

## DESAIN ULANG BADAN JALAN DENGAN GEOTEKSTIL SEBAGAI ALTERNATIF PENINGKATAN STABILITAS LERENG

Rosiane Agustin<sup>1</sup>, Handi Sudardja<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta

<sup>1</sup>rosianeagustin@gmail.com, <sup>2</sup>handi\_sudardja@yahoo.com,

### Abstrak

Kondisi jalan Tol Ciawi – Sukabumi seksi 2 memiliki topografi beragam dengan beda ketinggian relatif besar. Untuk mendapatkan trase jalan yang aman dan nyaman dilakukan pekerjaan galian dan timbunan. Saat pekerjaan penimbunan di STA.18+700–STA.18+900 terjadi kelongsoran pada lereng. Untuk memastikan kondisi lereng aman selama masa layan, dilakukan rancang ulang badan jalan untuk menghasilkan lereng dengan nilai faktor keamanan (FK)  $\geq 1,25$  (Bowles, 1993) dan  $FK \geq 1,10$  jika gempa diperhitungkan (SNI 8460:2017). Fase kestabilan lereng yang dihitung pada kondisi lereng asli dengan memperhitungkan potensi gempa di lokasi penelitian. Analisis ini dilakukan dengan perhitungan manual dan software GeoStudio 2018 R2 sub program SLOPE/W, kedua perhitungan menggunakan *Simplified Bishop Methode*. Hasil analisis kelongsoran didapatkan FK lereng asli tanpa memperhitungkan gempa sebesar 1,48 untuk perhitungan manual dan 1,41 untuk SLOPE/W. Kemudian FK lereng dengan pengaruh gempa bernilai 0,79 dengan perhitungan manual dan 0,82 dengan SLOPE/W, didapatkan seluruh kondisi adalah kelongsoran dasar. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa gempa berdampak cukup signifikan terhadap kestabilan lereng, dengan penurunan FK lereng sebesar 44,23% dan lereng dikategorikan labil. Kemudian, direkomendasikan penambahan geotekstil teranyam dengan kuat tarik 200 kN serta *counterweight* bronjong batu kali. Dari pemodelan pada tiap kondisi yang telah disimulasikan, didapatkan kondisi penanggulangan Tipe III dengan FK lereng 1,15 sebagai rancangan ulang.

**Kata kunci:** Bishop, Faktor keamanan, Geotekstil, SLOPE/W, Stabilitas lereng

### Abstract

*The condition of Ciawi – Sukabumi Toll Road section 2 has various topographies with difference of elevation. To get a safe and comfortable road alignment, cut and fill works are carried out. During the landfill work at STA.18 + 700 – STA.18 + 900 landslides occurred on the slopes. To ensure that the slope conditions are safe during the service period, redesign of the road bodies is carried out to produce slopes with a safety factor value (SF)  $\geq 1.25$  (Bowles, 1993) and  $SF \geq 1.10$  if the earthquake is calculated (SNI 8460: 2017). The slope stability phase is calculated on the original slope conditions by taking into account the potential for earthquakes at the research location. This analysis was carried out with manual calculations and the GeoStudio 2018 R2 sub program SLOPE/W, both calculations using the Simplified Bishop Method. The results of the sliding analysis obtained the original slope SF without considering the earthquake of 1.48 for manual calculations and 1.41 for SLOPE/W. Then the SF of the slopes with the effect of the earthquake is 0.79 with manual calculations and 0.82 with SLOPE/W, it is found that all conditions are basic sliding. The analysis showed that the earthquake had a significant impact on slope stability, with a decrease in slope SF of 44.23% and the slope was categorized as unstable. Then, it is recommended to add woven geotextile with a tensile strength of 200 kN and a river stone gabion counterweight. From the modeling in each condition that has been simulated, it is found that the countermeasures are Type III with slope SF 1.15 as a redesign.*

**Keywords:** Bishop, Geotextile, Safety factor, SLOPE/W, Slope stability

### Pendahuluan

Pembangunan jalan Tol Ciawi – Sukabumi dimaksud untuk memperkuat jaringan jalan

kedua wilayah demi mencairkan kemacetan lalu lintas serta menunjang pertumbuhan ekonomi. Beragamnya kondisi topografi di Sukabumi

## Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng

khususnya lokasi tinjauan yakni seksi 2, mengakibatkan banyak area proyek memiliki beda ketinggian yang relatif besar. Pada suatu kontur tanah yang tidak merata serta kondisi tanah yang kurang baik diperlukan pekerjaan timbunan dan galian sebelum dibangunnya suatu konstruksi.

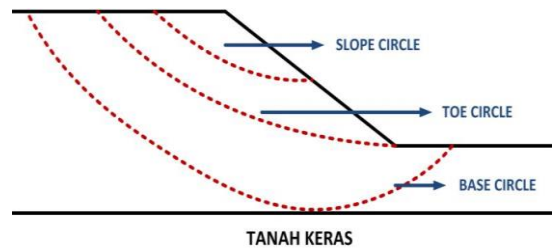
Pada saat pelaksanaan terjadi kelongsoran di STA. 18+700 hingga STA. 18+900, dikarenakan kesalahan pada saat proses pengupasan tanah lapis atas (*stripping*) tanah dasar yang mengakibatkan berkurangnya ikatan antara tanah eksisting dan tanah timbunan, ditambah dengan faktor curah hujan belakangan ini yang ekstrem serta frekuensi gempa yang terjadi cukup sering pada lokasi tinjauan. Untuk memastikan kondisi lereng aman selama masa layannya, dilakukan rancang ulang badan jalan dengan terfokus pada STA 18+800 agar nantinya menghasilkan perencanaan lereng dengan nilai faktor keamanan (FK) > 1,25 dan  $FK \geq 1,10$  jika gempa diperhitungkan. Dimana nantinya digunakan perkuatan geotekstil teranyam pada timbunan lereng eksisting untuk meningkatkan stabilitasnya.

Longsoran terjadi karena adanya gerakan tanah. Gerakan tanah adalah proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring terhadap kedudukan semula karena pengaruh air, gravitasi dan beban yang bekerja di atasnya, serta faktor lingkungan sekitar. Kondisi lereng dengan beban yang besar dan kemiringan yang curam dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran sehingga diperlukan perkuatan lereng, salah satunya geotekstil. Geotekstil sering digunakan karena mudah pelaksanaannya, murah dan dapat meningkatkan stabilitas lereng secara efektif.

Perhitungan nilai FK lereng merupakan cara untuk menganalisis kestabilan suatu lereng menggunakan data sifat fisik tanah, mekanika tanah dan bentuk geometri lereng. Metode yang digunakan adalah metode keseimbangan batas. Metode ini relatif sederhana dan digunakan untuk longsoran tipe gelinciran rotasional dan translasional.

Di bawah ini adalah macam – macam kelongsoran pada longsor rotasional.

- a. Kelongsoran pada lereng (*slope failure*),
- b. Kelongsoran pada kaki lereng (*toe failure*), dan
- c. Kelongsoran pada dasar lereng (*base failure*).



**Gambar 1.** Bidang Gelincir pada Kelongsoran Rotasional

### Analisis Stabilitas Lereng

Kestabilan lereng tergantung kepada gaya penggerak (*driving force*) dan gaya penahan (*resisting force*) yang bekerja pada bidang gelincir tersebut, dimana dapat dicapai jika gaya penahan pada lereng lebih besar dari gaya penggerak. Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, disajikan dalam rumus:

$$FK = \frac{\text{gaya penahan}}{\text{gaya penggerak}} = \frac{\tau}{\tau_d} = \frac{c + \sigma \tan \phi}{c_d + \sigma \tan \phi_d}$$

dengan:

FK = faktor keamanan lereng

T = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$\tau_d$  = tegangan geser yang terjadi akibat berat tanah yang longsor ( $\text{kN/m}^2$ )

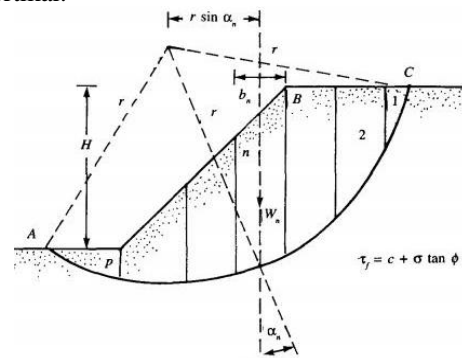
c = kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sigma$  = tegangan normal rata – rata pada permukaan bidang longsor ( $\text{kN/m}$ )

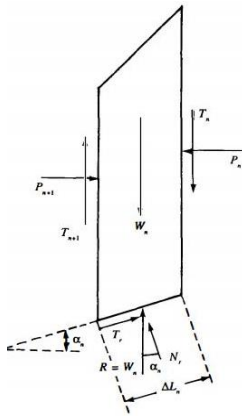
$\phi$  = sudut geser dalam tanah ( $^\circ$ )

### Metode Sederhana Bishop

Metode ini diperkenalkan oleh A.W. Bishop tahun 1955. Digunakan untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) berbentuk lingkaran dan kemudian massa dibagi ke dalam sejumlah irisan vertikal. Metode ini mempertimbangkan momen dan gaya normal tetapi mengabaikan gaya geser. Dengan kata lain gaya – gaya yang bekerja pada sisi – sisi irisan dianggap memiliki resultan nol pada arah vertikal.



## Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng



Sumber : Das (1993)

**Gambar 2.** Gaya – Gaya yang Bekerja pada Irisan

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

dengan,

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha_n}{FK_b}$$

dimana:

$FK_b$  = faktor keamanan lereng Bishop

$b_n$  = lebar irisan ke- $n$  arah horisontal (m)

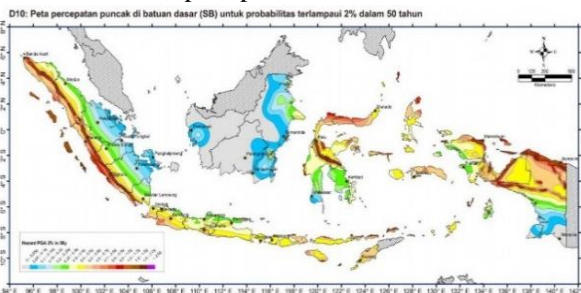
$W_n$  = berat irisan tanah ke- $n$  (kN)

$\alpha_n$  = sudut yang didefinisikan di Gambar 2 ( $^\circ$ )

$u_n$  = tekanan air pori pada irisan tanah ke- $n$  (kN/m<sup>2</sup>)

### Pengaruh Gempa terhadap Stabilitas Lereng

Adanya gempa dapat mengurangi kuat geser tanah sehingga akan mempengaruhi stabilitas lereng. Gempa rencana untuk lereng ditetapkan dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% menurut SNI 1726:2012 (untuk bangunan Gedung dan non Gedung) atau setara dengan periode ulang 500 tahun dengan mengacu pada *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017* seperti pada **Gambar 3**.



Sumber : SNI 8460:2017

**Gambar 3.** Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (SB) untuk Probabilitas Terlampaui 2% dalam 50 Tahun versi 2017

$FK_{min}$  yang disyaratkan untuk analisis menggunakan model *pseudostatik* adalah lebih besar dari 1,10. Koefisien seismik yang digunakan adalah percepatan puncak di permukaan (PGA) dengan menggunakan koefisien seismik horizontal ( $k_h$ ) ditentukan sebesar 0,5 dari percepatan puncak horizontal dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi.

$$F_h = k_h \cdot W$$

dimana:

$k_h$  = koefisien pseudostatik horizontal

$W$  = berat dari massa tanah yang runtuh

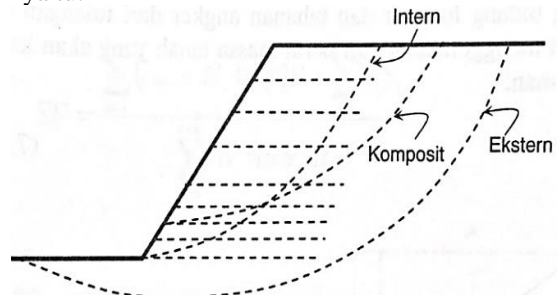
$$FK_{b_{gempa}} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Gempa}}$$

$$FK_{b_{gempa}} = \frac{(cb + [(W - ub) + F_h \sin \alpha] \tan \phi) \frac{1}{m_\alpha}}{W \cdot \sin \alpha + F_h \cos \alpha}$$

### Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan

Lereng tanah bertulang atau diperkuat (*Reinforced Soil Slope/RSS*) adalah bentuk stabilisasi tanah dengan menggunakan elemen perkuatan sebidang dalam suatu struktur lereng yang mempunyai kemiringan permukaan < 70°. Dimana dengan adanya perkuatan akan mampu melawan gaya yang meruntuhkan oleh kemampuan geser dan tarik dari bahan perkuatan tersebut, serta cukup berperan dalam memotong bidang longsor.

Ada 3 tipe dari model keruntuhan lereng bertulang menurut Berg dkk pada tahun 1989 yaitu:



Sumber : Hardiyatmo (2017)

**Gambar 4.** Keruntuhan Intern, Ekstern dan Komposit

Persyaratan untuk mendesain lereng dengan geotekstil sebagai perkuatan untuk lereng landai adalah sebagai berikut:

1. Untuk Stabilitas eksternal dan penurunan:
  - a. Keruntuhan geser,  $FK \geq 1,3$ ;

## Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng

- b. Keruntuhan daya dukung lokal (*squeezing lateral*),  $FK \geq 1,3$ ; dan
  - c. Beban dinamik,  $FK \geq 1,1$ .
2. Mode keruntuhan gabungan,  $FK \geq 1,3$ .
  3. Stabilitas internal,  $FK \geq 1,3$ .

Langkah – langkah yang dilakukan untuk mendesain geotekstil untuk lereng landau menurut Holtz, dkk (1998) dan Elias, dkk (2001), sebagai berikut:

1. Lakukan evaluasi parameter rencana kekuatan
  - a. Kuat tarik ijin rencana geosintetik ( $T_a$ ) dihitung dengan persamaan:

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_D \times FK}$$

- b. Tahanan cabut (*pull out*)
  - $FK_{PO} \geq 1,5$  tanah berbutir/granuler
  - $FK_{PO} \geq 2,0$  untuk tanah kohesif
  - Panjang tulangan min. yang tertanam di dalam tanah,  $L_e = 1,0m$
  - Terdapat hubungan antara panjang overlap ( $L_o$ ) dengan  $L_e$  dimana  $L_o = \frac{1}{2} L_e \geq 1,0 m$
2. Rencanakan kekuatan untuk mendapatkan lereng yang stabil  
Tentukan gaya tarik maksimum kekuatan per satuan lebar kekuatan  $T_{s-max}$ , dengan persamaan berikut:

$$T_{s-max} = (FK_R - FK) \frac{M_D}{y}$$

3. Menentukan distribusi tulangan
  - a. Untuk lereng rendah,  $H \leq 6,0 m$ , asumsikan kekuatan terdistribusi merata dan gunakan  $T_{s-max}$  untuk menentukan spasi atau kuat tarik yang dibutuhkan;
  - b. Untuk lereng  $H > 6,0 m$ , bagi lereng ke dalam dua zona atau tiga zona.
4. Menentukan jarak tulangan arah vertikal ( $S_v$ ) atau  $T_{max}$  yang dibutuhkan

$$T_{max} = \frac{T_z \cdot S_v}{H_z} = \frac{T_z}{N}$$

5. Menentukan Panjang tulangan yang dibutuhkan ( $L_e$ )

$$L_e = \frac{T_{max} \cdot FK_{OP}}{F^* \cdot \alpha \cdot \sigma_v' \cdot C} \geq 1 m$$

dengan:

- $F^*$  = faktor tahanan cabut atau faktor interaksi gesekan ( $\frac{2}{3} \tan \phi$ )
- $\alpha$  = faktor penyesuaian untuk tulangan fleksibel, untuk geotekstil = 0,6
- $C$  = keliling efektif kekuatan, untuk geotekstil nilai  $C=2$

$\sigma_v' = z \cdot \gamma$  = tegangan vertikal efektif antara tanah-geosintetik ( $kN/m^2$ )

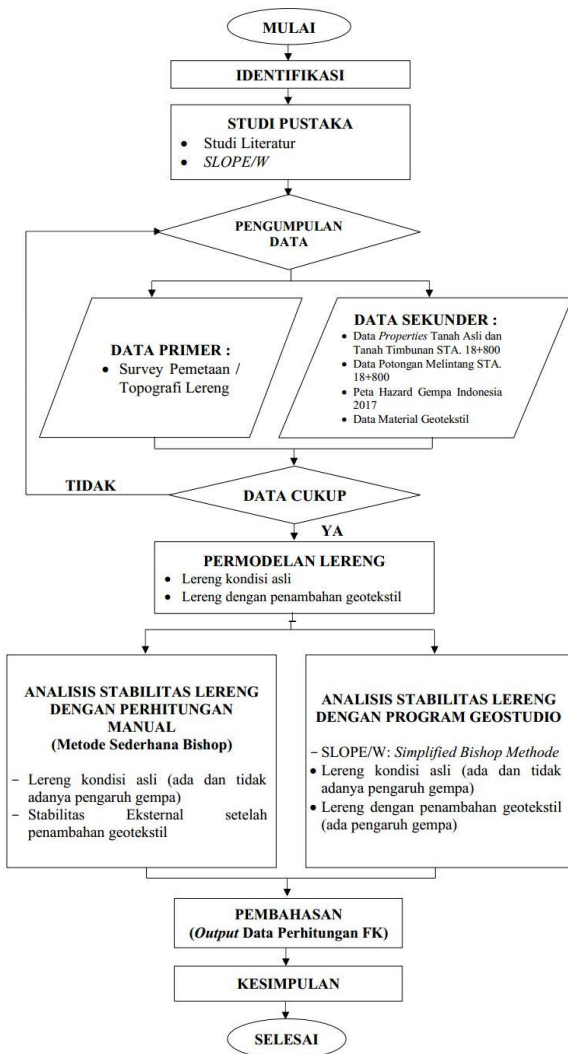
6. Cek stabilitas eksternal  
Apabila didapatkan keruntuhan lereng adalah keruntuhan ekstern maka harus dicek stabilitas eksternalnya, meliputi:
  - a. Stabilitas terhadap pergeseran
  - b. Stabilitas terhadap keruntuhan lereng menyeluruh
  - c. Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung lokal pada kaki timbunan

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan potongan melintang serta *properties* tanah eksisting dan timbunan STA. 18+800. Penelitian dilakukan dengan menganalisis stabilitas lereng pada kondisi lereng asli baik dengan maupun tanpa adanya pengaruh gempa. Penelitian ini membandingkan hasil faktor keamanan lereng sebelum dan sesudah ditambahnya geotekstil sebagai alternatif peningkatan stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng dihitung berdasarkan data sekunder lokasi tinjauan berupa data tanah, data pembebanan perkerasan jalan dan lalu lintas, Peta Hazard Gempa Indonesia 2017, serta data material geotekstil, dimana analisis didapatkan dari perhitungan manual stabilitas lereng serta bantuan perangkat lunak GeoStudio 2018 R2 sub program SLOPE/W. Untuk kedua analisis tersebut menggunakan metode Sederhana Bishop (*Simplified Bishop Methode*) serta digunakan permodelan lereng dan parameter yang sama baik manual maupun dengan SLOPE/W.

Metode dan tahapan penelitian dimulai dengan mencari beban – beban yang bekerja di atas lereng, menafsirkan data pengujian tanah untuk mendapatkan parameter tanah berupa kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), dan berat isi tanah ( $\gamma$ ). Dikarenakan akan diperhitungkannya pengaruh gempa pada lereng maka mencari koefisien seismik horizontal ( $k_h$ ) sesuai dengan SNI 8460-2017 dan Peta Hazard Gempa Indonesia tahun 2017. Bagan alir dapat dilihat pada **Gambar 5**.

# Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng

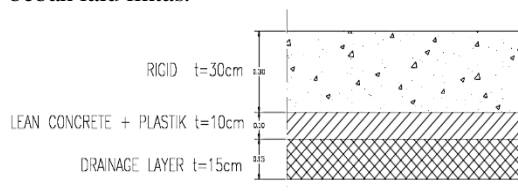


Sumber : Olahan Pribadi  
**Gambar 5.** Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Beban yang Bekerja di Atas Lereng

Beban tersebut yaitu gaya vertikal yang disebabkan oleh beban konstruksi jalan dan beban lalu lintas.



Sumber : PT. Waskita Karya (Persero) Tbk  
**Gambar 6.** Detail Perkerasan Jalan STA 18+800

$$\begin{aligned} \text{Beban Konstruksi} &= \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 \\ &= (24 \times 0,30) + (22 \times 0,10) + (22 \times 0,15) \\ &= 12,7 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

**Tabel 1.** Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)	Beban di luar Jalan (*) (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Keterangan :  
(\*) Beban dari bangunan rumah – rumah sekitar lereng

Sumber : SNI 8460:2017

Sehingga didapat beban vertikal total (*surcharge loads*) untuk dianalisis sebesar:

= beban konstruksi + beban lalu lintas

$$= 12,7 \text{ kN/m}^2 + 15 \text{ kN/m}^2$$

$$= 27,7 \text{ kN/m}^2$$

Diambil *Surcharge loads* sebesar 28 kN/m<sup>2</sup>

### Data Tanah dan Hasil Parameter Tanah

Penelitian menggunakan hasil penyelidikan tanah STA 18+800 berupa *boring log* (SPT) pada titik BHT-13 dan pengujian sondir (CPT) di kedua titik yakni pada S-15 dan S-3. Ditambah dengan data laboratorium tanah timbunan. Dapat dilihat pada Tabel 2 sampai Tabel 5.

**Tabel 2.** Hasil *Boring Log* (SPT) Titik BHT-13

Lapisan	Kedalaman (m)	L (m)	Deskripsi Tanah	N̄
2	0,6 – 7,0	6,4	Lanau kepasiran, <i>stiff</i> .	18,60
3	7,0 – 10,0	3,0	Lanau kepasiran, <i>hard</i> .	54,67

Sumber : Olahan Pribadi

**Tabel 3.** Hasil Uji Sondir (CPT) Titik S-15

Lapisan	Kedalaman (m)	L (m)	Deskripsi Tanah	q <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FR (%)
1	0,0 – 4,2	4,2	Lempung, <i>very soft</i> .	7,76	3,6
2	4,2 – 9,8	5,6	Lanau kepasiran, <i>medium stiff</i> .	28,34	1,7
3	9,8 – 11,8	2,0	Pasir kelanauan, <i>medium dense</i> .	72,27	0,8
4	11,8 – 12,8	1,0	Pasir, <i>dense</i> .	155,63	0,6

\*ditemukan Muka Air Tanah (MAT) pada kedalaman 4,6 m

Sumber : Olahan Pribadi

**Tabel 4.** Hasil Uji Sondir (CPT) Titik S-3

Lapisan	Kedalaman (m)	L (m)	Deskripsi Tanah	q <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	FR (%)
1	0,0 – 8,2	8,2	Lempung, <i>very soft</i> .	9,20	3,3
2	8,2 – 10,4	2,2	Pasir kelanauan, <i>medium dense</i> .	49,50	0,6

Sumber : Olahan Pribadi

# Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng

**Tabel 5.** Uji Laboratorium Timbunan STA. 18+450

Material	Kadar Air Asli (%)	Kepadatan Ringan		Batas-Batas Atterberg			Analisa Saringan				
		MDD ( $\gamma_d$ )	OMC (w)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Lempung (%)	Lanau (%)	Pasir (%)	Gravel (%)	Dia Max (%)
		(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Timbunan (Tanah Merah)	54,58	1,092	46,2	56,44	46,77	9,67	8,39	84,61	7,00	0	2

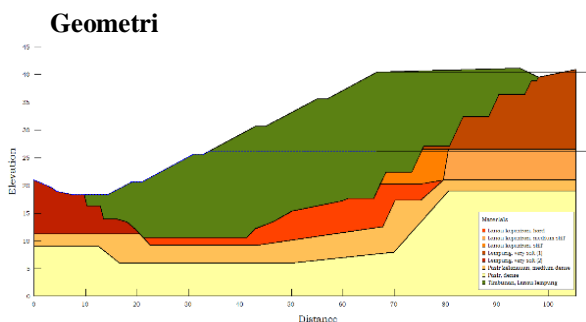
Sumber : PT. Waskita Karya (Persero) Tbk

Dari data – data tanah tersebut dicari parameter untuk analisis stabilitas lereng berupa berat isi tanah ( $\gamma$ ), kohesi ( $c$ ) dan sudut geser tanah ( $\phi$ ) [14]. Dilakukan korelasi empiris dari beberapa ahli untuk setiap parameter yang dibutuhkan apabila kurangnya data yang ada [15,16,17,18]. **Tabel 6** berikut adalah hasil korelasi data tanah pada penelitian.

**Tabel 6.** Parameter Desain Analisis

Lapisan	Deskripsi Tanah	$\gamma_m$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (derajat)	$c$ (kPa)
	Timbunan ( <i>clayey silt</i> )	17,50	18,50	31,00	8,00
1	Lempung, <i>very soft</i> (1)	15,00	17,00	18,00	10,00
2	Lempung, <i>very soft</i> (2)	16,00	18,50	22,00	12,00
3	Lanau kepasiran, <i>medium stiff</i>	17,00	19,00	30,00	20,00
4	Lanau kepasiran, <i>stiff</i>	18,00	20,00	32,00	25,00
5	Lanau kepasiran, <i>hard</i>	20,00	21,00	35,00	55,00
6	Pasir kelanauan, <i>medium dense</i>	19,00	20,00	38,00	5,00
7	Pasir, <i>dense</i>	20,00	22,00	42,00	1,00

Sumber : Olahan Pribadi

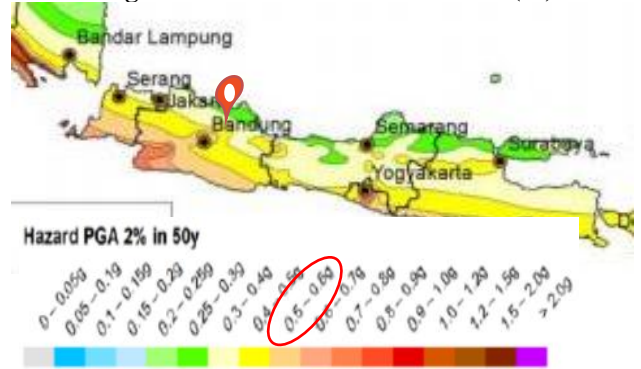


Sumber : Olahan Pribadi

**Gambar 7.** Geometri Lereng STA 18+800

Gambar 7 di atas menunjukkan geometri lereng STA 18+800 Proyek Tol Ciawi – Sukabumi dengan tinggi muka air tanah sebesar 14,627 m dari puncak trase badan jalan.

**Perhitungan Koefisien Seismik Horizontal ( $k_h$ )**



Sumber : Kementerian PUPR (2017)

**Gambar 8.** Wilayah Kabupaten Sukabumi

Berdasarkan Peta Hazard Gempa Indonesia 2017, potensi gempa pada lokasi penelitian yaitu Desa Purwasari, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat sebesar 0,5 –0,6 g, diambil yang terbesar 0.6g. Sehingga percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs  $F_{PGA}$  pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Koefisien Situs F<sub>PGA</sub>

Kelas situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA ≥ 0,5
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	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	2,2	0,9	0,9

Keterangan: Untuk nilai – nilai antara dapat dilakukan interpolasi linear

Sumber : SNI 8460:2017

Perolehan kelas situs SD (tanah Sedang) :  
Beban gempa tahun 2017,  $PGA = 0,6 = 1,0$

Perhitungan  $PGA_M$  :

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA = 1,0 \times 0,6 = 0,6 \text{ g}$$

Penentuan beban gempa ( $k_h$ ) :

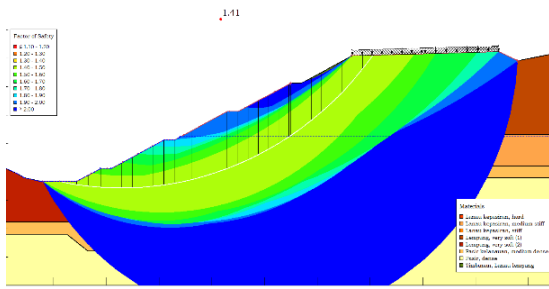
$$k_h = 0,5 \times PGA_M/g = 0,5 \times 0,6 \text{ g/g} = 0,30$$

Diperoleh beban gempa tahun 2017 untuk lokasi penelitian sebesar  $k_h = 0,30$ .

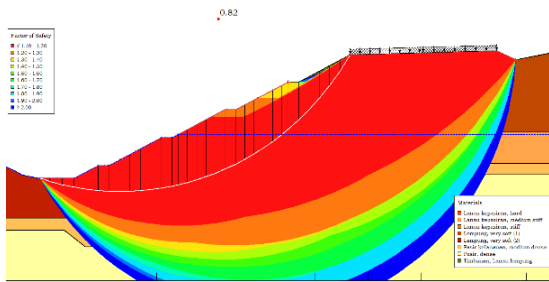
### Hasil Analisis Kondisi Lereng Asli

Didapatkan bahwa untuk lereng tinjauan kelongsoran yang akan terjadi adalah kelongsoran dasar. Dengan didapatkan nilai  $FK_{slope}$  minimum :

## Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng



**Gambar 9.** Hasil Analisis Kelongsoran Dasar pada Lereng Kondisi Asli tanpa Gempa ( $R=60,286$  m)

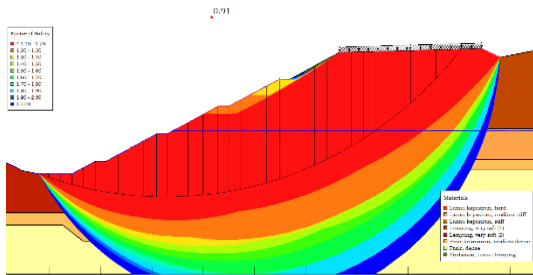


**Gambar 10.** Hasil Analisis Kelongsoran Dasar pada Lereng Kondisi Asli, dengan Gempa ( $R=50,753$  m)

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan kondisi lereng asli tanpa diperhitungkannya beban gempa merupakan lereng stabil dimana jarang mengalami kelongsoran. Namun setelah mendapat pengaruh gempa sesuai lokasi penelitian  $FK_{slope}$  lereng menurun. Maka untuk meningkatkan faktor keamanan lereng, dilakukan penambahan geotekstil teranyam rencana ke dalam lereng asli.

### Hasil Analisis Kondisi dengan Penambahan Geotekstil

Untuk memperoleh gaya tarik total yang maksimum ( $T_{s-mak}$ ), ditentukan dengan cara coba-coba pada beberapa bidang longsor kondisi asli. Setelah dicari iterasi,  $T_{s-mak}$  diperoleh pada bidang longsor yang menghasilkan  $FK_{slope} = 0,91$  dengan  $M_D = 692392,52$  kNm dan  $y = 75,15$  m.



**Gambar 11.** Analisis Stabilitas Lereng yang Akan Diperkuat

Diperoleh :

$$T_{s-mak} = (FK_R - FK) \frac{M_D}{y} = (1,1 - 0,91) \frac{692392,52}{75,15} = 1750,5 \text{ kN/m}$$

Untuk bidang longsor untuk nilai keamanan minimum  $FK = 0,82$  :

$$T_{s-mak} = (FK_R - FK) \frac{M_D}{y} = (1,1 - 0,82) \frac{203205,44}{50,75} = 1121,13 \text{ kN/m}$$

didapatkan  $1121,13 \text{ kN/m} < 1750,5 \text{ kN/m}$

Dari kedua perhitungan di atas membuktikan bahwa faktor keamanan minimum lereng (di bidang longsor kritis) tidak mengontrol  $T_{s-mak}$ .

Untuk menentukan distribusi tulangan, didapatkan dengan : Karena tinggi timbunan yang ditinjau  $22,47\text{m} > 6\text{m}$ , maka digunakan jarak tulangan bervariasi. Dimana dibuat 3 zona tulangan :

- $T_{bawah} : 1/2 T_{s-mak} = 875,24 \text{ kN/m}$
- $T_{tengah} : 1/3 T_{s-mak} = 583,50 \text{ kN/m}$
- $T_{puncak} : 1/6 T_{s-mak} = 291,75 \text{ kN/m}$

Menentukan jarak tulangan arah vertikal ( $S_v$ ) untuk setiap lapisan. Pada Tugas Akhir ini ditentukan 3 variasi  $S_v$  0,50; 1,00; dan 1,50 m. Dimana untuk perhitungan jumlah lapisan tulangan tiap zona sebagai berikut:

- Zona bawah ( $S_v = 0,50$ )  

$$T_z = \frac{875,24 \text{ kN}}{14 \text{ lapisan}} = 62,52 \text{ kN/m}$$
- Zona tengah ( $S_v = 1,00$ )  

$$T_z = \frac{583,50 \text{ kN}}{10 \text{ lapisan}} = 58,35 \text{ kN/m}$$
- Zona atas ( $S_v = 1,50$ )  

$$T_z = \frac{291,75 \text{ kN}}{3 \text{ lapisan}} = 97,25 \text{ kN/m}$$

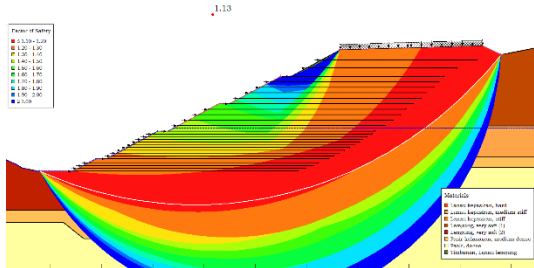
Dari kebutuhan kuat tarik tiap zona, digunakan Geosintetik Polyfelt WX 200/50 dengan kuat Tarik ultimate 200 kN. Maka besaran  $T_a$  yakni:

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_D \times FK} = \frac{200}{1,1 \times 1,55 \times 1,1 \times 1} = 106,64 \text{ kN/geotekstil}$$

Didapatkan lereng yang telah ditambah dengan geotekstil mengalami peningkatan nilai  $FK$  lereng menjadi 1,13 seperti pada Gambar 12 dan lereng dikatakan aman atau stabil. Serta kondisi lereng memiliki kemungkinan

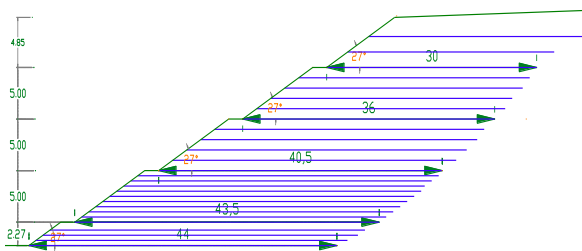
## Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng

kelongsoran eksternal, yaitu kelongsoran timbunan dengan bidang longsor yang melewati bagian belakang dan di bawah zona tanah bertulang. Hal itu menandakan bahwa kondisi timbunan sudah kuat dengan ditambahkan geotekstil rencana.



Sumber : Hasil SLOPE/W  
**Gambar 12.** Penanggulangan Tipe I

Setelah didapatkan bahwa lereng dengan geotekstil mengalami kelongsoran eksternal, maka dicari kemampuan dalam menahan aksi beban – beban luar tanpa mengalami keruntuhan. Stabilitas ekstern lereng bertulang meliputi :



Sumber : Olahan Pribadi  
**Gambar 13.** Cek Stabilitas Eksternal Penanggulangan Tipe I

1. Fator aman terhadap Penggeseran Terdapat 5 macam zona pada lereng dengan panjang penjangkaran yang berbeda.

$$P_{a2} = \frac{1}{2} \gamma_b H_2^2 K_a$$

$$= \frac{1}{2} (18,5 - 9,81) \cdot 5^2 \cdot \tan^2(45^\circ - 31/2)$$

$$= 34,77 \text{ kN/m}$$

$$W_2 = \left[ L_2 H_2 - \frac{H_2^2}{2 \tan \beta_2} \right] \gamma_r$$

$$= \left[ 43,5 \times 5 - \frac{5^2}{2 \tan 27^\circ} \right] (18,5 - 9,81)$$

$$= 1676,89 \text{ kN/m}$$

$$c_a = a_d \times c = 2/3 \times 8 = 5,33 \text{ kN/m}^2$$

$$FK_{geser} = \frac{c_a L_2 + (W + P_a \sin \phi) \tan \phi_{min}}{P_a \cos \phi}$$

$$= \frac{5,33 \times 43,5 + (1676,89 + 34,77 \times \sin 31^\circ) \tan 31^\circ}{34,77 \times \cos 31^\circ}$$

$$= 41,95 > 1,30 \text{ (OK)}$$

**Tabel 8.** Nilai Keamanan Geser pada Penanggulangan Tipe I

Zona	L (m)	P <sub>a</sub> (kN/m)	W (kN/m)	FK <sub>geser</sub> > 1,30
1	44	7,16	824,02	119,21
2	43,5	34,77	1676,89	41,95
3	40,5	70,02	3114,43	35,14
4	36	70,02	2720,68	30,80
5	30	65,94	2142,30	25,97

Sumber : Olahan Pribadi

2. Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung lokal

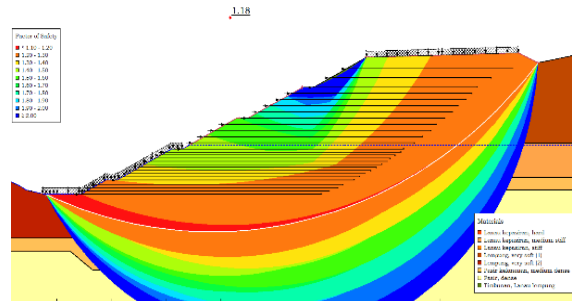
$$FK_{lateral \text{ squeezing}} = \frac{2 c_u}{\gamma D_s \tan \beta} + \frac{4,14 c_u}{H \gamma}$$

$$= \frac{(18,5 - 9,81) \times 12,8 \times \tan 27^\circ}{4,14 \times 55} + \frac{22,12 \times (18,5 - 9,81)}{2 \times 55}$$

$$= 3,13 \geq 1,30$$

Dari hasil perhitungan stabilitas eksternal pada lereng di atas menunjukkan bahwa sudah stabil.

Untuk menambah kestabilan lereng digunakan *counterweight* berupa bronjong batu kali dengan berat satuan sebesar 25 kN/m<sup>3</sup>. Pada penanggulangan Tipe II didapatkan nilai keamanan sebesar 1,18.



Sumber : Hasil SLOPE/W  
**Gambar 14.** Penanggulangan Tipe II

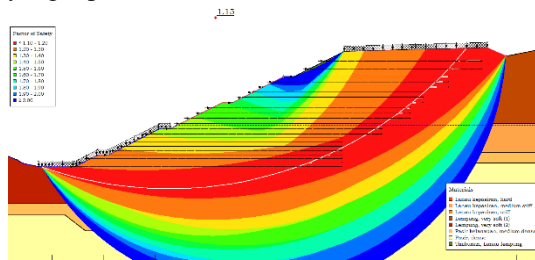
Bronjong yang dibangun pada lahan miring bertujuan untuk menahan tanah pada bagian kaki lereng, sehingga tidak menyebabkan keruntuhan. Bronjong juga dapat mencegah erosi sehingga dapat mengurangi gerusan tanah pada lereng. Pembebanan pada kaki lereng akan menyebabkan tertahannya gaya dorong dari tanah yang akan mengalami keruntuhan dimana faktor keamanan akan meningkat sesuai dengan penahan pada bidang longsor.

Setelah mendapatkan kondisi lereng yang stabil dengan penanggulangan Tipe II, dilakukan perenggangan S<sub>v</sub> zona bawah. Hal untuk



## Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng

mendapatkan efektifitas banyaknya geotekstil yang digunakan serta untuk memudahkan dalam proses pemasangan di lapangan. Dapat dilihat pada Gambar 15, bahwa hasil nilai keamanan lereng yang di dapat masih di atas 1,10 dan desain dapat digunakan. Dengan keruntuhan komposit, dimana bidang keruntuhan melewati bagian belakang dan juga memotong massa tanah yang diperkuat.



Sumber : Hasil SLOPE/W  
Gambar 15. Penanggulangan Tipe III

### Hasil Analisis kelongsoran

Setelah melakukan analisis pada beberapa kondisi lereng, baik secara manual dan dengan bantuan program SLOPE/W, dapat disimpulkan sebagai berikut :

**Tabel 9.** Perbandingan Hasil Analisis Manual dan SLOPE/W pada Kondisi Asli

	Analisis Kelongsoran		Keterangan
	Manual	SLOPE/W	
Kondisi Asli	1,48	1,41	Syarat Stabil jika $FK \geq 1,25$ Labil jika $FK < 1,07$
Kondisi Asli dengan gempa	0,79	0,82	Syarat Stabil jika $FK \geq 1,10$

Sumber : Olahan Pribadi

**Tabel 10.** Hasil Analisis Kondisi Lereng Asli serta Penanggulangan

Kondisi Asli	Kondisi Penanggulangan Tipe I	Kondisi Penanggulangan Tipe II	Kondisi Penanggulangan Tipe III
0,82	1,13	1,18	1,15

Sumber : Olahan Pribadi

Pembahasan pada penelitian ini menitikberatkan pada FK lereng antara lereng kondisi asli dengan lereng setelah diberi penanggulangan. Dari kondisi geometri lereng eksisting ke penanggulangan Tipe I FK lereng meningkat sebesar 37,81%. Untuk mendapatkan kondisi lereng yang lebih aman lagi apabila nantinya terjadi perubahan MAT ataupun beban lalu lintas di atas lereng, maka di tambah *counterweight* (Tipe II) dan FK lereng naik sebesar 4,43%. Lalu dicoba dengan

merenggangkan  $S_v$  zona bawah menjadikan FK lereng Tipe III menjadi 1,15. Dapat dinyatakan bahwa geotekstil untuk lereng landai kurang efektif untuk meningkatkan stabilitas lereng dan memerlukan panjang penjangkaran yang sangat panjang

### Kesimpulan

Setelah menerjemahkan hasil penyelidikan tanah pada lereng didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng kondisi asli tanpa pengaruh gempa  $> 1,25$  (Bowles,1993) yakni sebesar 1,41 dari hasil SLOPE/W.

Jika diperhitungkannya faktor gempa ( $k_h = 0,3$ ) didapatkan penurunan FK lereng sebesar 44,23% dan disimpulkan bahwa lereng labil.

Agar nilai FK meningkat dilakukan alternatif penanggulangan, yakni penambahan geotekstil (Tipe I). Untuk geotekstil digunakan Polyfelt WX 200/50,  $S_v$  dibagi menjadi 3 varian yakni 0,50m; 1,00m dan 1,50m. Didapatkan FK lereng sebesar 1,13 dengan hasil kelongsoran ekstern. Ditambah *counterweight* brongjong batu kali (Tipe II) untuk meningkatkan stabilitas dan FK lereng menjadi 1,18. Lalu dilakukan pengefektifan geotekstil dengan  $S_v$  zona bawah diregangkan menjadi 0,8 m (Tipe III) dan FK lereng menjadi 1,15.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dapat diketahui bahwa nilai FK lereng yang diperoleh dari perhitungan manual hampir sama dengan program SLOPE/W, dengan rata – rata selisih nilai FK lereng sebesar 4,73% untuk kondisi lereng tanpa gempa dan 3,80% jika diperhitungkan gempa.

### Saran

Berdasarkan dari kesimpulan kajian penelitian ini, maka dapat diberikan saran kepada kontraktor, pemilik proyek, dan konsultan. Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Pada saat penyelidikan tanah harus lengkap, pengambilan sampel sebaiknya dilakukan setiap lapisan agar hasil analisis yang didapatkan lebih akurat.
2. Data yang digunakan dalam perhitungan stabilitas lereng sebaiknya menggunakan data hasil uji laboratorium.
3. Pada permukaan samping lereng dipasang vegetasi untuk mencegah erosi.
4. Pada penelitian tidak ditinjau analisis akan rembesan, disarankan menggunakan sub program SEEP/W untuk memperhitungkan rembesan dari tiap lapisan tanah.

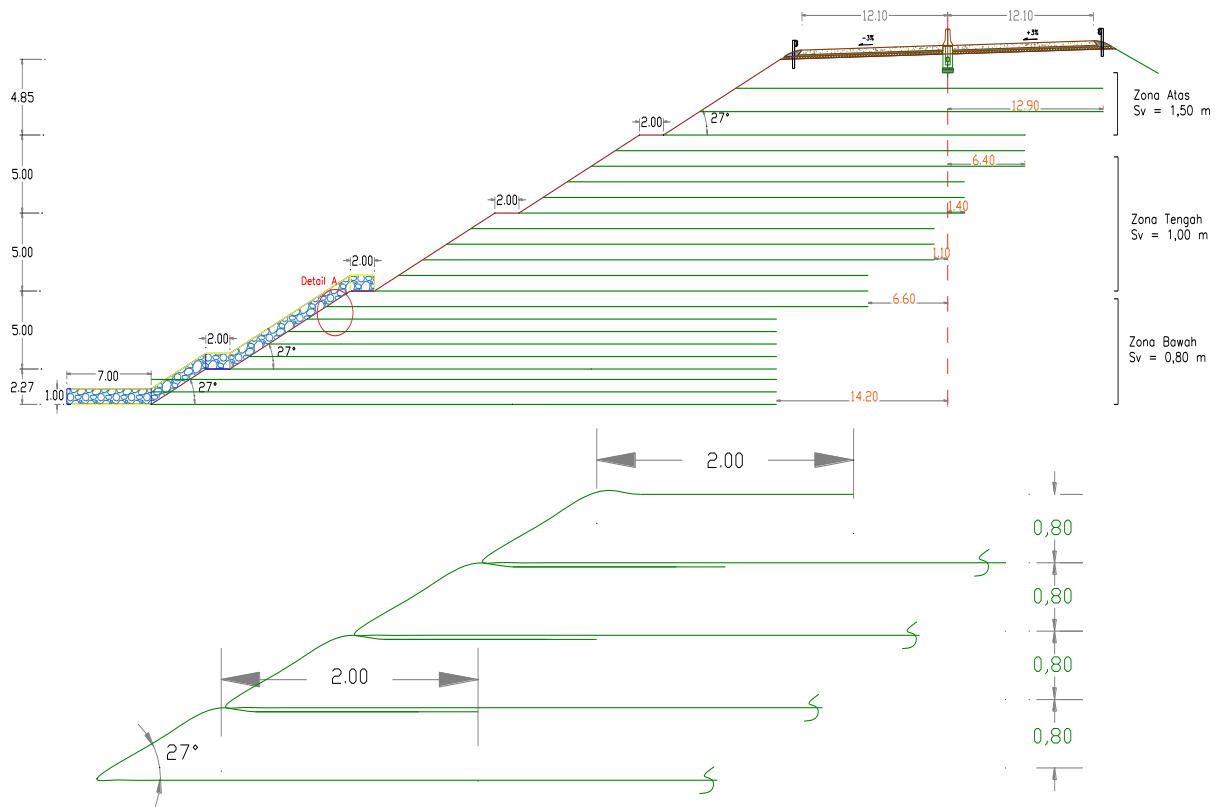
## Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng

5. Pemodelan SLOPE/W dengan menggunakan metode lain, seperti metode Ordinary, Janbu, Morgenstern Price, Spencer dan lain – lain.
6. Membandingkan dengan jenis perkuatan lain, misalnya dengan dinding penahan tanah, *pile*, *soil nailing*, *strip reinforcement* dan lainnya.
7. Bagi pihak – pihak yang ingin mengembangkan studi ini lebih lanjut, hendaknya memperhatikan/merancang pemasangan saluran drainase sebagai penanggulangan hidrologi (pengendalian air), untuk menurunkan muka air tanah atau menurunkan kadar air tanah pada lereng.

### Daftar Rujukan

- An-Nur, Risna Blessque. (2018). *Analisis Kelongsoran pada Jembatan Umum Cimande Proyek Jalan Tol Ciawi – Sukabumi Seksi 1 Paket 2.1*. Politeknik Negeri Jakarta. Depok.
- Bachtiar, R. E., dkk. (2018). *Pengaruh Perubahan Peta Hazard Gempa Indonesia terhadap Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil*. In Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan (Vol.3, No.2, November 2018).
- Bowles, J. E. (1993). *Sifat – Sifat Fisik dan Geoteknis Tanah*. Erlangga. Jakarta.
- Chasanah, Uswatun. (2012). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Das, B. M. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid II*. Diterjemahkan oleh: Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Erlangga. Surabaya.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Diterjemahkan oleh: Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Erlangga. Surabaya.
- Dayanti, Murni Gusti. (2013). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Limit Equilibrium Menggunakan GeoStudio 2007 Studi Kasus Lereng Penyangga Rel Kereta Km 45+400 Cilebut*. Universitas Indonesia. Depok.
- Gati, B. M., Purwanto, E. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng Timbunan Badan Jalan dan Prediksi Timbunan yang terjadi menggunakan Program Plaxis*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2009). *Pemeliharaan Jalan Raya (Edisi Pertama)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya (Edisi Kedua)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah Jilid I (Edisi Keenam)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah Jilid II (Edisi Keenam)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- International. (2018). GEO-SLOPE 2018 Version. Canada. [www.geoslope.com](http://www.geoslope.com) (diakses 13 Februari 2020)
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2019). Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Look, G. Burt. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis Group. London.
- Pd T-09-2005-B. Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Pedoman No. 003 / BM / 2009 : Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Pradhana, Radhitya. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta)*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sagita, E. F., dkk (2017). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Bronjong Menggunakan Software Geoslope di Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri*. Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- SNI 8460-2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

## Desain Ulang Badan Jalan dengan Geotekstil sebagai Alternatif Peningkatan Stabilitas Lereng



Sumber : Olahan Pribadi

**Gambar 16.** Geometri Pemasangan Geotekstil pada Lereng STA. 18+800