

## Analisis Stabilitas Lereng dengan Menggunakan Perkuatan Lereng dan Dinding Penahan Tanah

Muthi'ah<sup>1</sup>, Pintor Tua Simatupang<sup>2</sup>, Fery Riswanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil - Fakultas Teknik - Universitas Mercu Buana, Jakarta  
email: muthiahm0@gmail.com

<sup>2</sup> Teknik Sipil - Fakultas Teknik - Universitas Mercu Buana, Jakarta  
email: pintorsimatupang@gmail.com

<sup>3</sup>PT. Acset Indonusa Tbk., Jakarta  
email: fery.acset@gmail.com

Received: 15-01-2025 Revised: 15-01-2025 Accepted: 16-01-2025

### Abstract

*A provincial road in the West Sumbawa area, West Nusa Tenggara is at the top of a slope needs to be secured. At the toe of the slope was planned to move a tailing pipe to be narrower towards the slope. This activity would cause slope instability because the slope becomes steeper. Meanwhile, even in existing conditions, the slope had experienced landslides at the top of the slope. In order for this activity to be carried out, the existing slope must be modified so that it remains stable. To achieve optimal design, stability calculations were carried out for certain slope conditions. Stability calculations were carried out using the finite element method (FEM) and the limit equilibrium method. Finite element method used the Plaxis 2D Advanced 2024 program. Calculation of slope stability using Plaxis software was intended to obtain actual stability for overall slope. Stability conditions that meet technical requirements were obtained if the slope was reinforced by ground anchors, geotextiles and retaining walls at the toe of the slope. The safety factor with this final condition was 1,521, which was greater than the requirement in SNI, namely 1,5. The equilibrium method was used to check slope stability when only using retaining walls, which gave a safety factor value of 1,387 which was almost the same as the results of the FEM method. This showed that the stability calculations that had been carried out for these slope conditions had been successful and provided confidence that the proposed design was optimal.*

**Keywords:** Slope; Slope Stability; Finite Element Method; Plaxis 2D; Limit Equilibrium Method; Retaining Walls

### Abstrak

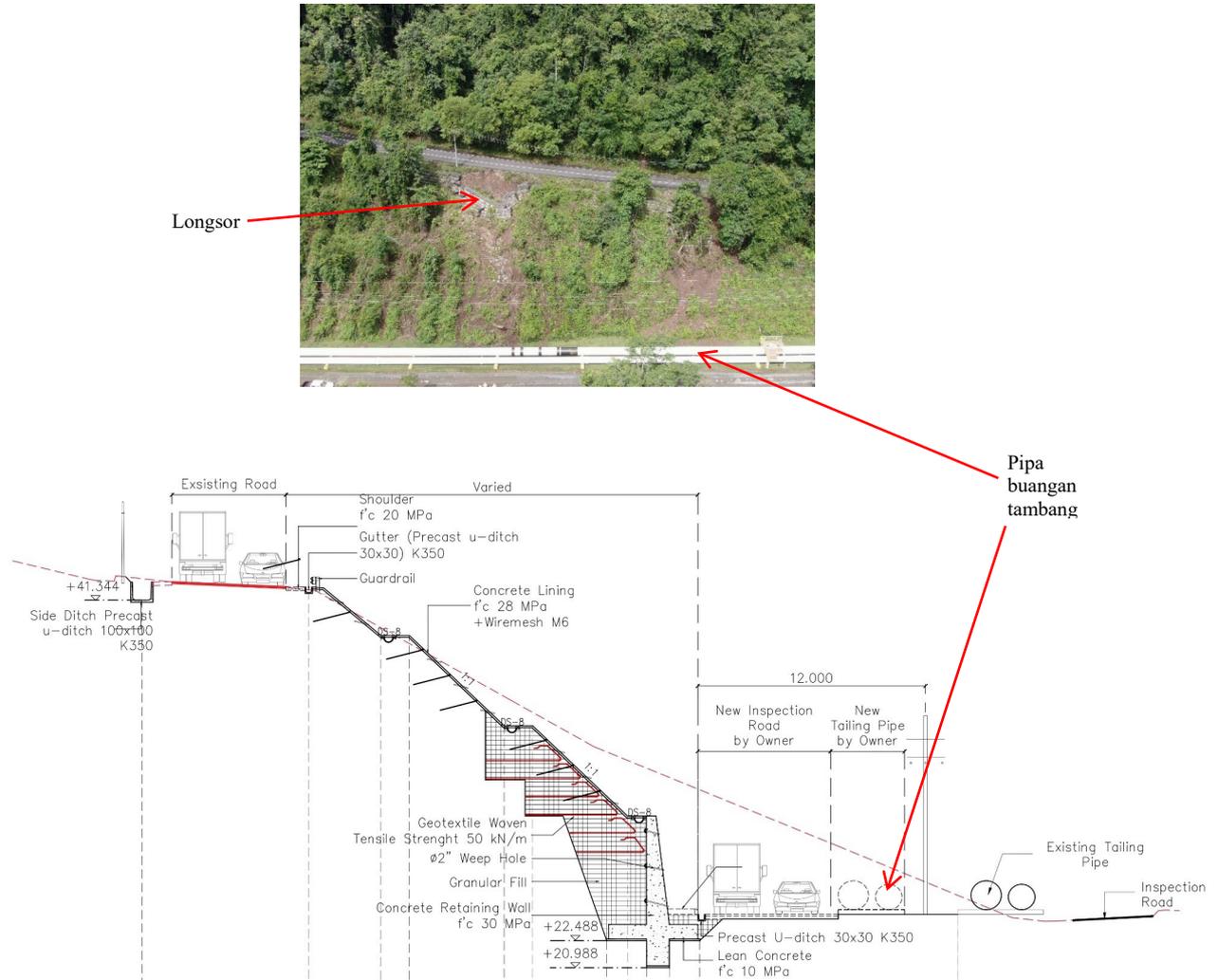
Suatu jalan provinsi di daerah Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat yang berada di puncak suatu lereng perlu diamankan. Di kaki lereng direncanakan pemindahan suatu pipa buangan tambang menjadi lebih sempit ke arah lereng. Kegiatan ini akan menyebabkan timbulnya ketidakstabilan lereng karena lereng menjadi lebih curam. Sementara itu, dalam kondisi eksisting saja lereng sudah mengalami kelongsoran di puncak lereng. Agar kegiatan ini dapat dilakukan, maka lereng eksisting harus dimodifikasi agar tetap stabil. Untuk mencapai desain yang optimal, dilakukan perhitungan stabilitas terhadap suatu kondisi lereng tertentu. Perhitungan stabilitas dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dan metode kesetimbangan batas. Metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 2D Advanced 2024. Perhitungan stabilitas lereng dengan menggunakan *software* Plaxis dimaksudkan untuk memperoleh stabilitas yang sesungguhnya. Kondisi stabilitas yang memenuhi persyaratan teknis diperoleh apabila lereng diperkuat dengan *ground anchor*, geotekstil, dan dinding penahan tanah di kaki lereng. Faktor keamanan dengan kondisi final ini adalah 1,521 yaitu lebih besar dari persyaratan dalam SNI yaitu 1,5. Metode kesetimbangan batas digunakan untuk mengecek stabilitas lereng apabila hanya menggunakan dinding penahan tanah, yang memberikan nilai faktor keamanan 1,387 yang hampir sama dengan hasil dari metode elemen hingga. Ini menunjukkan bahwa perhitungan stabilitas yang telah dilakukan untuk kondisi lereng ini telah berhasil dan memberi keyakinan bahwa desain yang diajukan adalah optimal.

**Kata kunci:** Lereng; Stabilitas Lereng; Metode Elemen Hingga; Plaxis 2D; Metode Kesetimbangan Batas; Dinding Penahan Tanah

**PENDAHULUAN**

Lereng merupakan permukaan tanah yang memiliki kemiringan relatif terhadap horizontal. Dalam bentuk persentase, lereng merupakan perbandingan antara elevasi yang terjadi di antara dua titik yang berbeda terhadap jaraknya. Sebagai contoh, jika

elevasi antara dua titik yang berjarak 100 meter adalah 1 meter, maka area tersebut memiliki kemiringan lereng sebesar 1 persen (Cares University of Missouri, 2023). Konsep ini penting untuk memahami seberapa curam suatu lereng, yang mempengaruhi potensi terjadinya keruntuhan atau kelongsoran tanah pada lereng tersebut.



**Gambar 1.** Kondisi eksisting lereng dan rencana pemindahan pipa sisa tambang

Sebuah jalan provinsi yang berada diatas suatu lereng, seperti ditunjukkan pada Gambar 1, perlu diamankan agar lereng tidak mengalami keruntuhan apabila di kaki lereng akan dipotong untuk mendapatkan ruang dalam rangka pembuatan jalan dan memindahkan pipa buangan tambang (*tailing pipe*). Meskipun tanpa pemotongan lereng, sebenarnya lereng tersebut sudah dalam kondisi tidak stabil karena adanya kelongsoran tanah yang terjadi. Meskipun kelongsoran tersebut belum menyebabkan kerusakan pada jalan, kondisi ini menunjukkan bahwa lereng tersebut sudah berada dalam keadaan rawan longsor.

Dari gambar terlihat jelas, jika pemotongan lereng dilakukan pada bagian kaki lereng, akan membuat lereng tersebut akan menjadi lebih curam dibandingkan dengan kondisi eksistingnya. Oleh karena itu, sangat penting untuk membuktikan bahwa perhitungan stabilitas perkuatan yang digunakan cocok agar stabilitas lereng terjamin aman.

Dalam rangka mengakomodasi rencana desain seperti diilustrasikan dalam Gambar 1, maka perlu dilakukan perhitungan stabilitas lereng untuk menjamin bahwa desain yang diajukan dapat memenuhi persyaratan teknis stabilitas. Dimana menurut SNI 8460:2017 pasal 7.5.5, nilai faktor keamanan stabilitas lereng untuk kondisi permanen

disarankan sebesar 1,5 (Badan Standarisasi Nasional, 2017).

Stabilitas lereng sangat bergantung pada beberapa faktor, termasuk kemampuan massa tanah untuk menahan gaya gravitasi, beban tambahan yang bekerja pada lereng (seperti beban kendaraan yang melintas di jalan), serta potensi beban dinamis yang dapat terjadi akibat peristiwa alam seperti gempa bumi. Oleh karena itu adalah lumrah, dalam analisis stabilitas lereng diambil beberapa asumsi sebagai berikut. (Sebagai contoh, Hardiyatmo, 2002).

- a. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai permasalahan 2 dimensi.
- b. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda yang masif.
- c. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak bergantung pada orientasi permukaan longsor.
- d. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

Lereng yang tidak stabil berpotensi mengalami kelongsoran yang dapat membahayakan infrastruktur yang terdapat di lereng tersebut, sehingga diperlukan penanganan untuk lereng tersebut. Beberapa penanganan stabilitas lereng yang biasa digunakan, antara lain:

- a. Perbaikan geometri lereng seperti pemotongan dan pengisian tanah (*reprofiling*) atau dengan pembuatan terasering untuk mengurangi kemiringan lereng secara bertahap (Tri et al., 2016).
- b. Penggunaan vegetasi permukaan membantu memperkuat struktur tanah dan mengurangi risiko kelongsoran. Akar tanaman membantu mengikat tanah dan meningkatkan kohesi tanah, yang dapat meningkatkan daya tahan lereng terhadap gaya geser (Hamdhan et al., 2020).
- c. Perkuatan tanah dengan *Soil Nailing* (Prasetyo et al., 2017), *Shotcrete* (Putra et al., 2018), atau dengan *Ground Anchor* (Hara et al., 2023).
- d. Pemberian tambahan kekuatan pada lereng dengan tambahan struktur seperti menambahkan *sheet pile* (Wahyuningdiah et al., 2023), geotekstil (Prasetyo et al., 2017), maupun dinding penahan tanah

(*Retaining Wall*) (Isdianto & Dian Hastari Agustina, 2023).

Penanganan stabilitas lereng pada Gambar 1 menggunakan dinding penahan tanah di kaki lereng sebagai penahan. Dinding penahan tanah ini berfungsi untuk mengurangi risiko kelongsoran dan memberikan dukungan tambahan untuk menjaga kestabilan lereng. Selanjutnya, perhitungan stabilitas lereng dengan menggunakan dinding penahan tanah tersebut dilakukan dengan berbagai metode analisis baik dengan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method* disingkat dengan FEM) maupun dengan metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method* disingkat LEM) untuk memastikan bahwa desain yang diajukan memenuhi persyaratan teknis dan menjamin keselamatan pengguna jalan.

Selain itu, berdasarkan SNI 8460:2017 pasal 10.2.5.3, dinding penahan tanah yang digunakan diperiksa faktor keamanannya terhadap guling, geser lateral, dan daya dukung untuk memastikan bahwa dinding penahan tanah aman digunakan.

## METODE PENELITIAN

Perhitungan stabilitas dilakukan dengan menggunakan FEM dari Plaxis 2D Advanced 2024 dan LEM berdasarkan cara Fellenius. LEM digunakan sebagai pembanding untuk memastikan bahwa perhitungan dengan menggunakan Plaxis sudah benar atau paling tidak telah sinkron. Sedangkan untuk stabilitas dinding penahan tanah dianalisis terhadap stabilitas geser, guling dan daya dukung.

Metode FEM sendiri adalah metode analisis suatu lereng batuan/tanah yang dibagi ke dalam sejumlah zona blok-blok kecil. Elemen-elemen pada suatu zona yang sudah diperkecil berkaitan dengan sejumlah titik simpul, untuk analisisnya dilakukan dengan menghitung perpindahan pada setiap titik simpul kemudian menggunakan fungsi interpolasi untuk diasumsikan dengan menggunakan software pemodelan lereng (Loilatu & Iswandaru, 2022).

Metode FEM pada Plaxis 2D Advanced 2024 menggunakan pendekatan numerik dengan menganalisis kondisi tegangan-regangan tanah dan menilai Faktor Keamanan (FS). Plaxis membagi domain lereng menjadi elemen-elemen kecil yang dinamakan mesh, lalu menghitung distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan di seluruh domain (Bentley, 2023).

Sedangkan metode LEM adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metode analisis ini pertama-tama mengasumsikan bidang kelongsoran yang dapat terjadi. Terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu: bidang kelongsoran berbentuk *circular* dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk *non-circular* (bisa juga



REPORT OF BOREHOLE: BH-T-02

Coordinates: 478096.000 m E 9004518.000 m N  
 Surface RL: 43.5 m Datum:  
 Drilling Method: Full Coring  
 Inclination: -90°

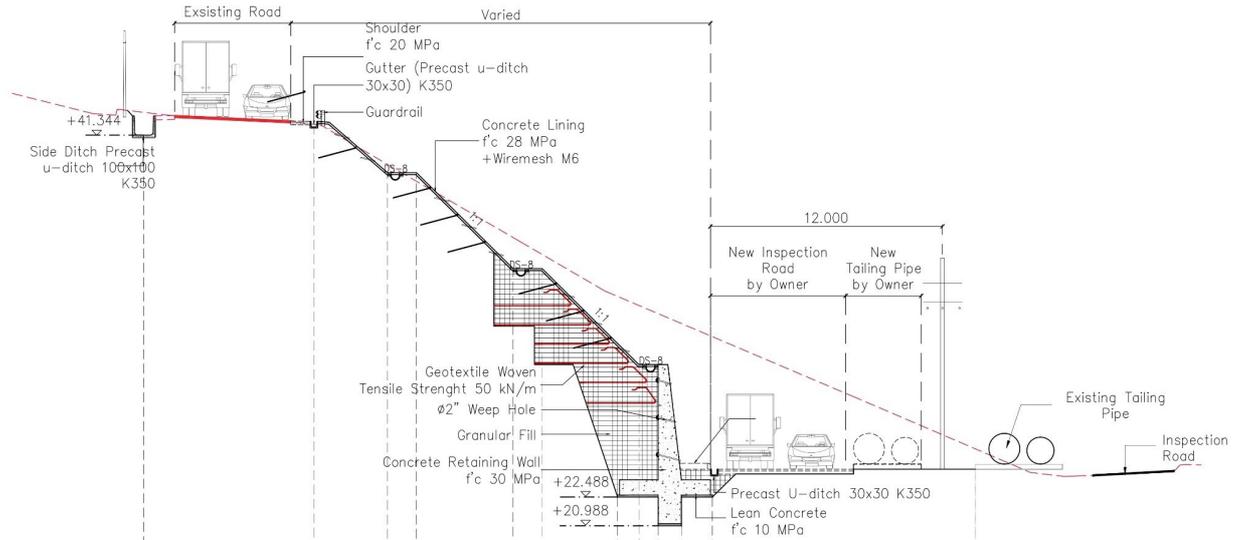
Start Date : 18 Sep 2023 Sheet: 1 of 3  
 End Date : 21 Sep 2023  
 Logged By: MA  
 Checked By: MT

Drilling				Field Material Description				Lab Testing				Defect Information								
WATER	DEPTH (metres)	RL (metres)	DEPTH RL (metres)	TICK (%)	ROD (%)	RECOVERED/SAMPLES	SAMPLE OR FIELD TEST	GRAPHIC LOG	USC Symbol	SOIL / ROCK MATERIAL DESCRIPTION	MOISTURE (%)	CONSISTENCY	SPT (N Value)	Wp (%)	Wn (%)	Wl (%)	WEATHERING	INFERRED STRENGTH (MPa)	DEFECT DESCRIPTION & Additional Observations	FRACTURE FREQUENCY (Defects per unit metre length)
	0.0	43.5	43.500						CL	ALUVIUM size up to 4.95m; Sandy Lean CLAY with gravel, low plasticity, dark brown, fine to coarse grained sand, with fine grained subangular to angular crumble gravel.										
	0.5	43.0																		
	1.0	42.5	42.550	0.95					SC	Clayey SAND with gravel, fine to coarse grained, weakly cemented, brown to dark brown, low plasticity fines, with fine, subangular to angular, crumble gravel										
	1.5	42.0	42.000	1.50			SPT, 1.50-1.95 m (4, 14, 15) N=29 Rec=0.23 m		SM	Silty SAND with gravel, fine to coarse grained, weakly cemented sand, brown and red brown staining, low plasticity fines, with fine to coarse grained gravel, subangular to angular, crumble gravel grades brown			⊗							
	2.0	41.5	41.550	1.95																
	3.0	40.5	40.500	3.00			SPT, 3.00-3.45 m (12, 24, 36) N=60 Rec=0.23 m			with fine to coarse grained gravel, subangular to angular, crumble to hard gravel				⊗						
	3.5	40.0	40.050	3.45						grades dark brown										
	4.0	39.5																		
	4.5	39.0					SPT, 4.50-4.95 m (19, 40, 45) N=85 Rec=0.21 m													
	5.0	38.5	38.550	4.95					GM	Extremely Weathered size up to 10.55m; Silty GRAVEL with sand, fine to coarse grained, subangular to angular, crumble to hard gravel, brown to dark brown, low plasticity fines, with fine to coarse graiend sand.										
	5.5	38.0																		
	6.0	37.5					SPT, 6.00-6.12 m (45/120, HB) N=100 Rec=0.12 m													
	6.5	37.0																		
	7.0	36.5	36.800	6.70						Become COBBLES, orange brown, low to medium strength, with size up to 20-150 mm thickness										
	7.5	36.0	36.200	7.30					GP	Poorly graded GRAVEL with silt and sand, fine to coarse grained, subangular to angular, crumble to hard gravel, brown to dark brown, low plasticity fines, with fine to coarse grained sand										
	8.0	35.5	35.590	7.91			SPT, 7.50-7.91 m (25, 27, 30/110) N=100 Rec=0.21 m			grades brown to orange brown										
	8.5	35.0																		
	9.0	34.5					SPT, 9.00-9.27 m (19, 21/120) N=100 Rec=0.21 m													
	9.5	34.0	34.230	9.27						Core loss										
	10.0	33.5																		

This report must be read in conjunction with accompanying notes and abbreviations. It has been prepared for geotechnical purposes only, without attempt to assess possible contamination. Any references to potential contamination are for information only and do not necessarily indicate the presence or absence of soil or groundwater contamination.

GAP gINT FN, RL

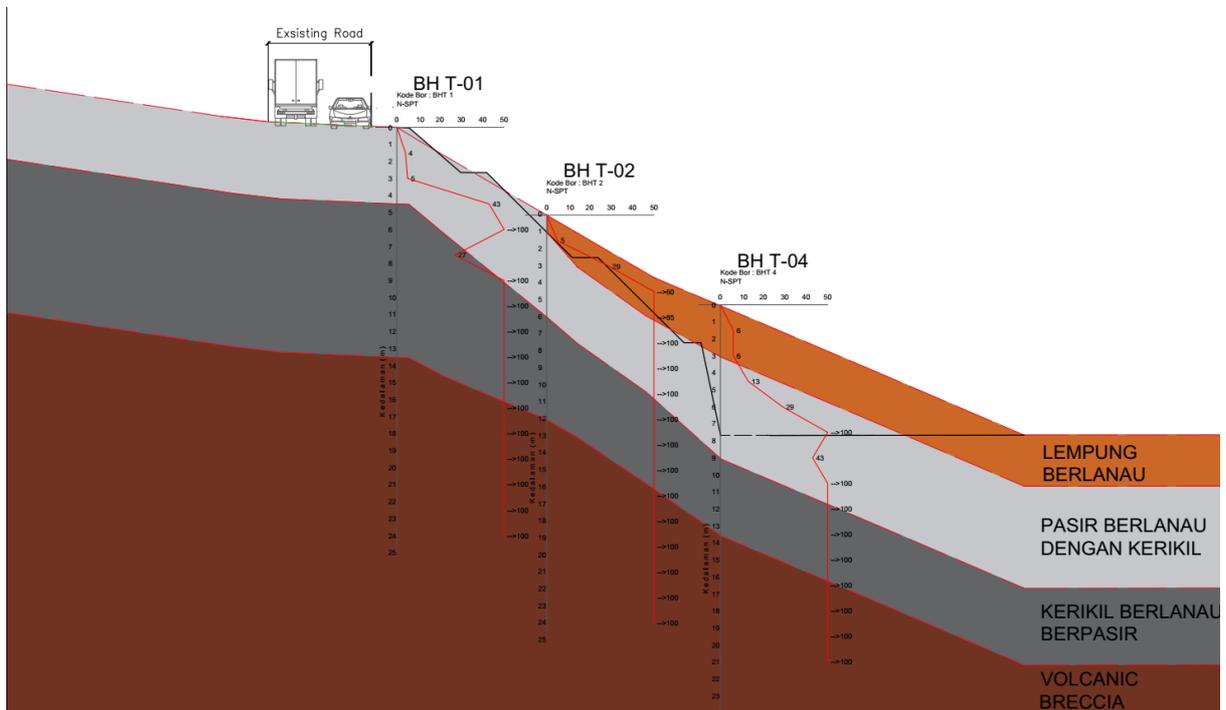
Gambar 3. Data N-SPT



**Gambar 4.** Gambar kerja potongan lereng

Berdasarkan hasil dari penyelidikan tanah Standart Penetration Test (SPT) pada 3 titik Bor-log (BH-T 01, BH-T 02, dan BH-T 04). Metode ini dilakukan dengan kedalaman 25 m untuk BH-T 01 dan BH-T 02, serta dengan kedalaman 21,2 m untuk BH-T 04. Nilai N dicatat pada saat penetrasi alat telah mencapai

30 cm terakhir, sementara untuk penetrasi 15 cm pertama tidak dilakukan pencatatan kecuali untuk N-SPT > 50. Untuk pengukuran dilakukan dalam lubang bor dengan interval setiap 1,5 meter. Profil pelapisan tanah diperkirakan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Stratigrafi lapisan tanah

Parameter tanah yang digunakan pada studi ini menggunakan model parameter Hardening Soil Undrained A menggunakan korelasi parameter terhadap nilai N-SPT dan laporan laboratorium. Sedangkan untuk lapisan batuan Volcanic Breccia

menggunakan model parameter Hoek-Brown. Parameter tanah secara rinci untuk setiap lapisan ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Dalam penentuan rumus empiris modulus efektif batuan diketahui dari Modulus Rasio (MR) dari jenis

batuan tersebut dan Kekuatan batuan utuh ( $\sigma_{ci}$ ) yang didapatkan dari uji UCS.

$$E_i = MR \cdot \sigma_{ci}$$

Sehingga untuk mengetahui modulus efektif dari batuan bisa didapatkan dari

$$E_{rm} = E_i \left( 0,02 + \frac{1-D/2}{1+e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

dimana:

$E_{rm}$  : Modulus efektif dari batuan

$E_i$  : Modulus elastisitas batuan utuh atau modulus intact

$D$  : Faktor tingkat gangguan akibat kerusakan ledakan

$GSI$  : Indeks Kekuatan Geologis / Geological Strength Index

Maka didapatkan nilai modulus efektif batuan menjadi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_{rm} &= E_i \left( 0,02 + \frac{1-\frac{D}{2}}{1+e^{\left(\frac{60+15D-GSI}{11}\right)}} \right) \\ &= 70655000 \left( 0,02 + \frac{1-\frac{0,7}{2}}{1+e^{\left(\frac{60+15(0,7)-30}{11}\right)}} \right) \\ &= 2540982,91 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

**Tabel 1.** Parameter lapisan tanah

No	Kedalaman (m)	SPT	Jenis Tanah	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$E_{eff}$ (kN/m <sup>2</sup> )	v	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi$ (o)	k (m/hari)
1	0-3	6	Lempung Berlanau	23,14	28,05	6200	0,3	23,00	26,00	0,000864
2	3-9	29	Pasir Berlanau dengan Kerikil	21,00	23,00	30000	0,30	5,00	34,75	0,0864
3	9-13,5	100	Kerikil Berlanau dan Bepasir	18,00	21	200000	0,35	5,00	42,50	8,64

**Tabel 2.** Parameter lapisan volcanic bBreccia

No	Kedalaman (m)	SPT	Jenis Tanah	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	v (kN/m <sup>2</sup> )
1	13,5-21	100	Volcanic Breccia	17,5	21	0,20

**Tabel 3.** Parameter Lapisan Volcanic Breccia (Lanjutan)

k	$\sigma_{ci}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$m_i$ (m/hari)	GSI	D	MR	$E_i$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_{rm}$ (kN/m <sup>2</sup> )
846	141,31	19	30	0,7	500	70655000	2540982,9

Paramater struktur dinding penahan tanah, geotekstil, dan *ground anchor* yang digunakan dalam analisa numerik Plaxis 2D

Advanced dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

**Tabel 4.** Parameter dinding penahan tanah

No	Parameter	Simbol	DPT	Satuan	Keterangan	Parameter
1	Material Model	-	Linear Elastic	-		Material Model
2	Material Type	-	Non-Porous	-		Material Type
3	Dry weight	$\gamma_{unsat}$	24	kN/m <sup>3</sup>		Dry weight
4	Young Modulus	E	25742960,2	kN/m <sup>3</sup>	$f_c' = 30$ Mpa	Young Modulus
5	Poisson Ratio	$\nu'$ (nu)	0,2	-		Poisson Ratio

**Tabel 5.** Parameter Ground Anchor

No	Parameter	Simbol	DPT	Satuan	Keterangan	Parameter
1	Young Modulus	E	200000000	kN/m <sup>3</sup>	baja	Young Modulus
2	Diameter	d	13	mm	-	Diameter
3	EA		132,7322896	m <sup>2</sup>	-	EA

**Tabel 6.** Parameter Geotekstil

No	Parameter	Simbol	DPT	Satuan	Keterangan	Parameter
1	Tensile Strength		50	kN/m	-	Tensile Strength
2	Elongasi	e	20	%	-	Elongasi
3	EA		250	kN/m	-	EA

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

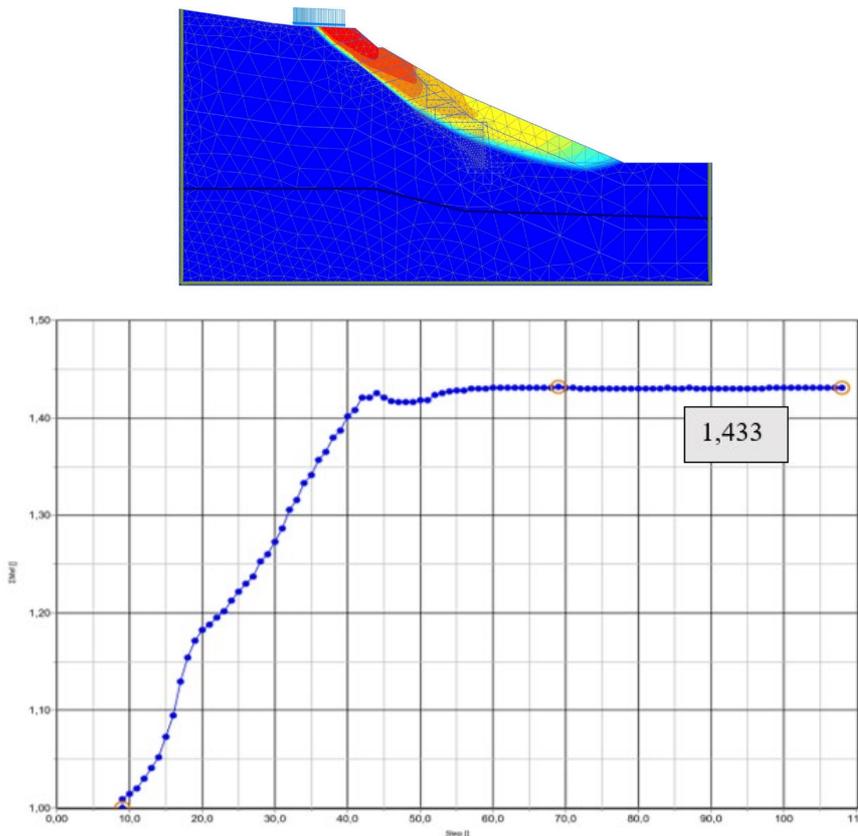
Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan FEM melalui *software* Plaxis 2D Advanced 2024 ditinjau untuk kondisi berikut:

- a. Kondisi eksisting
- b. Kondisi galian
- c. Kondisi dinding penahan tanah
- d. Kondisi kekuatan *geotextile*

e. Kondisi perkuatan *ground anchor*

1. Kondisi Eksisting dengan FEM

Kondisi eksisting adalah kondisi sebelum kaki lereng digali untuk menempatkan jalan akses tambang baru dan pipa sisa tambang dipindah, seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.



**Gambar 6.** Bidang runtuh dan faktor aman kondisi eksisting

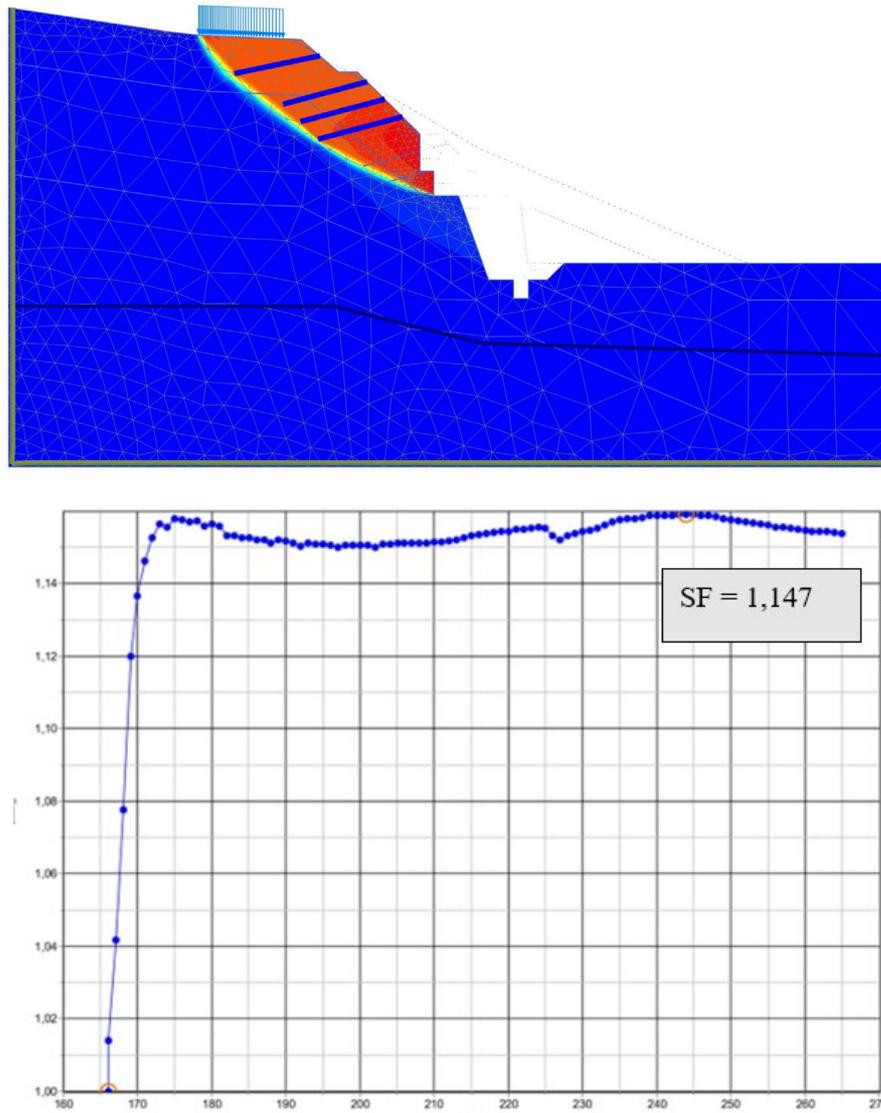
Pada bagian datar kaki lereng terdapat pipa sisa tambang (tidak diperlihatkan) dan kaki lereng masih landai. Di puncak lereng diberikan beban kendaraan sebesar 10 kN/m<sup>2</sup>.

Hasil perhitungan Plaxis menunjukkan bidang longsor sebagai batas antara adanya perpindahan (*displacement*) dengan tidak adanya perpindahan atau kecil yang ditunjukkan oleh warna biru dan

kuning atau oranye. Perpindahan terbesar ditunjukkan pada bagian atas lereng yang berarti dalam kondisi sedikit kritis, walaupun faktor aman (SF) menunjukkan angka 1,433. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas ini tidak memenuhi persyaratan stabilitas sebagaimana disyaratkan oleh SNI 8460:2017. Sebagai kondisi eksisting masih bisa disebut sebagai aman.

## 2. Kondisi Galian

Kondisi galian adalah kondisi dilakukan galian dalam rangka pembuatan dinding penahan tanah. Tentunya lereng harus terlebih dahulu digali sebelum dibuat dinding penahan tanah, oleh karena itu perlu dicek apakah stabilitasnya dapat dipenuhi untuk kondisi galian sementara, yaitu faktor aman tidak boleh kurang dari 1. Kalau faktor aman kurang dari satu, artinya galian tidak bisa dipertahankan, sementara dinding penahan tanah dibuat, secara ilustratif ditunjukkan pada Gambar 7.

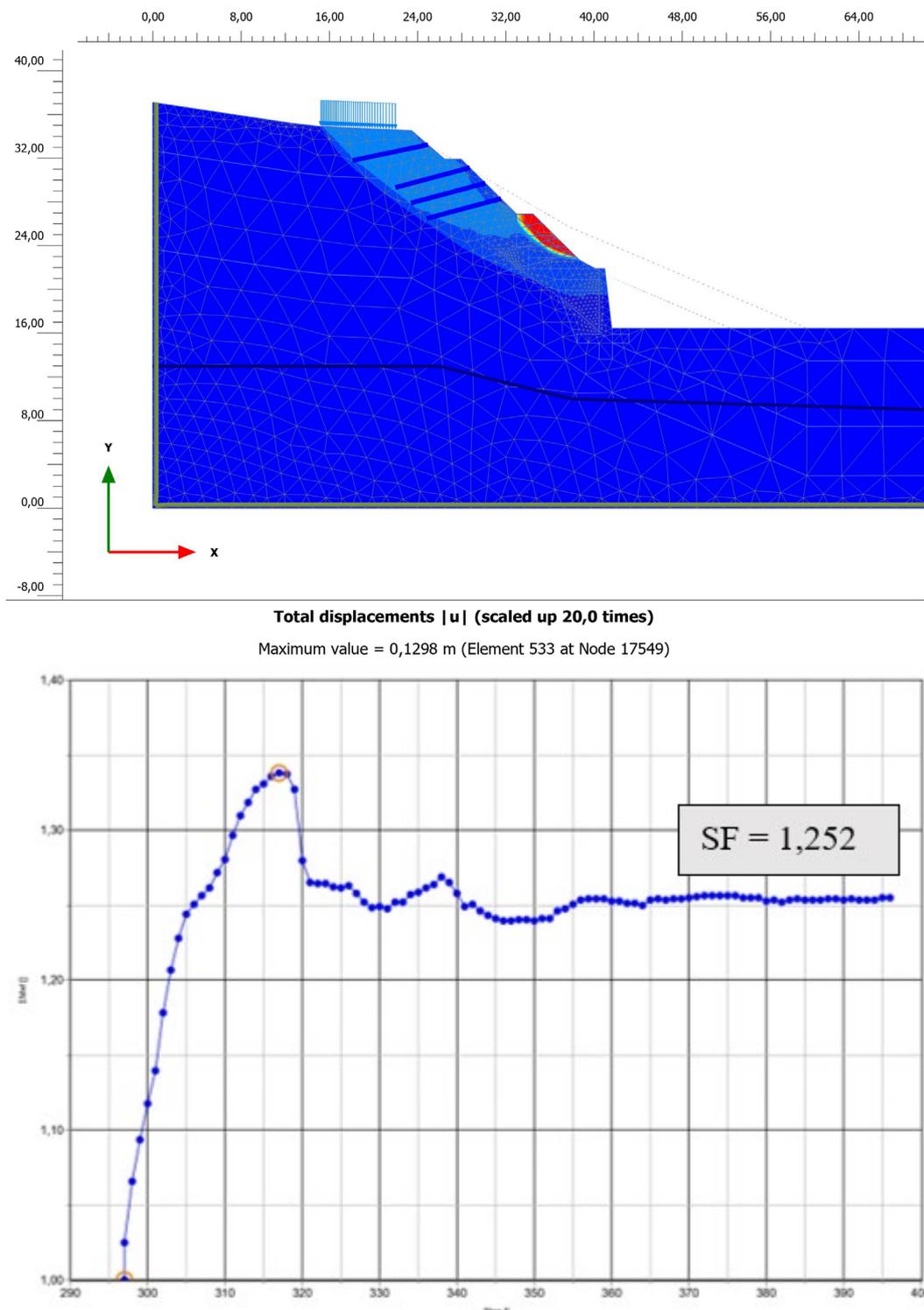


**Gambar 7.** Bidang runtuh dan faktor aman kondisi galian

Pada kondisi galian ini, hasil perhitungan Plaxis menunjukkan faktor aman lebih dari 1, yaitu 1,147. Maka kondisi galian dapat dipertahankan stabil sementara dinding penahan tanah dibuat. Perlu dicatat bahwa dalam kondisi galian ini lereng tidak diperkuat sama sekali.

## 3. Kondisi Dinding Penahan Tanah

Kondisi ini adalah kondisi dimana dinding penahan tanah sudah terpasang, artinya telah berfungsi sebagai dinding penahan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Perhitungan stabilitas setelah dinding terpasang menunjukkan faktor aman sebesar 1,252



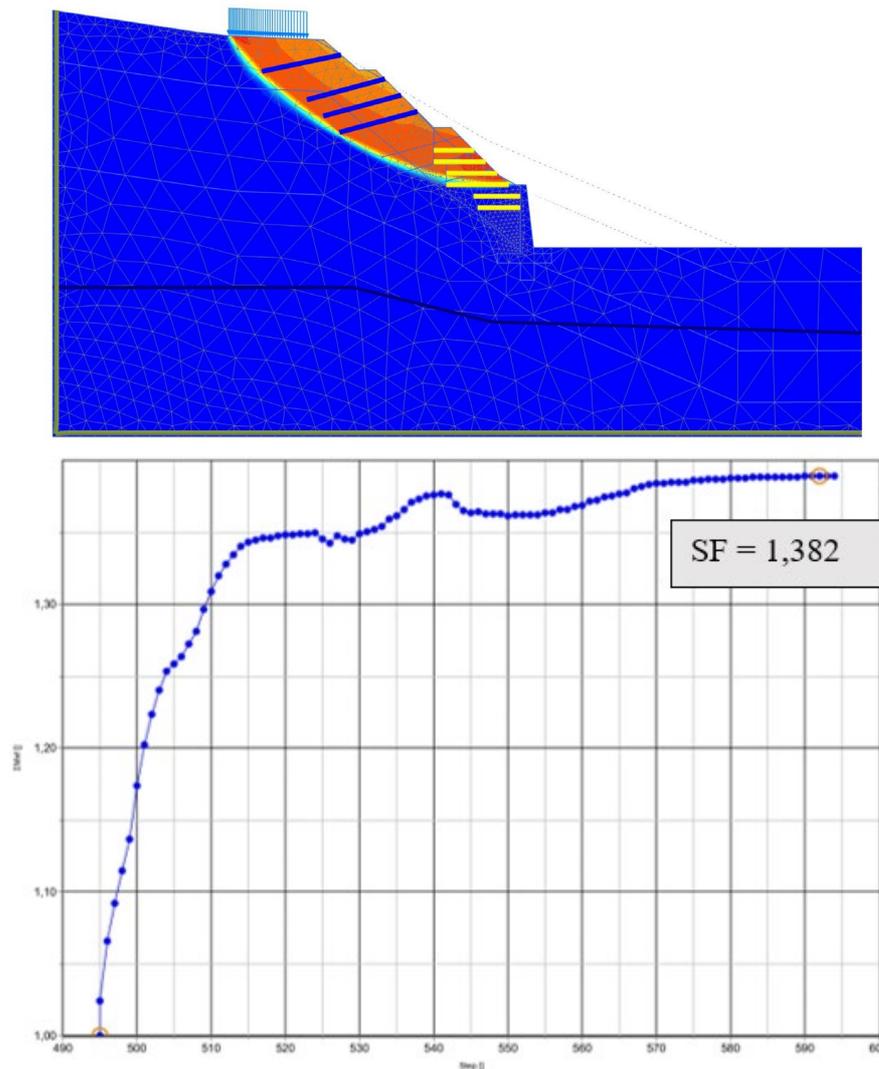
**Gambar 8.** Bidang runtuh dan faktor aman kondisi dinding penahan tanah terpasang

Hasil perhitungan dengan Plaxis menunjukkan bahwa bidang runtuh hanya sebagian kecil di atas dinding. Namun perlu dipahami bahwa nilai faktor aman sebesar 1,252 adalah faktor aman yang memenuhi syarat untuk kondisi permanen atau jangka panjang. Oleh karena itu, kondisi dianggap masih belum stabil. Dengan kata lain penggunaan dinding penahan tanah saja tidak cukup untuk mengamankan lereng. Dikhawatirkan dalam jangka panjang masih

mungkin faktor aman ini mengalami reduksi sehingga bisa menyebabkan keruntuhan.

#### 4. Kondisi Perkuatan Geotekstil

Kondisi perkuatan geotekstil adalah kondisi dimana ketika dinding telah terpasang, penimbunan kembali (*backfill*) di belakang dinding penahan tanah ditambah dengan geotekstil pada tiap ketebalan timbunan 40 cm, secara ilustratif ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Bidang runtuh dan faktor aman kondisi perkuatan dengan geotekstil

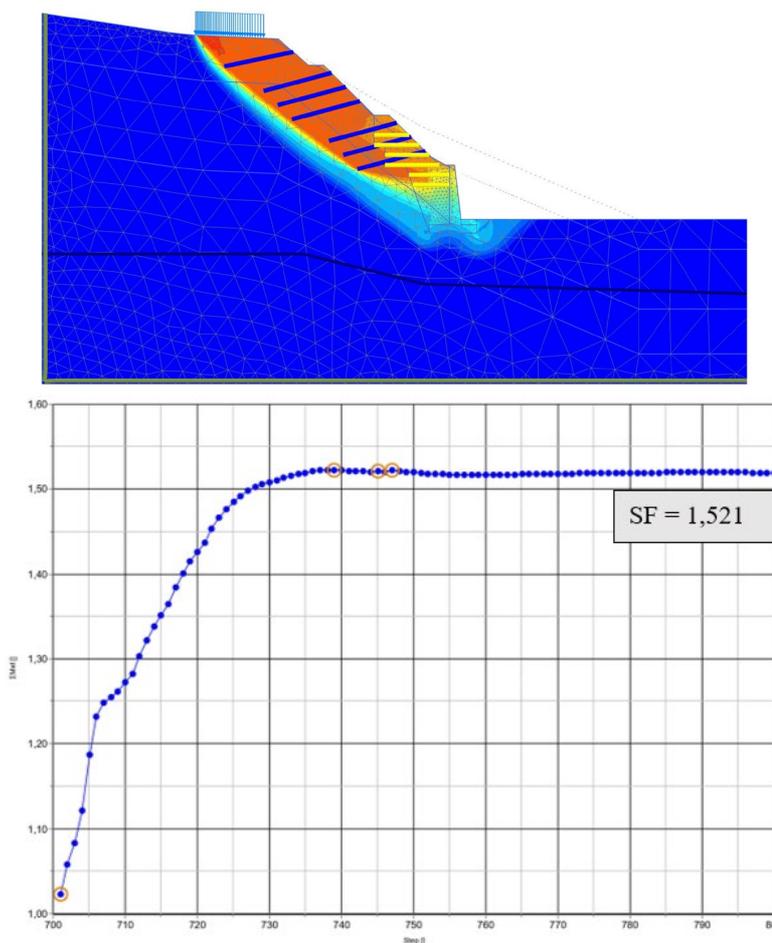
Hasil perhitungan Plaxis untuk lereng dengan tambahan perkuatan geotekstil pada lapis-lapis penimbunan kembali menunjukkan faktor aman sebesar 1,382. Angka ini meningkat jika dibandingkan dengan jika hanya menggunakan dinding penahan tanah saja, namun angka ini belum cukup stabil untuk kondisi permanen, yaitu kondisi selama umur layan yang diperlukan.

#### 5. Kondisi Perkuatan Geotekstil dan Ground Anchor

Sebagaimana telah dibahas sebelumnya bahwa perkuatan dengan geotekstil saja tidak cukup untuk stabilitas permanen. Oleh karena itu perkuatan lereng harus ditambah dengan metode perkuatan lain yaitu perkuatan dengan

menggunakan *ground anchor*. Secara keseluruhan kondisi lereng ini adalah lereng dengan dinding penahan tanah di kaki lereng, perkuatan geotekstil di lapis penimbunan kembali dan ditambah dengan perkuatan *ground anchor* di badan lereng, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Hasil perhitungan dengan Plaxis menunjukkan faktor aman sebesar 1,521. Faktor aman ini lebih besar dari persyaratan teknis yang dinyatakan dalam SNI 8460-2017. Nilai faktor aman yang lebih besar dari 1,5 menunjukkan bahwa faktor aman ini menjamin lereng dalam keadaan stabil untuk kondisi permanen, yaitu selama umur layan lereng. Meskipun ada kemungkinan terjadi reduksi faktor aman karena adanya perubahan kekuatan geser tanah, namun reduksi itu masih menjamin stabilitas lereng.

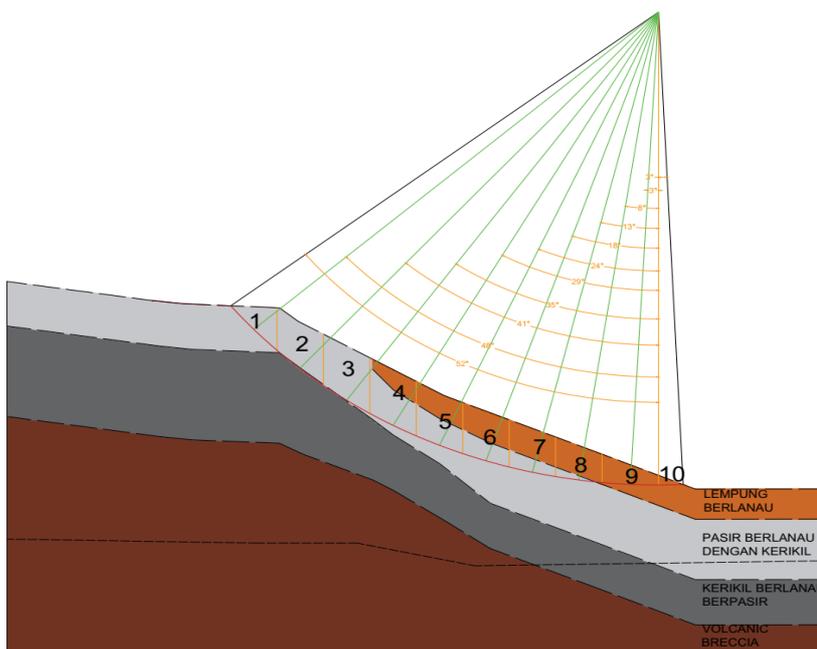


**Gambar 9.** Bidang runtuh dan faktor aman kondisi perkuatan dengan geotekstil dan ground anchor

#### 6. Kondisi Eksisting dengan LEM

Untuk menguji apakah hasil dari FEM sebagaimana telah dibahas sebelumnya menggunakan *software* Plaxis dapat dibenarkan, maka perlu dilakukan

perhitungan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (LEM). Namun perlu dipahami bahwa LEM tidak dapat digunakan secara setara dengan FEM. LEM memiliki keterbatasan, dalam hal penggunaan perkuatan seperti geotekstil dan *ground anchor*.



**Gambar 10.** Kondisi eksisting dengan LEM

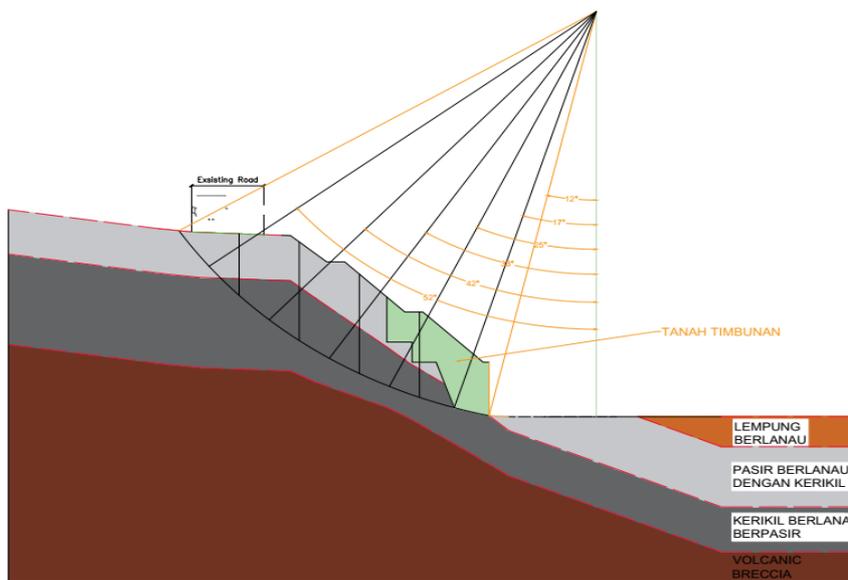
Agar setara dengan FEM maka yang diperbandingkan hanya kondisi eksisting saja. Kondisi eksisting dapat dihitung dengan menggunakan LEM, dalam hal ini menggunakan cara Fellenius. Cara ini, seperti ditunjukkan dalam ilustrasi Gambar 10, adalah pembagian irisan (*slices*) yang digunakan dalam perhitungan.

Faktor aman, SF pada kondisi eksisting adalah sebagai berikut.

$$SF = \frac{\text{MomenPenahan}}{\text{MomenPenggerak}} = \frac{\sum(c_i \times a_i) + \sum[(W_i \cos \theta_i) - U_i] \times \tan \phi_i}{\sum W_i \sin \theta_i + M_{\text{Kendaraan}}}$$

$$= \frac{241,221 + 1572,285}{1173,039 + 131,7} = 1,390$$

Hasil perhitungan ini jika dibandingkan dengan hasil perhitungan FEM, dapat dikatakan sama, dimana hasil perhitungan FEM sebelumnya adalah 1,433. Kondisi eksisting dengan galian dan pembuatan dinding penahan tanah ditunjukkan pada Gambar 11. Kondisi ini memberikan faktor aman yang hampir sama dengan kondisi eksisting tanpa dinding penahan tanah.



Gambar 11. Kondisi eksisting dan dinding penahan tanah dengan LEM

Faktor aman, SF untuk kondisi eksisting dengan penambahan dinding penahan tanah dihitung sebagai berikut.

$$SF = \frac{\text{MomenPenahan}}{\text{MomenPenggerak}} = \frac{\sum(c_i \times a_i) + \sum[(W_i \cos \theta_i) - U_i] \times \tan \phi_i}{\sum W_i \sin \theta_i + M_{\text{Kendaraan}}} = \frac{164,096 + 2815,313}{1903,907 + 244,5} = 1,387$$

Faktor aman untuk kondisi eksisting dengan penambahan dinding penahan tanah berdasarkan metode LEM kurang optimal karena tidak memperhitungkan pengaruh adanya galian yang mereduksi stabilitas lereng. Faktor aman berdasarkan *software* Plaxis yang merupakan FEM jauh lebih optimal karena juga mempertimbangkan kondisi galian. Faktor aman berdasarkan FEM menunjukkan nilai SF = 1,252 yang jauh lebih kecil dari SF = 1,387 dari LEM.

Terlepas dari stabilitas lereng secara global, stabilitas dinding penahan tanah itu sendiri

diperiksa terhadap geser, guling dan daya dukung sebagai berikut.

a. Terhadap Geser

$$F_{gs} = \frac{(\sum V) \tan(k_1 \phi) + Bk_2c + P_p}{P_h} = \frac{580,97 \times \tan(0,67 \times 42,5) + (4,9 \times 0,67 \times 42,5) + 418,441}{148,386} = 5,041 \geq 1,5 \text{ (Memenuhi syarat)}$$

b. Terhadap Guling

$$M_o = P_h \left(\frac{H}{3}\right) = 148,386 \left(\frac{8,3}{3}\right) = 410,533 \text{ kN.m}$$

$$F_{gl} = \frac{\sum M_R}{M_o}$$

$$F_{gl} = \frac{1749,756}{412,533}$$

$$F_{gl} = 4,262 \geq 2 \text{ (Memenuhi syarat)}$$

c. Terhadap Daya Dukung

$$FK = \frac{q_{ult}}{q_{maks}}$$

$$FK = \frac{13869,767}{138,89}$$

$$FK = 99,861 \geq 3 \text{ (Memenuhi syarat)}$$

## KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik, diuraikan sebagai berikut.

1. Metode LEM berdasarkan cara Fellenius, memberikan perhitungan yang kurang memadai untuk mengakomodasi kondisi tahap konstruksi (*stage construction*).
2. Metode FEM dengan *software* Plaxis memberikan nilai faktor aman (SF) secara bertahap sesuai dengan kondisi konstruksi yang memberi jaminan bahwa tahap konstruksi di lapangan juga memenuhi persyaratan keselamatan (*safety*).
3. Faktor aman (*safety factor*) global sebesar 1,521 memenuhi persyaratan stabilitas secara permanen, sebagaimana dinyatakan dalam SNI 8460:2017.
4. Desain optimal yang memenuhi syarat dapat dicapai apabila lereng diperkuat dengan geotekstil dan *ground anchor*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azizi, M. A., Kramadibrata, S., K. Wattimena, R., Sidi, I. D., Basuki, S., & Suhedi. (2011). Aplikasi probabilistik untuk analisis kestabilan lereng tunggal (studi kasus di pt. Tambang batubara bukit asam tbk. Tanjung enim, sumatera selatan). *TPT PERHAPI*, XX, 1–6.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik*.
- Bentley. (2023). *PLAXIS 2D 2023.1 General Information Manual*. 1–26.
- Cares University of Missouri. (2023). *Slope and Landscape Features*. <https://agsite.missouri.edu/slope-and-landscape-features/#:~:text=Slope%3A>
- Slope refers to the,occurs between two different points.
- Hamdhan, I. N., Pratiwi, D. S., Adisya, R., Rahmah, K., Teknik, F., & Nasional, I. T. (2020). Analisis Stabilitas pada Lereng dengan Perkuatan Tanaman Vetiver Menggunakan Metode Elemen Hingga 3D. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 174–182.
- Hara, T., Tatta, N., & Yashima, A. (2023). Assessment of ground-anchored slope stability based on variation in residual tensile forces. *Soils and Foundations*, 63(4), 101353. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101353>
- Hardiyatmo, C. (2002). *Mekanika tanah II* (Ketiga). Gajah Mada University Press.
- Ir. GOUW Tjie Liong, M. E. C., & Herman, D. J. G. (2012). Analisa stabilitas lereng Limit equilibrium Vs Finite Element Method. *HATTI-PIT*, XVI.
- Isdianto, & Dian Hastari Agustina. (2023). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus : Ruas Jalan Gesek-Simpang Busung. Kabupaten Bintan). *Sigma Teknika*, 6, 493–502.
- Loilatu, R., & Iswandaru. (2022). Analisis Kestabilan Lereng Andesit Menggunakan Metode FEM pada PT. X. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 2(1), 15–24.
- Prasetyo, I., Setiawan, B., & Dananjaya, R. H. (2017). Analisis stabilitas lereng bertingkat dengan perkuatan geotekstil menggunakan

- metode elemen hingga. September, 922–926.
- Putra, A. P., Septanto, D., & Praja, S. W. (2018). Penanganan daerah rawan longsor dengan menggunakan metode. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia, II*(November), 147–155.
- Tri, L., Pramudo, H., Djarwanti, N., & Surjandari, N. S. (2016). Analisis stabilitas lereng dengan terasering di desa sendangmulyo, tirtomoyo, wonogiri. 470–475.
- Wahyuningdiah, D. S., Fatmawati, L. E., & firmansyah, y. K. (2023). Perencanaan Perkuatan Lereng Menggunakan Sheet Pile Sebagai Alternatif Dinding Penahan Tanah Lereng Jembatan Kab.Probolinggo. *Jurnal Rab Contruction Research, 8*(2), 284–295.