tipe lapisan	Kohesi efektif c'	Lapisan
2	37	Lanau Kepasiran	0,204	1
4	60	Pasir	0	2
6	37	Lanau kepasiran	0,204	3
10	45	Lanau kepasiran	0,248	
12	60	Batu pasir	0	
14	49	Pasir	0,270	
16	60	Batu pasir	0	4
18	60	Batu pasir	0	
20	60	Batu pasir	0	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Koefisien Horizontal (k_h)

• Menentukan Nilai PGA

Nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* didapat dari aplikasi spektrum respons desain Indonesia 2019, yang mengacu pada SNI 1726:2019 sehingga diperoleh nilai PGA pada JLS LOT 6 STA 6+250 senilai 0,5294 g.



Gambar 1. Nilai PGA pada JLS. LOT 6 STA 6+250

• Menentukan Kelas Situs Tanah

Kelas situs tanah ditentukan berdasarkan tabel SNI 8460:2017.

Tabel 1. Faktor Amplifikasi untuk PGA

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

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1 S _s ≤ 0,25	PGA = 0,2 S _s = 0,5	PGA = 0,3 S _s = 0,75	PGA = 0,4 S _s = 1,0	PGA ≥ 0,5 S _s ≥ 1,25
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 (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI 8460:2017

Dari tabel di atas disimpulkan bahwa pada proyek JLS LOT 6 STA 6+250 termasuk tanah keras (SC). Maka didapatkan nilai F_{PGA} yaitu sebesar 1,0
Perhitungan koefisien seismik horizontal (k_h) dapat dihitung berdasarkan SNI 8460:2017 (Persyaratan perancangan geoteknik) dengan perhitungan berikut ini:

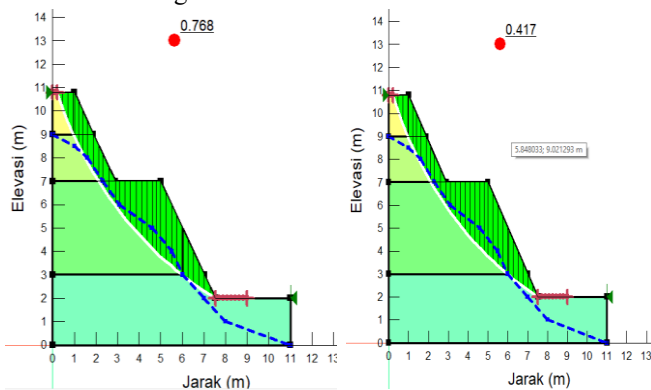
- Mencari nilai PGA_M

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA = 1,0 \times 0,5294 = 0,5294 \text{ g}$$
- Mencari nilai k_h (koefisien horizontal)

$$k_h = 0,5 \times \frac{PGA_M}{g} = 0,5 \times \frac{0,5294 \text{ g}}{g} = 0,265$$

Stabilitas Lereng 2:1 (Eksisting)

Untuk mempermudah dalam perhitungan manual, maka perlu bantuan program geoslope/W untuk mengetahui jari-jari kelongsoran kritis yang terjadi. Pada program diinput metode perhitungan yaitu metode *ordinary*, menggambar geometri lereng kemudian, MAT, parameter tanah serta koefisien horizontal gempa. Didapatkan nilai faktor keamanan lereng 2:1 sebesar:



Gambar 2. Nilai FK Lereng Eksisting

Dari hasil perhitungan program diperoleh FK = 0,768 < 1,25 dan FK_{gempa} = 0,417 < 1,1. Keduanya kurang dibawah syarat FK izin sehingga lereng eksisting tergolong labil dan membutuhkan perbaikan. Pada lereng kritis diperoleh R = 16,34 m.

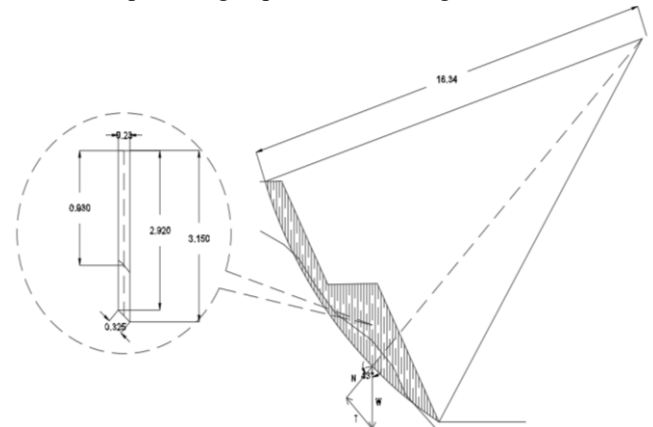
Adapun langkah perhitungan dengan metode Fellinius sebagai berikut:

- 1) Menggambar geometri lereng dengan jari-jari kelongsoran sebesar 16,34 m dan membagi kelongsoran kritis menjadi 30 irisan.

- 2) Menghitung luas setiap irisan:

$$L = \frac{(a+b)}{2} \times t = \frac{(3,150+2,920)}{2} \times 0,230 = 0,638 \text{ m}^2$$

- 3) Menghitung berat irisan yang merupakan hasil kali dari volume tiap irisan (A) dan berat isi tanah (γ). Berikut ini contoh perhitungan pada irisan lereng no.19:



Gambar 3. Irisan No.19

$$W = A \cdot \gamma = 0,638 \times 19,675 = 12,733 \text{ kN}$$

- 4) Menentukan sudut bidang longsor dengan arah gaya berat masing masing irisan (α). Sudut dari irisan 43°
- 5) Menghitung gaya normal/ beban vertikal yang bekerja pada setiap irisan:

$$T = W \cdot \sin \alpha = 12,733 \cdot \sin 43^\circ = 8,936 \text{ kN}$$

$$N = W \cdot \cos \alpha = 12,733 \cdot \cos 43^\circ = 9,444 \text{ kN}$$
- 6) Menghitung gaya akibat tekanan air pori (U) yang merupakan hasil kali dari tekanan air pori (u) dan panjang garis longsor (l) sebesar 0,325 m.

$$u = \gamma_w \cdot h_w = 9,81 \times 0,930 = 9,123 \text{ kN/m}^2$$

$$U = u \cdot l = 9,123 \times 0,325 = 2,965 \text{ kN/m}$$
- 7) Nilai Ne dan Te untuk beban gempa dihitung :

$$N_e = k_h \cdot W_{total} \sin \alpha = 0,265 \cdot 155,638 = 41,197 \text{ kN}$$

$$T_e = k_h \cdot W_{total} \cos \alpha = 0,265 \cdot 169,332 = 44,822 \text{ kN}$$
- 8) Diperoleh nilai faktor keamanan (FK) lereng eksisting senilai:

$$FK = \frac{\Sigma[(c'l + \{W \cos \alpha - u \cdot l\} \tan \phi)]}{\Sigma W \sin \alpha} = \frac{97,771}{169,332} = 0,779$$

$$FK_{gempa} = \frac{\Sigma[(c'l + \{W \cos \alpha - u \cdot l + N_e\} \tan \phi)]}{(\Sigma W \sin \alpha + T_e)} = \frac{123,816}{210,529} = 0,578$$

Redesign Kemiringan Lereng

Salah satu penyebab kelongsoran lereng yaitu geometri yang terlalu curam sehingga perlu perencanaan lereng landai. Dalam penelitian ini, variasi kemiringan yang digunakan

yaitu 1:2; 2:3; 3:4; 1:1 dan 6:5. Dari input program geoslope/W diperoleh nilai FK sebagai berikut:

Tabel 3. Rekapitulasi FK Lereng *Redesign*

Gradien	Faktor Keamanan (FK)			
	Multiple Slope		Single Slope	
	Dengan gemp	Tanpa gemp	Dengan gemp	Tanpa gemp
1:2	2,009	3,649	1,663	2,943
2:3	1,860	3,138	1,263	2,036
3:4	1,533	2,523	1,228	1,949
1:1	1,110	1,774	0,826	1,271
6:5	1,074	1,620	0,721	1,061

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Dari tabel di atas disimpulkan bahwa pada desain kemiringan 1:1 dan 6:5 terdapat nilai FK yang tidak memenuhi syarat sehingga pada lereng tersebut perlu diperkuat dengan geotekstil. Berikut ini tabel hasil perhitungan stabilitas global pada desain kemiringan 1:1 dan 6:5

Tabel 4. Perhitungan nilai FK Terhadap Stabilitas Global pada Lereng Desain 1:1 dan 6:5 Model *Multiple Slope*

Kemiringan	FK			
	Multiple Slope			
	Dengan gemp		Tanpa gemp	
	Manual	Program	Manual	Program
1:1	1.620	1.496	2.284	2.335
6:5	1.674	1.243	2.220	1.880

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Tabel 5. Perhitungan FK Terhadap Stabilitas Global pada Lereng Desain 1:1 dan 6:5 Model *Single Slope*

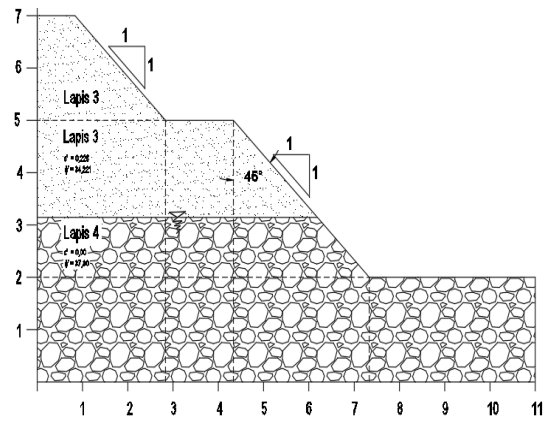
Kemiringan	FK			
	Single Slope			
	Dengan gemp		Tanpa gemp	
	Manual	Program	Manual	Program
1:1	1.356	1.234	1.801	1.815
6:5	1.394	1.166	1.734	1.680

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Penulis memberikan contoh perhitungan hanya pada desain lereng 6:5, baik model *multiple* dan *single slope*. Berikut ini perhitungannya:

Stabilitas Lereng 6:5 Multiple Slope + Geotekstil

Dalam perencanaan MAT juga perlu dipertimbangkan karena mempengaruhi faktor keamanan. Untuk MAT akan diambil elevasi rata-rata yang sudah dihitung pada program *geoslope/W*. Lapisan yang tersisa pada lereng rencana yaitu lapis 3 dan 4 sehingga diperoleh permodelan sebagai berikut:



Gambar 4. Lereng Rencana 6:5 Model *Multiple Slope*

Koefisien tanah aktif

$$Ka_3 = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{34,221}{2} \right) = 0,280$$

$$Ka_4 = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{37,299}{2} \right) = 0,245$$

Tegangan izin (T_{all})

Dalam perhitungan tegangan izin diperlukan koefisien untuk faktor parsial seperti kerusakan instalasi, rangkai, degradasi kimia, dan biologi.

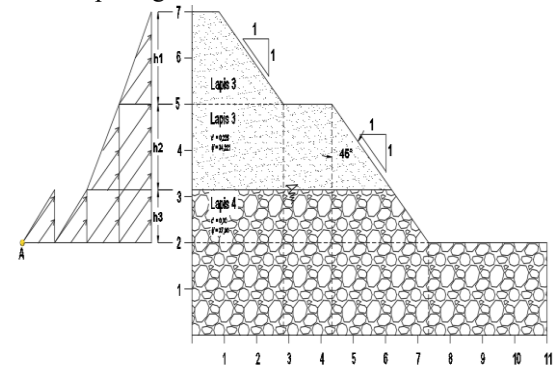
Berikut ini perhitungan T_{all} :

$$T_{ult} = 60 \text{ kN/m (spesifikasi pabrik)}$$

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{FS_{ID} \times FS_{CR} \times FS_{CD} \times FS_{BD}} = \frac{60}{1,1 \times 2 \times 1 \times 1} = 27,273 \text{ kN/m}$$

Tegangan aktif tanah

Tegangan aktif tanah dapat dipengaruhi oleh beban tanah di bawah muka air, air tanah. Diagram tegangan lateral tanah dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 5. Diagram Tegangan Tanah Pada Lereng 6:5 Model *Multiple Slope*

- Tegangan tanah aktif akibat beban tanah di atas muka air tanah.

$$\sigma'_{a1} = 0,285 \times 19,675 \times 2 = 11,022 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a2} = 0,285 \times 19,675 \times 2 = 11,022 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a3} = 0,245 \times 19,675 \times 2 = 9,654 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a4} = 0,280 \times 19,675 \times 1,857 = 10,234 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_{a5} = 0,245 \times 19,675 \times 1,857 = 8,964 \text{ kN/m}^2$$

- Tegangan tanah aktif akibat beban tanah di bawah muka air tanah.

$$\sigma'_{a6} = 0,245 \times 11,340 \times 1,143 = 3,180 \text{ kN/m}^2$$

- Tegangan tanah aktif akibat pengaruh air.

$$\sigma'_w = \gamma_w h = 9,8 \times 1,143 = 11,201 \text{ kN/m}^2$$

- Tegangan tanah aktif total.

$$\begin{aligned} \sigma'_a &= \sigma'_{a1} + \sigma'_{a2} + \sigma'_{a3} + \sigma'_{a4} + \sigma'_{a5} + \sigma'_{a6} + \sigma'_w \\ &= 11,022 + 11,022 + 9,654 + 10,234 + 8,964 + 3,180 \\ &\quad + 11,201 \\ &= 65,277 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Jarak vertikal antar geotekstil (Sv)

$$Sv = \frac{T_{all}}{\sigma'_a \times SF} = \frac{27,273}{65,277 \times 1,5} = 0,279 \text{ m; dipakai } 0,25 \text{ m}$$

$$n = \frac{H}{Sv} = \frac{5}{0,25} = 20 \text{ lapis geotekstil}$$

Panjang geotekstil

Panjang lapis geotekstil harus dihitung perkedalaman (z) setinggi 0,2 m. Contoh perhitungan pada lapisan ke-3 dengan kedalaman (z) 0,36 m, diperoleh:

$$L_r = \frac{(H-z)}{\tan(45^\circ + \frac{\phi'}{2})} = \frac{(5-2)}{\tan(45^\circ + \frac{34,221}{2})} = 1,588 \text{ m}$$

Nilai Le sesuai dengan pedoman perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik No.003/BM/2009[4] didapatkan nilai Le minimum yaitu 1 m. Dalam perencanaan ini digunakan nilai Le senilai 1,2 m.

Panjang overlap geotekstil Lo yaitu:

$$Lo = \frac{Sv \times \sigma'_a \times SF}{4(c + \gamma \times z \times \tan \delta)} \text{ dengan } \delta = 2/3 \phi'$$

$$Lo = \frac{0,25 \times 65,277 \times 1,5}{4(0,226 + 19,675 \times 2 \times \tan \frac{34,221}{3})} = 0,36 \text{ m}$$

$$L = Le + L_r = 1,588 + 1,2 = 2,788 \text{ m} \approx 2,8 \text{ m}$$

Tabel 6. Panjang Geotekstil yang dibutuhkan dalam Perencanaan Lereng 6:5 Multiple Slope

Lapisan	z	Lr	Le	Lo	L	Lpakai
lapis 3	0,2	2,434	1,2	3,05	3,634	3,700
	0,4	2,329	1,2	1,62	3,529	3,600
	0,6	2,223	1,2	1,10	3,423	3,500
	0,8	2,117	1,2	0,84	3,317	3,400
	1	2,011	1,2	0,67	3,211	3,300
	1,2	1,905	1,2	0,56	3,105	3,200
	1,4	1,799	1,2	0,48	2,999	3,000
	1,6	1,694	1,2	0,43	2,894	2,900
	1,8	1,588	1,2	0,38	2,788	2,800
	2	1,482	1,2	0,34	2,682	2,700
2,2	1,376	1,2	0,31	2,576	2,600	
2,4	1,270	1,2	0,29	2,470	2,500	
2,6	1,164	1,2	0,26	2,364	2,400	
2,8	1,058	1,2	0,24	2,258	2,300	

	3	0,953	1,2	0,23	2,153	2,200
	3,2	0,847	1,2	0,21	2,047	2,100
	3,4	0,741	1,2	0,20	1,941	2,000
	3,6	0,635	1,2	0,19	1,835	1,900
	3,8	0,529	1,2	0,18	1,729	1,800
Lapis 4	4	0,396	1,2	0,15	1,596	1,600
	4,2	0,297	1,2	0,14	1,497	1,500
	4,4	0,198	1,2	0,13	1,398	1,400
	4,6	0,099	1,2	0,13	1,299	1,300
	4,8	0,000	1,2	0,12	1,200	1,200
	5	0,000	1,2	0,12	1,200	1,200

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Kontrol stabilitas

Adapun pengontrolan stabilitas sebagai berikut:

a. Stabilitas eksternal

- Kontrol FK terhadap tanah pondasi

$$\begin{aligned} FK_{\text{tanah dasar}} &= \frac{q_{ult}}{q_{act}} > 1,5 \\ &= \frac{c.N_c + q.N_q + 0,5 \gamma.B.N_\gamma}{(\gamma.H)} \\ &= \frac{0 \times 72,252 + 0 \times 366 + 0,5 \times 21,150 \times 1 \times 1 \times 69,264}{(21,150 \times 5)} \\ &= 7,215 > 2 \quad \text{Aman} \end{aligned}$$

- Kontrol FK terhadap guling

$$\begin{aligned} FK_{\text{guling}} &= \frac{M_P}{M_A} > 2 \\ &= \frac{908,476 + (-140,443)}{47,893} = 16,036 > 2 \quad \text{Aman} \end{aligned}$$

- Kontrol FK terhadap geser

$$\begin{aligned} FK_{\text{geser}} &= \frac{\sum P_R}{\sum P_a} \geq 1,5 \\ &= \frac{\sum (W_1 \tan \phi' + P_{av} \tan \phi')}{\sum P_a} \\ &= \frac{120,052 + 37,985 + 28,356 + 9,730 - 24,576}{33,992} \\ &= 2,354 \geq 1,5 \quad \text{Aman} \end{aligned}$$

b. Stabilitas internal

Pengecekan kestabilan internal meliputi kontrol terhadap putusnya perkuatan geotekstil dan terhadap tercabutnya geotekstil. Kontrol dilakukan pada lapisan ke-3 dengan kedalaman (z) 2 m sebagai berikut:

$$\begin{aligned} FK_{OS} &= \frac{T_{all}}{T_{pendorong}} = \frac{27,273}{\sigma_h \times Sv} = \frac{27,273}{39,350 \times 0,25} \\ &= 2,772 \geq 1,3 \quad \text{Aman} \end{aligned}$$

Selanjutnya harus mengontrol nilai FK terhadap tercabutnya perkuatan. Kontrol dilakukan pada kedalaman 2 m sebagai berikut:

$$FK_{PO} = \frac{T_{penahan}}{T_{pendorong}} = \frac{Le \times F^* \times \alpha \times \sigma_v \times C}{T_{max}} \text{ dengan;}$$

$$F^* = \frac{2}{3} \tan \phi \text{ dan } \alpha = 0,6 ; C = 2$$

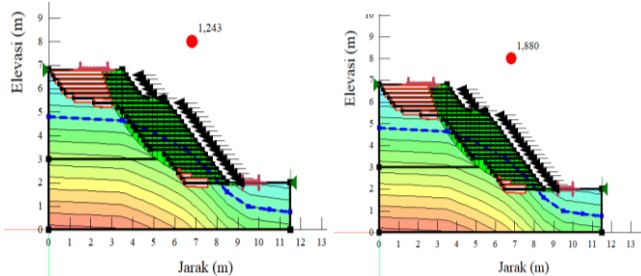
$$\begin{aligned} FK_{po} &= \frac{0,6 \times 2 \times Le \times \frac{2}{3} \tan \phi \times \sigma_v}{\sigma'_h \times S_v} = \frac{25,693}{9,838} \\ &= 2,612 \geq 1,3 \quad \text{Aman} \end{aligned}$$

c. Stabilitas global

Untuk kontrol terhadap stabilitas global digunakan perbandingan perhitungan manual dan geoslope/W. berikut ini perhitungan manual:

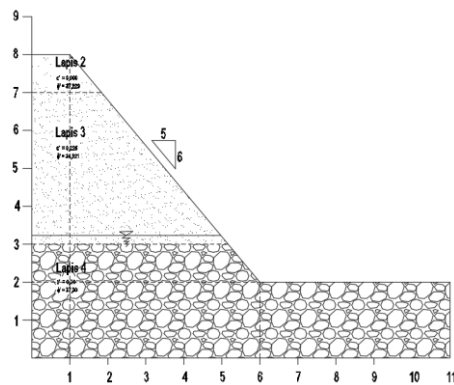
$$\begin{aligned}
 FK_{\text{gempa kekuatan}} &= FK_{\text{non kekuatan}} + \frac{M_d}{M_R} \geq 1,3 \\
 &= 1,074 + \frac{3900}{1033,845 \times 6,285} \\
 &= 1,674 \geq 1,3 \quad \text{Aman} \\
 FK_{\text{perkuatan}} &= FK_{\text{non perkuatan}} + \frac{M_d}{M_R} \geq 1,3 \\
 &= 1,620 + \frac{3900}{1033,845 \times 6,285} \\
 &= 2,220 \geq 1,3 \quad \text{Aman}
 \end{aligned}$$

Kemudian hasil perhitungan manual dibandingkan dengan perhitungan menggunakan program Geoslope/W. Berikut ini FK pada geoslope/W diperoleh analisis kestabilan lereng sebagai berikut:



Gambar 6. FK Terhadap Lereng 6:5 Model *Multiple Slope* Stabilitas Lereng 6:5 *Single Slope* + Geotekstil

Lapisan yang tersisa setelah pemotongan pada lereng rencana yaitu lapis 2, 3 dan 4 sehingga diperoleh permodelan sebagai berikut:



Gambar 7. Lereng Desain 6:5 Model *Single Slope*

Koefisien tanah aktif

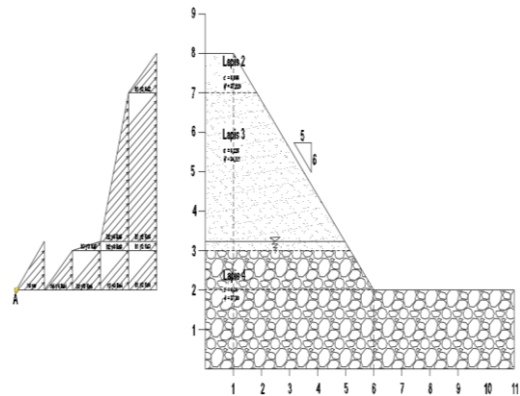
$$\begin{aligned}
 Ka_2 &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{37,299}{2} \right) = 0,245 \\
 Ka_3 &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{34,221}{2} \right) = 0,280 \\
 Ka_4 &= \tan^2 \left(45^\circ - \frac{37,299}{2} \right) = 0,245
 \end{aligned}$$

Tegangan izin (T_{all})

$$\begin{aligned}
 T_{ult} &= 60 \text{ kN/m (spesifikasi pabrik)} \\
 T_{all} &= \frac{T_{ult}}{FS_{ID} \times FS_{CR} \times FS_{CD} \times FS_{BD}} \\
 &= \frac{60}{1,1 \times 2 \times 1 \times 1} = 27,273 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Tegangan aktif tanah

Berikut ini diagram tegangan aktif tanah pada lereng 6:5 model *single slope*:



Gambar 8. Diagram Tegangan Tanah Pada Lereng 6:5 Model *Single Slope*

- Tegangan tanah aktif akibat beban tanah di atas muka air tanah.

$$\begin{aligned}
 \sigma'_{a1} &= 0,245 \times 20,905 \times 1 = 5,129 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{a2} &= 0,280 \times 20,905 \times 1 = 5,855 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{a3} &= 0,280 \times 20,905 \times 1 = 5,855 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{a4} &= 0,245 \times 20,905 \times 1 = 5,129 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{a5} &= 0,280 \times 19,675 \times 3,768 = 20,765 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{a6} &= 0,280 \times 19,675 \times 3,768 = 20,765 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{a7} &= 0,245 \times 19,675 \times 3,768 = 18,189 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Tegangan tanah aktif akibat beban tanah di bawah muka air tanah.

$$\begin{aligned}
 \sigma'_{a8} &= 0,280 \times 0,232 \times 9,865 = 0,641 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{a9} &= 0,245 \times 0,232 \times 9,865 = 0,562 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma'_{a10} &= 0,245 \times 1 \times 11,340 = 2,782 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Tegangan tanah aktif akibat pengaruh air.

$$\sigma'_w = \gamma_w h = 9,8 \times 1,232 = 12,074 \text{ kN/m}^2$$

- Tegangan tanah aktif total.

$$\begin{aligned}
 \sigma'_a &= \sigma'_{a1} + \sigma'_{a2} + \sigma'_{a3} + \sigma'_{a4} + \sigma'_{a5} + \sigma'_{a6} + \sigma'_{a7} \\
 &\quad + \sigma'_{a8} + \sigma'_{a9} + \sigma'_{a10} + \sigma'_w \\
 &= 5,129 + 5,855 + 5,855 + 5,129 + 20,765 + 20,765 + \\
 &\quad 18,189 + 0,641 + 0,562 + 2,782 + 12,074 \\
 &= 97,745 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Jarak vertikal antar geotekstil (S_v)

$$\begin{aligned}
 S_v &= \frac{T_{all}}{\sigma'_a \times SF} \\
 &= \frac{27,273}{97,745 \times 1,5} = 0,186 \text{ m; dipakai } 0,20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{H}{S_v} = \frac{6}{0,20} = 30 \text{ lapis geotekstil.}$$

Panjang geotekstil

Panjang lapis geotekstil harus dihitung perkedalaman (z) setinggi 0,25 m. Contoh perhitungan pada lapisan ke-2 dengan kedalaman (z) 1 m, diperoleh:

$$L_r = \frac{(H-z)}{\tan(45^\circ + \frac{\varphi'}{2})} = \frac{(6-1)}{\tan(45^\circ + \frac{37,299}{2})} = 2,477 \text{ m}$$

Nilai Le sesuai dengan pedoman perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik

No.003/BM/2009 didapatkan nilai L_e minimum yaitu 1 m. Dalam perencanaan ini digunakan nilai L_e senilai 1,2 m. Panjang *overlap* geotekstil L_o yaitu:

$$L_o = \frac{Sv \times \sigma'_a \times SF}{4(c + \gamma \times z \times \tan \delta)} \text{ dengan } \delta = 2/3 \phi'$$

$$L_o = \frac{0,20 \times 97,745 \times 1,5}{4(0, + 19,675 \times 2 \times \tan \frac{2}{3} 37,299)} = 0,78 \text{ m}$$

$$L = L_e + L_r = 2,477 + 0,78 = 3,677 \text{ m} \approx 3,7 \text{ m}$$

Tabel 7. Panjang Geotekstil yang dibutuhkan dalam Perencanaan Lereng 6:5 *Single Slope*

Lapisan	z	Lr	Le	Lo	L	Lpakai	
Lapis 2	0,2	2,873	1,2	3,58	4,073	4,100	
	0,4	2,774	1,2	1,89	3,974	4,000	
	0,6	2,675	1,2	1,29	3,875	3,900	
	0,8	2,576	1,2	0,97	3,776	3,800	
	1	2,477	1,2	0,78	3,677	3,700	
	Lapis 3	1,2	2,540	1,2	0,72	3,740	3,800
		1,4	2,434	1,2	0,62	3,634	3,700
		1,6	2,329	1,2	0,54	3,529	3,600
		1,8	2,223	1,2	0,48	3,423	3,500
		2	2,117	1,2	0,44	3,317	3,400
2,2		2,011	1,2	0,40	3,211	3,300	
2,4		1,905	1,2	0,36	3,105	3,200	
2,6		1,799	1,2	0,34	2,999	3,000	
2,8		1,694	1,2	0,31	2,894	2,900	
3		1,588	1,2	0,29	2,788	2,800	
Lapis 4	3,2	1,482	1,2	0,27	2,682	2,700	
	3,4	1,376	1,2	0,26	2,576	2,600	
	3,6	1,270	1,2	0,24	2,470	2,500	
	3,8	1,164	1,2	0,23	2,364	2,400	
	4	1,058	1,2	0,22	2,258	2,300	
	4,2	0,953	1,2	0,21	2,153	2,200	
	4,4	0,847	1,2	0,20	2,047	2,100	
	4,6	0,741	1,2	0,19	1,941	2,000	
	4,8	0,635	1,2	0,18	1,835	1,900	
	5	2,019	1,2	0,15	3,219	3,300	
5,2	1,615	1,2	0,14	2,815	2,900		
5,4	1,211	1,2	0,14	2,411	2,500		
5,6	0,808	1,2	0,13	2,008	2,100		
5,8	0,404	1,2	0,13	1,604	1,700		
6	0,000	1,2	0,12	1,200	1,200		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Kontrol stabilitas

a. Stabilitas eksternal

- Kontrol FK terhadap tanah pondasi
Tanah dasar terletak pada lapis ke-4 sehingga diperoleh perhitungan berikut ini:

$$FK_{\text{tanah dasar}} = \frac{q_{ult}}{q_{act}} > 2 = \frac{c.N_c + q.N_q + 0,5 \gamma.B.N_\gamma}{(\gamma.H)} = \frac{0 \times 72,252 + 0 \times 56,264 + 0,5 \times 21,150 \times 1 \times 69,264}{(21,150 \times 6)} = 5,772 > 2 \quad \text{Aman}$$

- Kontrol FK terhadap guling
Safety Factor (SF) guling diperoleh dari perbandingan antara momen tahanan dibagi dengan momen pendorong.

$$FK_{\text{guling}} = \frac{M_P}{M_A} > 1,5 = \frac{1260,821 + (-237,161)}{99,950} = 9,787 > 1,5 \quad \text{Aman}$$

- Kontrol FK terhadap geser
 $FK_{\text{geser}} = \frac{\sum P_R}{\sum P_a} \geq 1,5 = \frac{\sum (W_1 \tan \phi' + P_{av} \tan \phi')}{\sum P_a} = \frac{170,534 + 42,323 + 49,437 - 80,415}{61,551} = 2,117 \geq 1,5 \quad \text{Aman}$

b. Stabilitas internal

- Terputusnya kekuatan
Kontrol dilakukan pada lapisan ke-3 dengan kedalaman (z) 3 m sebagai berikut:

$$FK_{OS} = \frac{T_{all}}{T_{pendorong}} = \frac{27,273}{\sigma_h \times Sv} = \frac{27,273}{59,025 \times 0,20} = 2,310 \geq 1,3 \quad \text{Aman}$$

- Tercabutnya kekuatan
Kontrol dilakukan pada kedalaman 3 m sebagai berikut:

$$FK_{PO} = \frac{T_{penahan}}{T_{pendorong}} = \frac{Le \times F^* \alpha \sigma'_v C}{T_{max}} \text{ dengan } F^* = \frac{2}{3} \tan \phi \text{ dan } \alpha = 0,6 ; C = 2$$

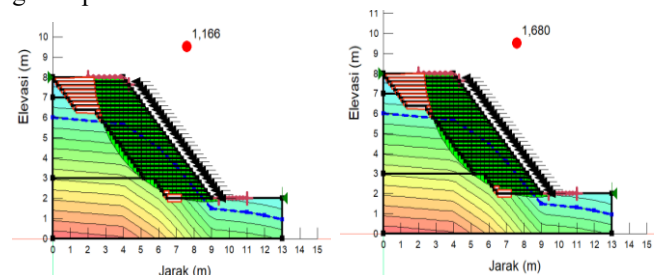
$$FK_{po} = \frac{0,6 \times 2 \times Le \times \frac{2}{3} \tan \phi \times \sigma'_v}{\sigma'_h \times S_v} = \frac{38,539}{11,805} = 3,265 \geq 1,3 \quad \text{Aman}$$

c. Stabilitas global

$$FK_{\text{gempa kekuatan}} = FK_{\text{non kekuatan}} + \frac{M_d}{M_R} \geq 1,3 = 0,721 + \frac{5580}{1310,111 \times 6,328} = 1,373 \geq 1,3 \quad \text{Aman}$$

$$FK_{\text{perkuatan}} = FK_{\text{non perkuatan}} + \frac{M_d}{M_R} \geq 1,3 = 1,061 + \frac{5580}{1310,111 \times 6,328} = 1,713 \geq 1,3 \quad \text{Aman}$$

Berikut ini hasil perhitungan nilai FK pada program geoslope/W:



Gambar 9. FK Terhadap Lereng 6:5 Model *Single Slope*

Metode Pelaksanaan

Setelah merencanakan stabilitas lereng dengan geotekstil, maka direncanakan metode pelaksanaan di lapangan. Berikut ini prosedur metode pelaksanaan pemasangan geotekstil:

- 1) Melakukan survei untuk menentukan titik ROW dan mengukur batas tanah yang akan dilakukan perbaikan.
- 2) Membersihkan area lokasi yang akan dipasang geotekstil dari benda-benda yang akan menghambat pemasangann geotekstil. Misalnya benda tajam, kerikil besar, dsb.
- 3) Penggalian dilakukan dalam beberapa tahap galian.
- 4) Galian tahap 1, dilakukan setelah proses *clearing & pemotongan* pohon selesai. Galian dilakukan perlayer untuk mengurangi resiko longsor.
- 5) Dilakukan penggalian ke layer berikutnya hingga posisi elevasi perencanaan untuk kemudian dilakukan perataan dan pemadatan.
- 6) Pada tepi galian di beri rambu-rambu dan berikade sebagai pengaman lalu lintas. Pada ujung area galian dibuat berparit untuk aliran air.
- 7) Material disposal akan diletakkan di lokasi disposal yang berjarak 200 m dari lokasi galian untuk sementara waktu hingga nantinya ketika galian sudah selesai material akan kembali diangkut sebagai material pengisi geotekstil.
- 8) Menyiapkan elevasi pada tanah dasar untuk penimbunan pada lapisan pertama.

- 9) Memasang geotekstil dengan arah tegak lurus terhadap permukaan lereng yang akan dipasang.
- 10)Menjepit geotekstil untuk mencegah adanya gerakan/pergesaran saat pemasangan sampai lapisan timbunan berikutnya dihamparkan.
- 11)Setelah satu lapis geotekstil berhasil digelar, maka dilakukan penghamparan material dengan menggunakan bulldozer.
- 12)Tahap selanjutnya yaitu pemadatan timbunan dengan memakai baby roller dan disiram menggunakan *water tank*.
- 13)Melebihkan geotekstil sesuai perhitungan di sepanjang ujungnya.
- 14)Memasang lapisan geotekstil berikutnya. Proses tersebut harus diulang kembali untuk lapisan geotekstil dan timbunan berikutnya.

Rancangan Anggaran Biaya (RAB)

AHSP yang digunakan tahun 2022 serta HSD Kabupaten Trenggalek 2020. Perhitungan RAB diperoleh dari perkalian volume dan HSP. Biaya untuk perkuatan lereng senilai Rp1.229.816.878 sehingga biaya perkuatan perlapis senilai Rp40.993.896 dengan 30 lapis geotekstil. Berikut ini RAB pemasangan geotekstil pada lereng JLS. LOT 6 STA 6+250:

Tabel 4. Rencana Anggaran Biaya Pemasangan Geotekstil

No.	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Satuan	Harga satuan	Jumlah Harga
1	Pekerjaan Galian	1826,04	m ³	Rp 32.320	Rp 26.697.980
2	Pekerjaan penghamparan	1500	m ³	Rp 7.621	Rp 11.432.957
3	Pekerjaan pemadatan	1500	m ³	Rp 35.532	Rp 53.298.670
4	Pemasangan geoteksil	200	m ²	Rp 5.644.912	Rp 1.128.982.467
Jumlah					Rp 1.229.816.878

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan analisis stabilitas lereng pada proyek JLS. LOT 6 STA 6+250 yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan metode Fellinius pada kemiringan lereng 2:1 menyatakan lereng labil karena FK kurang memenuhi FK ijin. Didapat nilai FK sebagai berikut:
 - 1) Perhitungan manual dengan memperimbangkan beban gempa $FK_{gempa} = 0,768$ dan $FK = 0,417$
 - 2) Program *geoslope/W* dengan mempertimbangkan beban gempa $FK_{gempa} = 0,554$ dan $FK = 0,728$
2. Dilakukan *redesign* kemiringan dengan memvariasikan gradien dan jenis *slope* kemudian dilakukan analisis dengan program sehingga diperoleh nilai FK model *multiple slope* pada kemiringan 1:2; 2:3; 3:4; 1:1; 6:5

- masing-masing yaitu 3,649; 3,138; 2,523; 1,774; 1,620 dan pada model *single slope* diperoleh FK masing-masing 2,943; 2,036; 1,949; 1,271; 1,061. Sedangkan nilai FK_{gempa} model *multiple slope* pada kemiringan 1:2; 2:3; 3:4; 1:1; 6:5 masing-masing yaitu 2,009; 1,860; 1,533; 1,110; 1,074 serta pada model *single slope* diperoleh FK_{gempa} masing-masing 1,663; 1,263; 1,228; 0,826; 0,721.
3. Analisis dengan perkuatan geotekstil diperoleh kemiringan 6:5 dengan model *multiple slope* perhitungan manual diperoleh $FK_{gempa} = 1,674$ dan $FK = 2,220$ sehingga lereng tergolong stabil. Pada model *single slope* diperoleh nilai $FK_{gempa} = 1,394$ dan $FK = 1,734$. Pada perhitungan dengan program *geoslope/W* diperoleh $FK_{gempa} = 1,243$ dan $FK = 1,880$ sehingga lereng tergolong stabil. Pada model *single slope*

diperoleh nilai $FK_{\text{gempa}} = 1,166$ dan $FK = 1,680$ sehingga lereng tergolong stabil.

4. Lereng yang diambil untuk perkuatan geotekstil yaitu lereng model *single slope* 6:5 karena volume galian lebih sedikit sebesar $826,04 \text{ m}^3$. Jumlah lapis geotekstil yang dipasang sebanyak 30 lapis dengan jarak antar geotekstil 0,2 m dengan panjang 50 m. Diperoleh perhitungan biaya Rp1.229.816.878 sehingga biaya perkuatan per lapis senilai Rp40.993.896 dengan 30 lapis geotekstil

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 1726:2019, "SNI 1726:2019," *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, no. 8, p. 254, 2019.
- [2] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 8460-2017," *Persyaratan Perencanaan Geoteknik*, vol. 8460, p. 2017, 2017.
- [3] H. C. Hardiyatmo, "Mekanika Tanah II," *Gadjah Mada Univ. Press*, vol. 91, no. 5, pp. 1–398, 1992.
- [4] E. Properties, "Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik," vol. 25, no. 2, pp. 261–266, 2009.