

REVIEW DESIGN LERENG GALIAN DENGAN PERKUATAN GEOGRID PADA PROYEK JLS LOT 6 TULUNGAGUNG STA 12+625

Nadsya Qanita Afidia^{1,*}, Dandung Novianto², Moch. Sholeh³

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: 1841320023@student.polinema.ac.id¹, dandung.novianto@polinema.ac.id², moch.sholeh@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Pada lereng STA 12+625 pada proyek JLS LOT 6 Tulungagung, desain kemiringan eksisting adalah 1:1 tanpa perkuatan dengan tinggi lereng adalah 30 m, dilakukan review desain menggunakan perkuatan geogrid dengan menggunakan data parameter tanah SPT sebagai data perhitungan. Perhitungan analisis stabilitas menggunakan Metode Bishop disederhanakan dan dianalisis pola keruntuhan dan kelongsoran menggunakan program GeoStudio SLOPE/W 2018 R2, dengan memperhitungkan beban gempa yang mengacu pada SNI 1726:2019. Perhitungan rencana anggaran biaya menggunakan HSPK Kab. Tulungagung 2020. Hasil analisis didapatkan nilai faktor keamanan cabut 2,16, faktor keamanan geser masing masing 1,57, 1,73 dan 1,89 untuk geogrid dengan panjang 20 meter, 22 meter dan 24 meter. Nilai faktor keamanan terhadap stabilitas global 4,95 serta fk terhadap terjadinya longsor 1,51 tanpa pengaruh beban gempa. Rencana anggaran biaya untuk perkuatan geogrid sebesar Rp. 4.423.105.139,-.

Kata kunci N-SPT, faktor keamanan, geogrid, metode pelaksanaan, RAB

ABSTRACT

Slope in STA 12+625 JLS LOT 6 project, the existing desain was 1:1 slope unreinforced with 30 m height, reviewing design with geogrid as slope reinforcement using soil parameter SPT data as calculation data. The calculation of slope stability using Bishop Simplified Method and analyzed the sliding pattern using the GeoStudio SLOPE/W program, taking into account the earthquake load which refers to SNI 1726:2019. Calculation of the cost plan uses the analysis of the unit price of the Tulungagung Regency 2020. The analysis result showed the pullout safety factor is 2,16, safety factor against sliding failure each are ,57, 1,73 and 1,89 for geogrid with 20 m, 22 m, 24 m length, safety factor againts deep-seated global stability is 4,95 and safety factor againts landsliding without earthquake load is 1,51. The cost plan for the reinforced slope with geogrid as the reinforcement is Rp. 4.423.105.139,-.

Keywords : N-SPT, safety factor, geogrid, work method, cost estimation

1. PENDAHULUAN

Jalan Lintas Selatan LOT 6 Prigi - Bts. Kab. Tulungagung – Klatak – Brumbun merupakan salah satu proyek pembangunan infrastruktur jalan yang sedang dikembangkan oleh pemerintah. Proyek ini direncanakan membentang dari Desa Prigi hingga Desa Brumbun sepanjang 17,45 Km. Dengan meninjau lokasi yang berada di sekitar lereng dan juga tebing, maka perlu dilakukan analisa stabilitas lereng dan juga perkuatan lereng untuk menjamin kenyamanan serta keselamatan pengguna jalan. Berdasarkan kondisi topografinya. Proyek Jalan Lintas Selatan LOT 6 Prigi – Bts.

Kab. Tulungagung merupakan proyek jalan baru yang dibangun di sekitar perbukitan dan tebing yang masih sangat rawan terjadi kelongsoran.

Pada proyek ini terutama pada STA 12+625, longsor terjadi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor pertama adalah kemiringan lereng galian. Pada proyek JLS LOT.6 kemiringan lereng galian direncanakan dengan perbandingan tinggi horizontal dan tinggi vertikal adalah 1:1. Kemiringan ini dapat dikategorikan dalam lereng yang sedang, namun dikarenakan pada lokasi eksisting merupakan lokasi yang rawan gempa dan longsor apabila hujan deras mengguyur

lebih dari 3 jam, lereng galian ini mengalami sliding. Faktor kedua adalah pada kondisi existing belum adanya proteksi lereng yang digunakan sebagai peningkat stabilitas lereng galian.

Adapun metode perhitungan yang digunakan yaitu metode Bishop Disederhanakan (*Bishop Simplified*) dan program GeoStudio SLOPE/W. Pemilihan metode Bishop karena pada metode ini, gaya-gaya yang berpengaruh pada sisi tepi setiap irisan diperhitungkan.

Dalam studi ini, upaya stabilisasi lereng yang dilakukan yaitu dengan menambahkan geogrid jenis uniaxial tipe PP dengan kuat tarik 100 kn/m, pertimbangan pemilihan jenis geogrid karena memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dan pemasangan yang mudah.

Hasil lain dalam studi ini yaitu merencanakan metode pelaksanaan pemasangan geogrid dan merencanakan anggaran biaya yang dibutuhkan. Berikut adalah tujuan dari syudi ini diantaranya:

- 1) Menghitung pembebanan pada lereng tanpa perkuatan.
- 2) Menghitung nilai factor keamanan pada desain eksisting tanpa perkuatan.
- 3) Menghitung nilai factor keamanan dengan perkuatan geogrid
- 4) Merencanakan metode pelaksanaan pekerjaan perkuatan dengan geogrid.
- 5) Menghitung anggaran biaya yang dibutuhkan pada pekerjaan stabilisasi lereng dengan geogrid.

2. METODE

Dalam perencanaan stabilisasi lereng terdapat prosedur dan metode dalam perencanaannya, yaitu:

- 1) Menentukan karakteristik tanah sesuai dengan pengujian yang dilakukan.
- 2) Pada pengujian *boring log* akan didapatkan jenis lapisan tanah.
- 3) Mencari nilai kohesi dan sudut geser tanah yang diperoleh dari perbandingan korelasi SPT.
- 4) Menghitung beban gempa yang mengacu pada SNI 1726-2019^[1] (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung) dan SNI 8460-2017^[2] (Peraturan perancangan geotekniklereng).
- 5) Metode yang digunakan dalam perencanaan yaitu dengan metode Bishop dengan membandingkan nilai FK pada program GeoStudio SLOPE/W dan perhitungan manual. Menurut Das (1993)^[3] metode Bishop merupakan sebuah teori yang lebih teliti daripada metode irisan sederhana dimana pada metode ini gaya-gaya yang berpengaruh pada sisi tepi setiap irisan diperhitungkan. Berikut ini rumus Bishop Disederhanakan:

- Tanpa beban gempa

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + W_n \tan \phi) \frac{1}{m_{\alpha}(n)}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \tag{1}$$

- Dengan beban gempa

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + (W_n - u_n b_n + Ne) \tan \phi') \frac{1}{m_{\alpha}(n)}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n + Te} \tag{2}$$

- 6) Menghitung stabilitas lereng dengan cara manual maupun dengan bantuan program GeoStudio SLOPE/W.
- 7) Jika nilai FK belum memenuhi syarat yaitu $FK > 1,5$ tanpa beban gempa dan $FK > 1,1$ dengan beban gempa, maka dilanjutkan dengan perencanaan geogrid.
- 8) Untuk merencanakan geogrid mengacu pada Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009^[4]. Berikut adalah langkah-langkah dalam merencanakan perkuatan geogrid:

- a. Pemilihan Jenis Geogrid
Jenis geogrid yang digunakan adalah Geogrid uniaxial dengan kuat tarik sebesar 100 kN/m.
- b. Merencanakan jumlah lapisan yang digunakan.
Jumlah lapis = H/S_v (3)
- c. Kemudian merencanakan panjang geogrid sebagaimana dengan rumus berikut ini:

$$L_r = (H - z) \tan(45 - \frac{\phi'}{2}) \dots\dots\dots(4)$$

$$L_e = \frac{S_v \times \sigma_h \times F_s}{2\beta(c + \sigma_v \tan \phi')} \dots\dots\dots (5)$$

- d. Dalam perencanaan geogrid perlu dilakukan kontrol terhadap stabilitas internal, stabilitas eksternal dan stabilitas global.

- Stabilitas Internal
Kontrol terhadap keruntuhan cabut
 $FK_{po} = \frac{L_e \times \phi \times F_{*x} \alpha \times \sigma_v \times C \times RC}{T_{max}} \dots\dots\dots(6)$

- Stabilitas Eksternal
Kontrol terhadap kegagalan geser
 $FK_{geser} = \frac{R_b}{P_a} \geq 1,5 \dots\dots\dots (7)$

- Stabilitas Eksternal
Kontrol terhadap kegagalan guling
 $FK_{guling} = \frac{\sum MR}{\sum MD} \geq 2 \dots\dots\dots (8)$

- Stabilitas Global
 $FK_{global} = F_s \text{ non - tulanngan} + \frac{\sum_{n=1}^{n=p} M_g}{\sum_{n=1}^{n=p} (W_n \sin \alpha_n) R} \dots\dots (9)$

- 9) Merencanakan metode pelaksanaan pemasangan geogrid pada lereng dan perhitungan rencana anggaran biaya (RAB).

3. . HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi N-SPT

Berdasarkan data parameter tanah yang didapatkan di lapangan dari pengujian *Boring Log* sangat terbatas, maka digunakan nilai korelasi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Penentuan nilai korelasi sebagai berikut:

1. Sudut Geser Dalam Efektif (ϕ)

Dalam perhitungan sudut geser dalam efektif digunakan teori berdasarkan nilai tipikal (AS-4678, 2002). Berikut hasil perhitungan korelasi terhadap sudut geser dalam:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Sudut Geser Dalam Efektif dengan Teori AS 4678 (2002)

Material Name	Depth (m)	ϕ'
Silty Sand. 1	0.00 - 5.00	33,00
Silty Sand 2.	5.00 - 11.00	39,00
Sandy Silt	11.00 - 18.00	43,00
Silty Sand 3.	18.00 - 20.50	31,00
Gravelly	20.50 - 25.50	37.98

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

2. Kohesi Efektif (c')

Sama seperti mencari parameter sudut geser dalam efektif, penulis menggunakan teori rekomendasi dari AS-4678, 2002. Berikut hasil perhitungan kohesi efektif

Tabel 2 Nilai Kohesi Efektif.

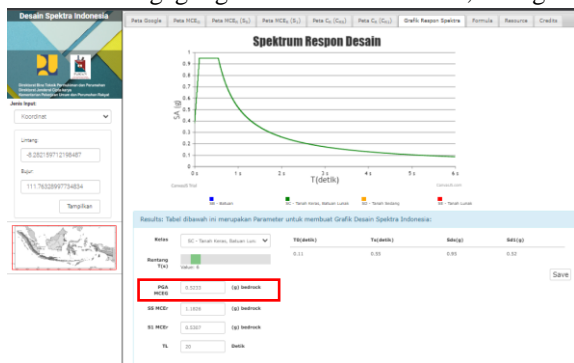
Material Name	Depth (m)	c' (kPa)
Silty Sand. 1	0.00 - 5.00	3
Silty Sand 2.	5.00 - 11.00	2
Sandy Silt	11.00 - 18.00	29
Silty Sand 3.	18.00 - 20.50	9
Gravelly	20.50 - 25.50	0

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Koefisien Horizontal (k_h)

1. Menentukan Nilai PGA

Berdasarkan peta hazard gempa pada rsa.ciptakarya.pu.go.id, potensi gempa yang terjadi pada lokasi studi Jalan Lintas Selatan LOT 6 STA 12+625 Kabupaten Tulungagung sebesar 0,4 – 0,5 g. Nilai PGA didapatkan dari aplikasi spectrum respons desain Indonesia tahun 2019 yang mengacu pada SNI 1726;2019 sehingga didapatkan nilai PGA pada JLS LOT 6 Tulungagung STS 12+625 senilai 0,5233 g.



Gambar 1. Nilai PGA pada JLS LOT 6 Tulungagung STA 12+625

2. Menentukan Kelas Situs Tanah

Kelas situs tanah ditentukan berdasarkan tabel SNI 8460-2017.

Tabel 3. Faktor Amplifikasi untuk PGA di Wilayah Kabupaten Tulungagung

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCER) terpetakan pada perioda pendek, T = 0,2 detik, S _s					
	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	S1 = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,5	
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0,5	S _s = 0,75	S _s = 1,0	S _s = 1,25	S _s ≥ 1,5
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
SC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
SD	1.6	1.4	1.2	1.1	1	1
SE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
SF	SS ^(a)					

Sumber: SNI 8460-2017

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa proyek JLS LOT 6 Tulungagung STA 12+625 merupakan tanah keras (SC). Maka didapatkan nilai F_{PGA} yaitu sebesar 1,2.

Perhitungan koefisien seismic horizontal (k_h) dapat dihitung berdasarkan SNI 8460-2017 (Peraturan Perancangan Geoteknik) dengan perhitungan sebagai berikut:

- Mencari nilai PGAM

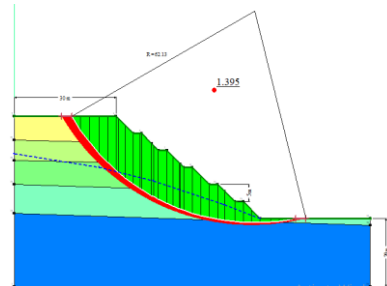
$$\begin{aligned}
 PGAM &= F_{PGA} \times PGA \\
 &= 1,2 \times 0,5233 \\
 &= 0,628 \text{ g}
 \end{aligned}$$

- Mencari nilai kh

$$\begin{aligned}
 kh &= 0,5 \times \frac{PGAM}{g} \\
 &= 0,5 \times \frac{0,628 \text{ g}}{g} \\
 &= 0,31398
 \end{aligned}$$

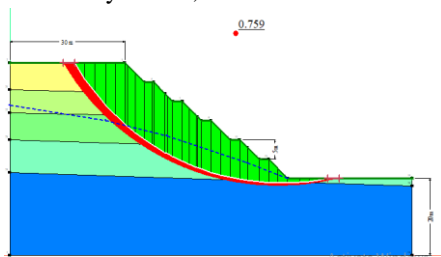
Stabilitas Lereng 1:1 (Eksisting)

Kondisi kemiringan lereng eksisting pada Proyek Jalan Lintas Selatan Tulungagung STA 12+625 adalah 1:1 dengan perbandingan 1 vertikal dan 1 horisontal atau membentuk sudut 45°. Lereng eksisting ini akan dilakukan analisis dengan menggunakan program GeoStudio SLOPE/W dan dengan cara manual. Analisis stabilitas dengan perhitungan manual menggunakan metode Bishop Disederhanakan (Bishop Simplified). Didapatkan nilai faktor keamanan lereng 1:1 sebesar:



Gambar 2. Nilai FK Lereng Eksisting Tanpa beban Gempa

Dari hasil perhitungan program diperoleh nilai FK tanpa beban gempa = 1,395 < 1,5 dengan jari jari bidang longsor pada kondisi kritis yaitu 62,13 m.



Gambar 3. Nilai FK Lereng Eksisting dengan Beban Gempa

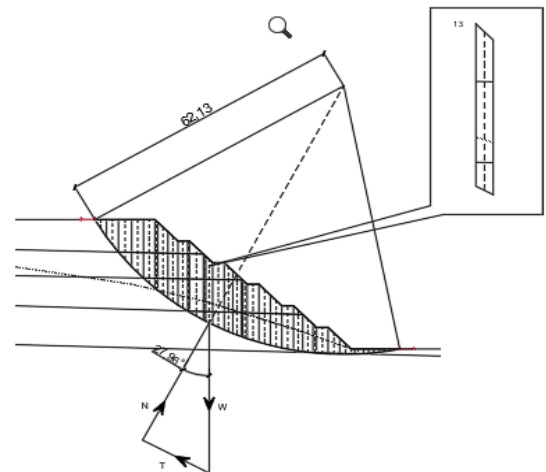
Dari hasil perhitungan program diperoleh nilai FK dengan beban gempa = 0,759 < 1,1. Dari hasil yang ada keduanya belum memenuhi syarat FK izin sehingga lereng eksisting masih tergolong tidak stabil dan diperlukan perkuatan untuk menstabilkan.

Adapun langkah perhitungan dengan metode Bishop sebagai berikut:

- 1) Menggambar geometri lereng dengan jari-jari kelongsoran sebesar 62,13 meter dengan membagi kelongsoran menjadi 33 irisan.
- 2) Menghitung luas setiap irisan.

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{(a_1+h_1) \times b}{2} \\
 &= \frac{(5,34+3,87) \times 1,5}{2} \\
 &= 6,91 \text{ m}^2 \\
 A_2 &= \frac{(a_2+h_2) \times b}{2} \\
 &= \frac{(57,49+7,5) \times 1,5}{2} \\
 &= 11,24 \text{ m}^2 \\
 A_3 &= \frac{(a_3+h_3) \times b}{2} \\
 &= \frac{(2,21+2,96) \times 1,5}{2} \\
 &= 3,87755 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- 3) Menghitung berat irisan yang merupakan hasil perkalian dari luas tiap irisan (A) dan berat isi tanah (γ) Berikut ini contoh perhitungan pada irisan 13.



Gambar 4. Irisan No. 13

$$\begin{aligned}
 W_1 &= A_1 \cdot \gamma_1 = 6,91 \times 17,85 = 123,29 \text{ kN/m} \\
 W_2 &= A_2 \cdot \gamma_2 = 11,23 \times 18,04 = 202,86 \text{ kN/m} \\
 W_3 &= A_3 \cdot \gamma_3 = 3,88 \times 18,93 = 73,39 \text{ kN/m} \\
 W_{\text{total}} &= W_1 + W_2 + W_3 \\
 &= 123,2851 + 202,8613 + 73,3884 \\
 &= 399,54 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- 4) Menentukan sudut bidang longsor dengan arah gaya berat masing masing irisan. Sudut bidang longsor pada irisan 13 sebesar 27.96°
- 5) Menentukan sudut $\sin \alpha$, $\cos \alpha$, dan $\tan \phi'$ pada irisan 13.

$$\begin{aligned}
 \sin \alpha_{13} &= \sin 27.96^\circ = 0,47 \\
 \cos \alpha_{13} &= \cos 27.96^\circ = 0,88 \\
 \tan \phi' &= \tan 31^\circ = 0,60
 \end{aligned}$$
- 6) Menentukan nilai kohesi dikali lebar

$$c \cdot b_{13} = 3 \times 1,5 = 13,50$$
- 7) Menentukan tinggi tekanan air pori pada irisan lereng dan menghitung tekanan air pori (u) yang merupakan hasil kalo dari berat isi air (γ_w) dan ordinat tekanan air pori (h_w) dengan panjang 4.86 m.

$$u = \gamma_w \cdot h_w = 9,81 \times 4,86 = 47,662 \text{ kN/m}$$
- 8) Menentukan beban berat dikali sudut tangensial bidang longsor lereng sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 c' \cdot b + (W - u \cdot bn) \tan \phi \\
 = 13,50 + (399,53 - 47,662 \times 1,5) \times 0,60 \\
 = 210,61
 \end{aligned}$$
- 9) Menentukan nilai Ne dan Te dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_e &= kh \cdot W \sin \alpha = 0,314 \times 187,32 = 58,82 \text{ kN/m} \\
 T_e &= kh \cdot W \cos \alpha = 0,314 \times 352,90 = 110,80 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$
- 10) Perhitungan faktor keamanan lereng dengan memasukkan hitungan dari seluruh irisan lereng dan perhitungan coba - coba (trial-error) dengan mengasumsikan FS adalah sebesar 1.39 sehingga perhitungan FS pada ruas kiri dan ruas kanan harus sama

$$\begin{aligned}
 m_{a13} &= \cos \alpha_{13} + \frac{\tan \phi' \cdot \sin \alpha_{13}}{\tan 31^\circ \cdot \sin 27,96} \\
 &= \cos 27,96 + \frac{1,39}{1,39} \\
 &= 1,09 \\
 &= \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + (W_n - u_n b_n) \tan \phi')}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \frac{1}{m_{\alpha(n)}} \\
 \text{FK} &= \frac{6668,26}{4797,45} \\
 &= 1,39 \\
 &= \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + (W_n - u_n b_n + Ne) \tan \phi')}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n + Te} \frac{1}{m_{\alpha(n)}} \\
 \text{FK}_{\text{gempa}} &= \frac{6724,70}{2994,78} \\
 &= 0,86
 \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan stabilitas lereng dengan metode Bishop disederhanakan, maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Rekapitulasi Nilai FK Lereng Eksisting 1:1

FK	Manual		GeoStudio SLOPE/W	
	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa	Tanpa Beban Gempa	Dengan Beban Gempa
	1.390	0.863	1.395	0.759

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

Stabilitas Lereng Eksisting + Perkuatan Geogrid

Setelah dilakukan perhitungan stabilitas pada lereng eksisting kemiringan 1:1 didapatkan nilai faktor keamanan lereng kurang dari faktor keamanan ijin dan lereng dapat dikatakan tidak aman sehingga perlu diberi perkuatan berupa geogrid.

Permodelan Desain Lereng + Geogrid

Perkuatan lereng yang direncanakan pada lereng ini adalah menggunakan perkuatan Geogrid. Tipe geogrid yang direncanakan menggunakan Geogrid Uniaxial PP dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4. Spesifikasi Geogrid

Specification	Tensile Strength (kN/M \geq)	Tensile Strength @ 2% Elongation (kN/m \geq)	Tensile Strength @ 5% Elongation (kN/m \geq)	Creep Limit Strength (kN/M \geq)
	PGU-40	35	9	18
PGU-80	80	23	44	30
PGU-100	100	29	55	39
PGU-150	110	30	58	40
PGU-300	120	35	65	46

Sumber: PT. Prima Geotex Indo

Perkuatan lereng dengan geogrid yang direncanakan terdiri dari 3 (tiga) jenis interval. Pada bagian bawah, jarak

interval geogrid adalah 0.5 m, sedangkan bagian tengah jarak interval geogrid adalah 0.75 m dan 1 m pada bagian lereng atas

Parameter tanah timbunan yang akan digunakan berdasarkan parameter tanah pada lereng itu sendiri.

Tabel 5. Parameter Tanah Timbunan

PERKIRAAN TANAH TIMBUNAN		
$\gamma'r$ (kN/m 3)	C'r (kPa)	$\phi'r$ ($^\circ$)
18.93	9.00	31.00

Jumlah Lapisan Geogrid

Spasi atau jarak interval pada lereng bawah sebesar 0,5 m dan 1,0 m pada tiga bagian lereng atas maka jumlah lapisan yang digunakan sebagai berikut:

Lereng atas = $H/Sv = 10/1 = 10$ Lapis

Lereng tengah = $H/Sv = 10/0,75 = 14$ Lapis

Lereng bawah = $H/Sv = 10/0,5 = 20$ Lapis

Dengan mengasumsikan bahwa distribusi tekanan tanah adalah seragam, maka:

$Ka = \tan^2(45 - \frac{\phi'r}{2}) = \tan^2(45 - \frac{31}{2}) = 0,32$

Berikut adalah urutan untuk perhitungan panjang minimum tulangan dari stabilitas menyeluruh dan panjang tulangan minimum dari penggelinciran langsung

FS rencana = 1,5

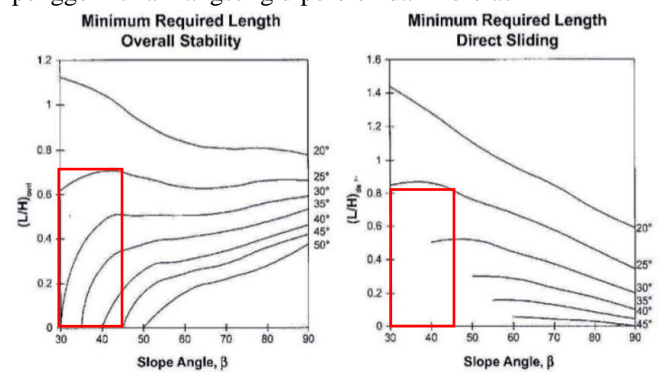
H = 30 m

H' = $H + (q/\gamma'r)$

= $30 + (0/18.93) = 30$ m

Panjang Geogrid

Perhitungan panjang minimum tulangan dari stabilitas perhitungan panjang minimum tulangan dari stabilitas menyeluruh dan panjang tulangan minimum dari penggelinciran langsung diperoleh dari korelasi



Gambar 5. Korelasi Panjang Minimum

$(Lr/H)_{ovrl} = 0,7$

$L_{ovrl} = (Lr/H)_{ovrl} \times H' = 0,7 \times 30 = 21$ m

$(Lr/H)_{ds} = 0,81$

$L_{ovrl} = (Lr/H)_{ds} \times H' = 0,81 \times 30 = 24,3$ m

Karena $(Lr/H)_{ds} > (Lr/H)_{ovrl}$ maka dipilih panjang tulangan 24,3 m. Berikut adalah urutan dalam perhitungan

stabilitas internal perkuatan geogrid, dengan contoh pada kedalaman $z = 5,50$ m :

$$L_r = (H-z)\tan(45-(\phi^{\prime} r)/2)$$

$$= (30-5,5)\tan(45-31/2) = 13,86 \text{ m}$$

$$L_e = (S_v \times \sigma_h \times FS) / (2\beta(c + \sigma_v \tan \phi^{\prime} r))$$

$$= (1 \times 33,32 \times 1,5) / (2 \times 0,75(9 + 104,1 \tan 31))$$

$$= 0,47 \text{ m}$$

Berdasarkan pedoman perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik No. 003/BM/2009 panjang L_e minimum adalah 1,0 meter, karena L_e hitung kurang dari L_e minimum, maka digunakan panjang L_e adalah 1,0 meter

$$L_{total} = L_r + L_e = 13,86 + 1 = 14,86 \text{ m}$$

Karena L hitung $<$ L minimum maka dipilih panjang tulangan 20 m.

Kontrol Stabilitas

Adapun pengontrolan stabilitas sebagai berikut:

A. Stabilitas Internal

Untuk menghitung faktor keamanan akibat cabut (SF pullout) maka perlu ditentukan koefisien yang mempengaruhi keruntuhan cabut. Berdasarkan pedoman perencanaan dan pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik No. 003/BM/2009 koefisien keruntuhan cabut sebagai berikut:

Tabel 6. Koefisien Keruntuhan Cabut

Koefisien pada keruntuhan cabut				
ϕ	F^*	α	C	RC
FS cabut =	$(L_e \times \phi \times F^* \times \alpha \times \sigma_v \times C \times RC) / (T \max)$			
=	$(1 \times 0,9 \times 0,54 \times 0,8 \times 104,1 \times 2 \times 1) / 33,32$			
=	2,16 $>$ 1,5 (OK)			

Tabel 7. Perhitungan Stabilitas Terhadap Cabut

Lapis	L pakai	Lo	SF pullout	SF $>$ 1.5
1	20	0.5	4.32	OK
2	20	0.5	2.16	OK
3	20	0.5	2.16	OK
4	20	0.5	2.16	OK
5	20	0.5	2.16	OK
6	20	0.5	2.16	OK
7	20	0.5	2.16	OK
8	20	0.5	2.16	OK
9	20	0.5	2.16	OK
10	20	0.5	2.16	OK
11	22	0.5	2.16	OK
12	22	0.5	2.88	OK
13	22	0.5	2.88	OK
14	22	0.5	2.88	OK

Lapis	L pakai	Lo	SF pullout	SF $>$ 1.5
15	22	0.5	2.88	OK
16	22	0.5	2.88	OK
17	22	0.5	2.88	OK
18	22	0.5	2.88	OK
19	22	0.5	2.88	OK
20	22	0.5	2.88	OK
21	22	0.5	2.88	OK
22	22	0.5	5.77	OK
23	22	0.5	8.65	OK
24	22	0.5	11.53	OK
25	24	0.5	14.42	OK
26	24	0.5	4.32	OK
27	24	0.5	4.32	OK
28	24	0.5	4.32	OK
29	24	0.5	4.32	OK
30	24	0.5	4.32	OK
31	24	0.5	4.32	OK
32	24	0.5	4.32	OK
33	24	0.5	4.32	OK
34	24	0.5	4.32	OK
35	24	0.5	4.32	OK
36	24	0.5	4.32	OK
37	24	0.5	4.32	OK
38	24	0.5	4.32	OK
39	24	0.5	4.32	OK
40	24	0.5	4.32	OK
41	24	0.5	4.32	OK
42	24	0.5	4.32	OK
43	24	0.5	4.32	OK
44	24	0.5	4.32	OK

Sumber: Hasil Perhitungan, 2022

B. Stabilitas Eksternal

- Kontrol FK terhadap kegagalan geser

$$FS_{geser} = R_b / P_a$$

$$= 5713,12 / 2417,21$$

$$= 1,57 > 1,5 \text{ (OK)}$$
- Kontrol FK terhadap kegagalan guling

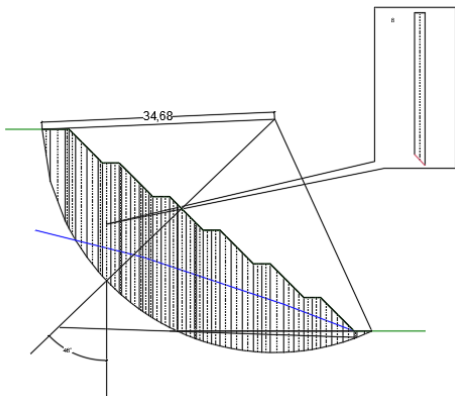
$$FS_{guling} = (\sum MR) / (\sum MD)$$

$$= 113560,43 / (27262,92)$$

$$= 4,17 > 2 \text{ (OK)}$$

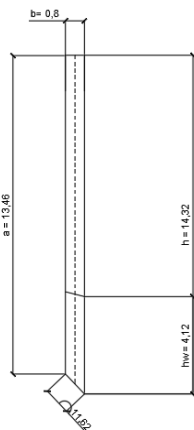
C. Stabilitas Global

Untuk menghitung faktor keamanan terhadap kegagalan stabilitas global digunakan analisis dengan menggunakan Metode Bishop. Lereng dibagi menjadi beberapa irisan. Berikut adalah urutan dalam perhitungan stabilitas terhadap kegagalan geser perkuatan geogrid, dengan contoh pada kedalaman $z = 5,50$ m.



Gambar 6. Bidang Longsor Akibat Perkuatan Geogrid

- 1) Menggambar geometri lereng dengan jari-jari kelongsoran sebesar 34,68 meter dengan membagi kelongsoran menjadi 39 irisan.
- 2) Menghitung luas setiap irisan.



Gambar 7. Irisan Ke-8

Tabel 8. Panjang Irisan Ke-8

Simbol	Nilai
a	13,46 m
h	14,32 m
b	0,8 m
Panjang bidang longsor (l)	11,62 m
Ordinat tekanan air pori (h_w)	4,12 m

$$A = \frac{(a+h) \times b}{2} = \frac{(13,48+14,32) \times 0,8}{2} = 11,12 \text{ m}^2$$

- 3) Menghitung berat irisan yang merupakan hasil perkalian dari luas tiap irisan (A) dan berat isi tanah (γ) Berikut ini contoh perhitungan pada irisan 8.

$$W_8 = A_8 \cdot \gamma = 11,12 \times 18,93 = 210,47 \text{ kN/m}$$

- 4) Menentukan sudut bidang longsor dengan arah gaya berat masing masing irisan. Sudut bidang longsor pada irisan 8 sebesar $46,61^\circ$
- 5) Menentukan sudut $\sin \alpha$, $\cos \alpha$, dan $\tan \phi'$ pada irisan 8.

$$\sin \alpha_8 = \sin 46,61^\circ = 0,73$$

$$\cos \alpha_8 = \cos 46,61^\circ = 0,69$$

$$\tan \phi' = \tan 31^\circ = 0,60$$
- 6) Menentukan nilai kohesi dikali lebar

$$c \cdot b_9 = 9 \times 0,8 = 7,2$$
- 7) Menentukan tinggi tekanan air pori pada irisan lereng dan menghitung tekanan air pori (u) yang merupakan hasil kalo dari berat isi air (γ_w) dan ordinat tekanan air pori (h_w) dengan panjang 4.12 m.

$$u = \gamma_w \cdot h_w = 9,81 \times 4,12 = 40,40 \text{ kN/m}$$

- 8) Menentukan beban berat dikali sudut tangensial bidang longsor lereng sebagai berikut

$$c' \cdot b + (W - u \cdot b_n) \tan \phi = 7,20 + (210,47 - 40,40 \times 0,8) \times 0,60 = 185,65$$

- 9) Perhitungan faktor keamanan lereng dengan memasukkan hitungan dari seluruh irisan lereng dan perhitungan coba - coba (trial-error) dengan mengasumsikan FS adalah sebesar 2,49 sehingga perhitungan FS pada ruas kiri dan ruas kanan harus sama

$$m_8 = \cos \alpha_8 + \frac{\tan \phi' \cdot \sin \alpha_8}{FS} = \cos 46,61 + \frac{\tan 31 \cdot \sin 46,61}{2,49} = 10,86$$

$$FK = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c b_n + (W_n - u_n b_n) \tan \phi') \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n}$$

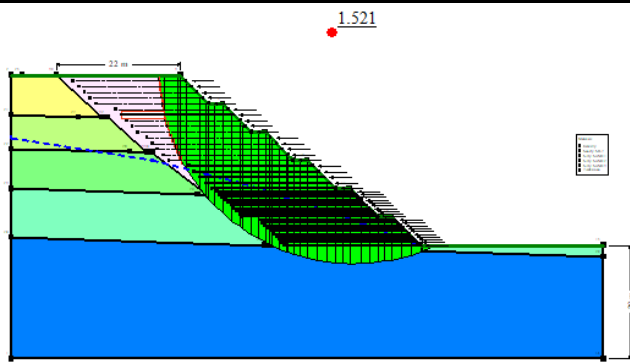
$$FK = \frac{7502,97}{4933,22} = 1,52$$

Maka didapatkan FS non-tulangan sebesar 1,52. Untuk perhitungan faktor keamanan terhadap stabilitas global adalah sebagai berikut:

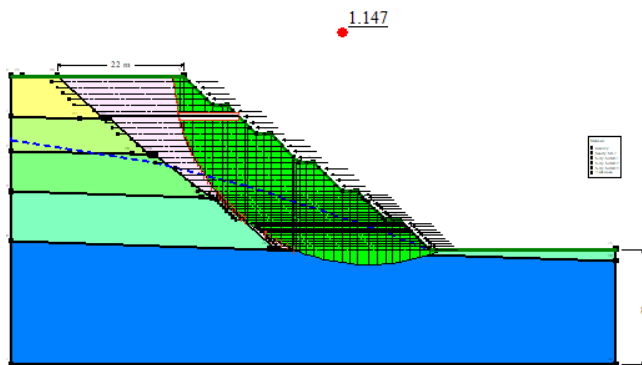
$$FS_{\text{global}} = F_s \text{ non-tulangan} + \frac{\sum_{n=1}^{n=p} Mg}{\sum_{n=1}^{n=p} (W_n \sin \alpha_n) R}$$

$$= 1,52 + \frac{586175,20}{4933,22 \times 34,68} = 4,95 > 2,5 \text{ (OK)}$$

Berikut adalah hasil perhitungan FK pada program GeoStudio SLOPE/W.



Gambar 8. Faktor Keamanan Perkuatan Lereng Tanpa Beban Gempa



Gambar 9. Faktor Keamanan Perkuatan Lereng Dengan Beban Gempa

Metode Pelaksanaan

Setelah merencanakan stabilitas lereng dengan perkuatan geogrid, selanjutnya direncanakan metode pelaksanaan di lapangan. Berikut adalah metode pelaksanaan pemasangan geogrid.

- 1) Pembersihan lokasi dari benda yang dapat merusak geogrid seperti batu besar, akar pohon, ranting pohon, kaleng dan beling, pembersihan tanah yang mengalami kelongsoran.
- 2) Pengukuran batas lahan yang akan digali.
- 3) Melakukan pekerjaan penggalian tanah menggunakan excavator kemudian diangkut ke dump truck dan kemudian dibuang ke area pembuangan (*disposal area*).

- 4) Galian dilakukan per layer sesuai rencana untuk mengurangi resiko kelongsoran.
- 5) Pemasangan tanah dasar dibawah lereng yang akan diberi perkuatan.
- 6) Setelah pekerjaan galian selesai, perlu dilakukan pengukuran kembali untuk memastikan posisi galian telah mencapai elevasi galian rencana.
- 7) Penggelaran material geogrid arah utama dimulai dari lapisan pertama.
- 8) Pemasangan material geogrid secara tumpang tindih (*overlap*) dengan panjang *overlap* sesuai rencana yaitu 50 cm di bagian ujung kanan dan kiri lalu diikat dengan *cabl-tie*.
- 9) Penghamparan material timbunan di atas geogrid yang telah dihampar menggunakan bulldozer. Penghamparan dilakukan dengan cara material dituangkan serta diratakan searah dengan arah penghamparan geogrid.
- 10) Setelah dilakukan penghamparan dan perataan timbunan, selanjutnya dilakukan pemadatan material timbunan.
- 11) Setelah proses pemadatan berhasil, langkah selanjutnya adalah memasang lapisan geogrid berikutnya. Proses pemasangan harus diulang kembali untuk lapisan geogrid dan timbunan lainnya sesuai dengan perencanaan.

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Pada perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB), analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) yang digunakan merupakan AHSP Tahun 2022 dengan HSD Kabupaten Tulungagung tahun 2020. Biaya yang diperlukan untuk perkuatan lereng menggunakan geogrid senilai Rp. 4,423,105,139,- untuk 44 lapis geogrid sepanjang 50 meter dengan ketinggian lereng 30 meter. Berikut adalah RAB perkuatan lereng dengan gogrid pada lereng JLS LOT 6 Tulungagung STA 12+625.

Tabel 9. Rencana Anggaran Biaya Perkuatan Lereng Dengan Geogrid

No	Jenis Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Pekerjaan Galian	36,675.78	m3	Rp 29,558.22	Rp 1,084,070,759.67
2	Pekerjaan Penghamparan	36,925.88	m3	Rp 7,624.37	Rp 281,536,415.19
3	Pekerjaan Pemadatan	36,925.88	m3	Rp 35,532.43	Rp 1,312,065,967.61
4	Pemasangan Geogrid	251.00	roll	Rp 6,953,912.34	Rp 1,745,431,996.53
Jumlah					4,423,105,139

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan Review Design Lereng Dengan Perkuatan Geogrid Pada proyek JLS LOT 6

Tulungagung STA 12+625 pada pembahasan sebelumnya, maka kesimpulan yang diperoleh adalah :

1. Pembebanan yang terjadi pada lereng STA 12+625 adalah beban dari lereng itu sendiri dan beban gempa. Koefisien horizontal yang terjadi pada STA 12+625 adalah sebesar 0,31398.
2. Hasil analisis stabilitas lereng dengan metode Bishop disederhanakan pada proyek JLS LOT 6 Kab. Tulungagung dengan kemiringan eksisting 1:1 termasuk lereng yang tidak stabil karena nilai faktor keamanan lereng kurang dari faktor keamanan ijin, berdasarkan perhitungan didapatkan nilai FK sebagai berikut:
 - a. Program GeoStudio SLOPE/W = 1,40 (tanpa beban gempa) dan 0,76 (dengan beban gempa).
 - b. Perhitungan manual = 1,39 (tanpa beban gempa) dan 0,86 (dengan beban gempa).
3. Hasil analisis stabilitas lereng dengan ditambahkan perkuatan geogrid maka didapatkan FK berdasarkan perhitungan stabilitas internal $FK_{pullout} = 2,16$. Pada perhitungan kontrol terhadap stabilitas eksternal didapatkan hasil FK yaitu FK_{geser} geogrid dengan panjang geogrid 20 meter, 22 meter dan 24 meter masing masing adalah 1,57;1,7; dan 1,89 serta nilai $FK_{guling} = 4,17$. Pada perhitungan stabilitas terhadap kegagalan global didapatkan nilai $FK_{global} = 4,95$. Pada perhitungan stabilitas terhadap terjadinya kelongsoran menggunakan program GeoStudio SLOPE/W $FK = 1,52$ (tanpa beban gempa) dan $FK = 1,15$ (dengan beban gempa).
4. Metode pelaksanaan stabilitas lereng dengan perkuatan geogrid diawali dengan pekerjaan persiapan, penentuan batas lahan galian, penggalian lereng, penggelaran geogrid, penghamparan material timbunan diatas geogrid dan pemadatan.
5. Rencana anggaran biaya yang didapatkan dari pekerjaan stabilisasi dengan perkuatan geogrid adalah sebesar Rp. 4,423,105,139,- dengan volume galian 36.675,785 m³ dan jumlah geogrid yang dibutuhkan sebesar 49.400 m² atau 251 roll serta volume timbunan 36.925,88 m³

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726:2019," *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, no. 6, p.39, 2019
- [2] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 8460:2017," *Persyaratan Perancangan Geoteknik*, 2017
- [3] Das, Braja M. dkk, 1993, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*, Jakarta: *Penerbit Erlangga*, no. 12, pp 165-213,.
- [4] Dirjen Bina Marga. "Buku Pedoman DPU No. 003/BM/2009". *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah*. 2009