



ANALISIS STABILITAS LERENG BERDASARKAN NILAI STANDARD PENETRATION TEST PADA PROYEK JALAN TOL JAKARTA – CIKAMPEK PAKET 2B RUAS SUKARAGAM – SUKABUNGAH STA 30+450

Muhammad Rafi Basyar¹, Ilham^{*1}, Arzal M. Zain²

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Desain, Institut Teknologi Sains Bandung, Cikarang Pusat, Indoesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Jalan Hang Tuah No. 114

*Penulis korespondensi: ilham@itsb.ac.id

DISUBMIT 3 Februari 2026 **DIREVISI** 5 Februari 2026 **DITERIMA** 7 Februari 2026

ABSTRAK Studi ini mengevaluasi stabilitas lereng pada Proyek Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Selatan, Paket 2B, STA 30+450, menggunakan data Standard Penetration Test (SPT) sebagai dasar parameter tanah. Analisis menggunakan metode Janbu dan Plaxis 2D dengan Metode Elemen Hingga. Hasil menunjukkan bahwa dalam kondisi statis lereng stabil, dengan faktor keamanan di atas standar minimum. Namun, pembebanan seismik berdasarkan SNI 1726:2019 menurunkan faktor keamanan mendekati tingkat kritis, dengan deformasi yang signifikan pada lapisan tanah lunak. Hasil ini menekankan perlunya drainase yang tepat, pengelolaan geometri lereng, dan penguatan tanah untuk menjaga stabilitas. Studi ini memberikan rekomendasi praktis untuk mitigasi risiko tanah longsor pada proyek jalan tol dan memberikan kontribusi akademis dengan menggabungkan interpretasi tanah berbasis SPT dengan analisis numerik.

KATA KUNCI Slope stability, Standard Penetration Test, safety factor, Janbu method, Plaxis 2D

1 PENDAHULUAN

Tanah merupakan material alami yang terbentuk dari pelapukan batuan dan bahan organik, serta terdiri atas partikel mineral, air, udara, dan unsur hara. Sifat dan karakteristik tanah sangat bervariasi, tergantung pada asal-usulnya, proses pembentukannya, serta kondisi lingkungan tempat tanah tersebut berada. Dalam konteks rekayasa geoteknik, tanah berperan penting sebagai media pendukung struktur dan lereng. Namun, keberadaan tanah pada kemiringan tertentu dapat menimbulkan potensi tidakstabilan, khususnya di daerah yang memiliki kondisi geologis kompleks atau sering terpapar curah hujan tinggi. Pemahaman mengenai komposisi dan karakteristik tanah sangat penting dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek infrastruktur, terutama dalam konteks analisis stabilitas lereng.

Pembangunan infrastruktur jalan tol merupakan strategi penting untuk meningkatkan konektivitas dan mendorong pertumbuhan ekonomi wilayah. Proyek Jalan Tol Jakarta - Cikampek II Selatan, yang memiliki rute utama dari Jatiasih ke Sadang,

terbagi menjadi 3 paket yaitu paket 1 sampai 3, pada paket 2 terbagi menjadi 2 paket lagi yaitu paket 2A dan 2B. Dalam proyek ini, Paket 2B mencakup rute dari Sukaragam ke Sukabungah, yang merupakan bagian penting dari keseluruhan proyek.

Namun demikian, pelaksanaan proyek ini menghadapi tantangan geoteknik yang cukup signifikan, khususnya terkait dengan stabilitas lereng galian. Stabilitas lereng galian sangat penting untuk diperhatikan, karena lereng yang tidak terkelola dengan baik dapat berpotensi menimbulkan bencana, seperti longsor dan kerusakan struktur. Menurut Terzaghi dan Peck (1967), stabilitas lereng adalah kemampuan lereng untuk menahan gaya-gaya yang bekerja padanya tanpa mengalami kegagalan. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng galian perlu dilakukan dengan cermat, mempertimbangkan berbagai faktor seperti karakteristik tanah, kondisi lingkungan, dan beban yang bekerja pada lereng.

Salah satu metode yang umum digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai sifat-sifat tanah adalah Standard

Penetration Test (SPT). SPT memberikan data yang diperlukan untuk menentukan parameter geoteknik tanah, seperti kepadatan, kohesi, dan sudut gesek dalam, yang sangat penting dalam analisis stabilitas lereng. Dengan menggunakan data SPT, analisis stabilitas lereng dapat dilakukan untuk mengevaluasi potensi terjadinya longsor dan merumuskan langkah-langkah mitigasi yang tepat.

Dalam konteks proyek Jalan Tol JAKARTA - CIKAMPEK II Selatan, khususnya pada Paket 2B yang mencakup rute Sukaragam ke Sukabungah, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng galian berdasarkan data SPT yang diperoleh dari lokasi proyek. Analisis ini akan dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS. Penggunaan PLAXIS sebagai perangkat lunak analisis elemen hingga memungkinkan peneliti untuk melakukan simulasi yang lebih kompleks dan akurat terhadap perilaku lereng dalam kondisi geoteknik yang spesifik.

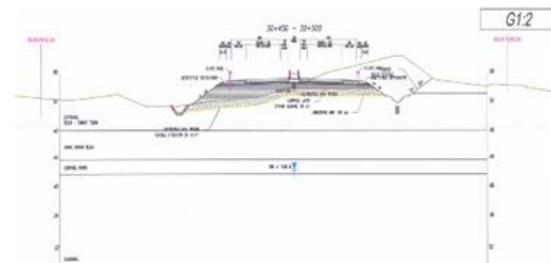
2 METODOLOGI

Lokasi Penelitian. Penelitian ini dilakukan pada proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Selatan Paket 2B STA 30+450. Lokasi penelitian secara spesifik dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Selain itu, untuk mendukung analisis stabilitas lereng, potongan melintang lereng pada lokasi juga disajikan yang bersumber dari Rencana Teknik Akhir dari tempat proyek penelitian yang mana gambar ini akan dijadikan oleh penulis sebagai acuan saat membuat pemodelan lereng galian STA 30+450 untuk penelitian stabilitas lereng galian pada proyek jalan tol ini.



Gambar 2 Potongan Melintang Lereng

Stabilitas Lereng. Stabilitas lereng adalah kemampuan suatu lereng tanah atau batuan untuk menahan gaya-gaya yang bekerja padanya tanpa mengalami keruntuhan atau longsor. Lereng dikatakan stabil jika gaya penahan (resisting forces), seperti kohesi dan gesekan tanah, lebih besar daripada gaya penggerak (driving forces), seperti berat tanah, tekanan air pori, atau beban luar. Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk mengevaluasi faktor keamanan lereng, yaitu perbandingan antara kekuatan tanah terhadap gaya yang mendorong tanah tersebut untuk bergerak. Terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi stabilitas lereng, antara lain:

Karakteristik Tanah. Jenis, kepadatan, kohesi, dan sudut gesek dalam tanah sangat mempengaruhi kekuatan geser lereng. Tanah lempung dengan plastisitas tinggi cenderung memiliki kohesi tinggi namun bersifat ekspansif dan sensitif terhadap kadar air, sementara tanah pasir lebih stabil jika tidak jenuh. Terzaghi (1943) menekankan bahwa kekuatan geser tanah merupakan kunci utama dalam mempertahankan stabilitas lereng.

Kemiringan Lereng. Semakin curam kemiringan lereng, semakin besar gaya penggerak yang bekerja. Lereng alami biasanya memiliki kemiringan stabil berdasarkan jenis tanah dan vegetasi, sedangkan lereng buatan seringkali perlu diperkuat dengan dinding penahan atau perkuatan geoteknik.

Kondisi Hidrologi dan Air Pori. Kehadiran air dalam tanah dapat meningkatkan tekanan air pori dan menurunkan tegangan efektif, sehingga mengurangi kekuatan geser tanah. Air hujan, rembesan, atau muka air

tanah yang tinggi dapat mempercepat kegagalan lereng. Oleh karena itu, sistem drainase sangat penting dalam desain lereng.

Beban Eksternal. Beban tambahan seperti kendaraan, struktur bangunan, atau alat berat pada puncak lereng dapat meningkatkan tegangan pada massa tanah dan menyebabkan pergeseran. Getaran akibat aktivitas konstruksi atau gempa juga merupakan beban dinamis yang harus diperhitungkan.

Memahami faktor-faktor tersebut sangat penting dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi, terutama pada proyek jalan tol seperti Jalan Tol Jakarta–Cikampek II Selatan, di mana lereng galian perlu dianalisis secara cermat untuk menjamin keselamatan dan keberlanjutan infrastruktur. Analisis stabilitas lereng bertujuan menentukan faktor keamanan bidang longsor yang berpotensi terjadi. Berikut adalah penjelasan tentang angka keamanan (faktor keamanan) pada lereng:

SF < 1,5: Lereng tidak stabil. Gaya penggerak melebihi gaya tahanan, sehingga lereng berpotensi mengalami keruntuhan atau longsor.

SF = 1,5: Lereng dalam kondisi kritis. Lereng berada pada batas stabilitas, sehingga dengan sedikit tambahan gaya penggerak, lereng dapat menjadi tidak stabil.

SF > 1,5: Lereng stabil. Gaya tahanan lebih besar dari gaya penggerak, sehingga lereng dinilai aman dan tidak berisiko mengalami keruntuhan pada kondisi saat ini.

Penentuan faktor keamanan ini sangat penting untuk memastikan stabilitas lereng, terutama dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi serta mitigasi risiko longsor. Perhitungan umum untuk stabilitas lereng dilakukan dengan membandingkan momen tahanan terhadap momen penggerak, formulanya adalah:

$$SF = \frac{\text{momen tahanan}}{\text{momen penggerak}} = \frac{RC \cdot LAC}{W \cdot y}$$

Keterangan: SF = faktor keamanan, W = berat tanah yang berpotensi longsor (kN), C = kohesi tanah (kN/m^2), R = jari-jari bidang longsor (m), y = jarak pusat berat W terhadap titik pusat O (m), LAC = panjang lengkungan (m).

Pembebanan. Beban yang digunakan dalam penelitian stabilitas lereng ialah beban lalu lintas dan beban perkerasan. Beban tersebut yang nantinya akan menjadi acuan kestabilan lereng pada penelitian ini.

Beban Lalu Lintas. Beban lalu lintas adalah gaya dinamis atau statis yang ditimbulkan oleh kendaraan yang melintas (Das. B. M, 2010). Beban ini dapat memengaruhi stabilitas lereng dengan meningkatkan tegangan geser (*shear stress*) di dalam tanah/batuhan, sehingga berpotensi memicu kelongsoran jika melebihi kekuatan geser material tersebut. Berdasarkan SNI 8460:2017, besar beban lalu lintas ditentukan berdasarkan kelas jalannya. Berikut klasifikasi beban lalu lintas berdasarkan SNI 8460:2017 pada tabel 2. 3 yang akan dijadikan sebagai tinjauan pada beban kali ini.

Tabel 1 Beban Lalu Lintas

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12

Beban Perkerasan. Menurut Pd-T- 5- 005- , beban perkerasan adalah beban yang diterima permukaan jalan dari kendaraan yang melintas dan ditransmisikan ke lapisan-lapisan struktur perkerasan hingga ke tanah dasar. Pada penelitian ini, beban perkerasan dihitung berdasarkan tebal perkerasan trase jalan tol JAKARTA - CIKAMPEK II Selatan Paket 2B STA 30+450 yang dikalikan dengan berat jenis beton dengan total seluruh beban 25 kPa.

Plaxis 2D. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) yang diimplementasikan melalui perangkat lunak PLAXIS 2D sebagai alat analisis utama PLAXIS memungkinkan pemodelan numerik yang kompleks

terhadap perilaku tanah dan lereng dengan mempertimbangkan karakteristik non-linear material tanah. Adapun alasan pemilihan metode ini adalah: 1) Memodelkan perilaku tanah secara realistik dengan memperhitungkan sifat non-linear dan heterogenitas material; 2) Menganalisis distribusi tegangan dan regangan di dalam massa lereng secara detail untuk memahami potensi kegagalan; 3) Mensimulasikan berbagai kondisi pembebahan, termasuk beban eksternal dan kondisi hidrologi seperti muka air tanah; 4) Menghitung faktor keamanan lereng secara komprehensif dan akurat berdasarkan hasil simulasi.

Plaxis menyediakan antarmuka pengguna yang mudah digunakan secara grafis. Pengguna dapat dengan cepat membangun dan memproses model elemen hingga yang kompleks dengan menggunakan prosedur input yang intuitif. Program ini juga dilengkapi dengan fasilitas output yang memungkinkan pengguna untuk memperoleh hasil perhitungan secara mendetail dan dapat dipresentasikan dengan baik. Plaxis terdiri dari empat sub-program utama yang berfungsi sebagai berikut: 1) *Input*: Sub-program ini digunakan untuk membuat model elemen hingga dengan menggambar geometri, mengatur properti material, dan menentukan kondisi batas dan beban; 2) *Calculation*: Sub-program ini digunakan untuk menjalankan perhitungan numerik berdasarkan model yang telah dibuat. Program ini menggunakan metode elemen hingga untuk memperkirakan deformasi dan stabilitas; 3) *Output*: Sub-program ini menyediakan fasilitas untuk menampilkan hasil perhitungan secara visual dan mendetail. Pengguna dapat menghasilkan grafik, tabel, dan laporan untuk menganalisis dan mempresentasikan hasil analisis; 4) *Curve*: Sub-program ini digunakan untuk mengelola dan memvisualisasikan kurva kekakuan dan deformasi untuk bahan geoteknik yang digunakan dalam model.

Metode Janbu. Janbu (1954) membuat suatu metode analisa yang dapat digunakan

pada permukaan longsor yang berbentuk *circular* dan *non circular*. Janbu merumuskan persamaan umum kesetimbangan dengan menyelesaikan secara vertikal dan horizontal pada dasar tiap - tiap irisan dengan memperhitungkan seluruh kesetimbangan gaya. Janbu juga mengembangkan metode yang mirip dengan metode bishop sederhana yang dikenal dengan metode janbu sederhana (Metode Janbu *Simplified*). Metode ini memiliki asumsi sama dengan metode bishop yang mengasumsikan bahwa gaya normal antar irisan diperhitungkan tetapi gaya geser antar irisan diabaikan atau bernilai nol ($XL-XR = 0$). Perbedaan antar metode bishop sederhana dan metode janbu sederhana terletak pada penurunan angka faktor keamanan. Bishop menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan vertical sedangkan janbu menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan horizontal. Keuntungan menggunakan metode ini yaitu metode ini dapat dicari menggunakan perhitungan manual dan bisa digunakan dengan model keruntuhan yang berbentuk busur lingkaran maupun yang tidak berbentuk busur lingkaran. Metode ini juga memiliki kekurangan seperti faktor amannya cenderung kecil.

Parameter Tanah Berdasarkan N-SPT. Analisis parameter mekanika tanah pada lokasi dilakukan berdasarkan hasil Standard Penetration Test (N - SPT). Nilai N - SPT digunakan untuk menurunkan parameter yang diperlukan dalam analisis kestabilan lereng, yaitu kuat geser tak terdrainase (S_u), kohesi efektif pendekatan (c'), dan modulus elastisitas (E). Pendekatan yang dipakai pada penelitian ini adalah korelasi sederhana menurut Terzaghi & Peck, 1978 dan Sowers, 1979 yaitu:

$$Su=6 \times N$$

Juga dengan paramaeter lain yang dikorelasikan menggunakan N-SPT yaitu kohesi, permeabilitas, berat jenis, dan lainnya seperti yang ditujukan pada **Tabel 2**. Yang mana hasil tersebut akan digunakan sebagai acuan pada penelitian kali ini.

Tabel 2 Korelasi Parameter Tanah Berdasarkan N-SPT

Parameter	Berdasarkan N-SPT		Berdasarkan CPT / CPTu	
	Tanah kohesi	Tanah non-kohesi	Tanah kohesi	Tanah non-kohesi
	$(q_u / \sigma_{\text{v}}) / N_{60} = 9.5(1 - \epsilon_s / 4.6)$			
N-SPT vs qc	$I_s = (3.47 - \log Q)^2 + (\log F - 1.22) F^{0.3}$	$Q = (q_u - \sigma_{\text{v}}) / \sigma'_{\text{v}}$		
	$F = (I_s / I_s^*) \times 100\%$			
Unit Weight (γ)		Tabel 3.1		Tabel 3.1
Kuat Gesek Undrained (S_u)	6 N	-	$S_u = \frac{\sigma_c - \sigma_{\text{v}}}{N_k}$	-
Kuat Gesek Efektif c'	Tabel 3.2	$c' (\text{kPa}) = 0.1cv$	Tabel 3.2	$c' (\text{kPa}) = 0.1cv$
ϕ'	Gambar 3.7	$\mu^2 = \sqrt{20(N_c \cdot \tan \phi')^2} = 1.2$		$\phi' = 37.6 + 1.1 \cdot \log \left((c'_v / \sigma_{\text{v},\text{sat}}) / (c'_{\text{v},\text{sat}} / \sigma_{\text{v},\text{sat}})^{0.2} \right)$
Kuat Gesek Undrained (S_u) Claystole	3.5 N			
Kuat Gesek Efektif c' Claystole	3.5 – 7 (kPa)			
ϕ' Claystole	15.5 – 20 ($^{\circ}$)			
Deformasi, E			Tabel 3.4	

Untuk perhitungan lainnya juga disebutkan dalam gambar, yang ada beberapa perbedaan caa mengkorelasikannya sesuai kondisi yang ditentukan dan juga parameter yang diinginkan.

3 PEMBAHASAN DAN DISKUSI

Perhitungan Geoteknik. Berdasarkan hasil perhitungan dari data SPT, diperoleh parameter *undrained* (total-stress) untuk tiap lapisan pada BH-6 dan BH-7 sebagaimana ditujukan pada gambar **Tabel 3.**

Tabel 3 Hasil Perhitungan Paramaeter Tanah Pada BH-6

Lapisan	Kedalaman (m)	N-SPT	Su (kPa)	c' (kPa)	E (kPa)	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
Lempung kaku	0,00 – 3,00	20	120	12	7.8	18,0	19,5
Lempung terkonsolidasi	3,00 – 15,00	50	300	30	16.8	19,0	20,5
Lempung Keras	15,00 – 24,45	60	360	36	19.8	19,5	21,0

Tabel 4 Hasil Perhitungan Parameter Tanah Pada BH-7

Lapisan	Kedalaman n (m)	N-SPT	Su (kPa)	c' (kPa)	E (kPa)	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
Lempung lunak	0,00 – 1,50	3	18	1,8	2.7	17,0	18,5
Lempung lunak sedang	1,50 – 3,00	4	24	2,4	3	17,5	19,0
Lempung agak kaku	3,00 – 7,50	6	36	3,6	3,6	18,0	19,5
Lempung kaku	7,50 – 12,45	12	72	7,2	5,4	18,5	20,0

Hasil diatas merupakan hasil dari pengolahan data dengan metode korelasi N-

SPT menjadi parameter tanah sebagai acuan pada penelitian kali ini.

Analisis dengan Metode Janbu. Perhitungan berdasarkan kondisi tanah yang ditentukan yaitu:

- Kondisi drain
- Tinggi Lereng H = 4 m
- Beban 25 kPa
- Faktor koreksi chart Janbu $N_0 = 5,6 \mu w = 0,9 \mu t = 1$

Pertama, mencari kohesi rata – rata pada lereng:

$$C_{avg} = \frac{\sum Cihi}{H}$$

$$C_{avg} = \frac{12(3) + 30(12) + 36(9.45)}{24.45}$$

$$= 30.1 \text{ kPa}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa nilai kohesi 30.1 kPa. Kemudian mencari berat isi rata – rata pada tanah sekitar lereng:

$$\gamma_{avg} = \frac{\sum \gamma ihi}{H}$$

$$\gamma_{avg} = \frac{18(3) + 19(12) + 19.5(9.45)}{24.45}$$

$$= 19.1 \text{ kN/m}^3$$

dari perhitungan tersebut didapatkan berat isi rata - rata adalah 19.1 kN/m³. Setelah didapatkan keduanya cari gaya dorong pada tanah dan masukan beban yang sudah ditentukan yaitu 25 kPa:

$$P_d = \frac{\gamma_{avg} \cdot H + q}{\mu_w \mu_t}$$

$$P_d = \frac{19.1 \cdot 4 + 25}{0.9 \times 1} = 112.7 \text{ kN/m}^2$$

berdasarkan gaya dorong yang ada dan sudah dimasukan beban, gaya dorong memiliki nilai kN/m^2 . Setelah didapatkan semuanya baru hitung faktor aman terhadap lereng menggunakan formula SF yang telah ditentukan diatas yaitu

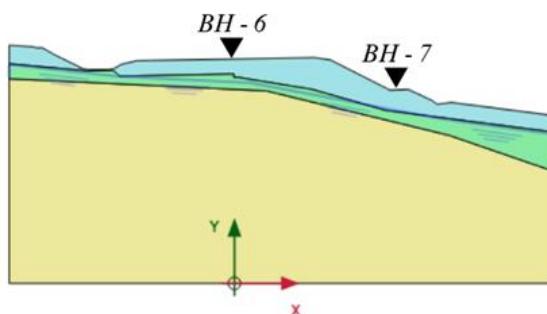
$$\text{SF} = \frac{N_0 \cdot C_{avg}}{P_d}$$

$$\text{SF} = \frac{5.6 \cdot 30.1}{112.7} = 1.50$$

Hasil perhitungan didapatkan nilai faktor aman lereng dengan metode janbu adalah 1.50.

Analisis Stabilitas Lereng dengan Plaxis.

Pemodelan lereng dibuat berdasarkan potongan melintang STA 30+450.



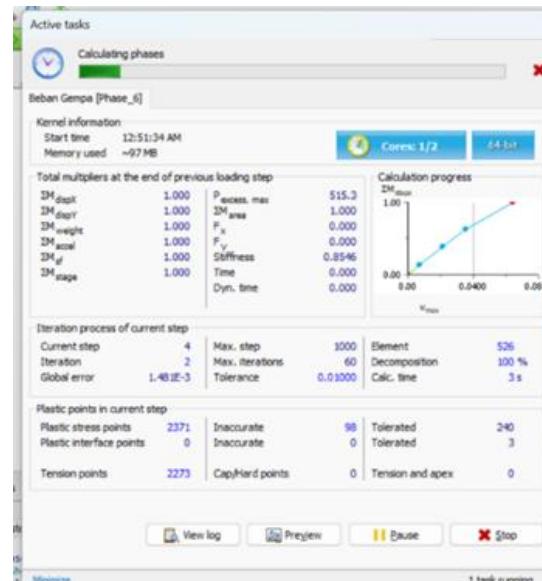
Gambar 2 Pemodelan Lereng

Program Input. Tahap pertama pada analisis lereng menggunakan plaxis adalah input, yaitu memasukan seluruh data yang dibutuhkan untuk analisis stabilitas lereng. Mulai dari koordinat lereng, parameter tanah, dan beban lereng.

Program Calculation. Tahap kedua setelah input seluruh parameter tanah dan beban adalah calculation, yang mana pada tahap ini plaxis secara otomatis akan mulai menghitung kekuatan lereng. Pada tahap calculation untuk beban, calculation type yang dipilih adalah plastic, karena pada analisis stabilitas lereng ini menggunakan analisis jangka pendek yang mana untuk tipe

perhitungan langsung. Dan pada calculation type ini, keadaan tanah dianggap undrained sesuai dengan parameter yang ditentukan. Setelah itu bisa lanjut ke proses perhitungan.

Setelah proses perhitungan selesai, plaxis akan memberikan hasil nilai safety factor pada lereng yang telah di modelkan diawal untuk bisa dijadikan sebagai acuan dalam analisis lereng dan pekerjaan konstruksi.



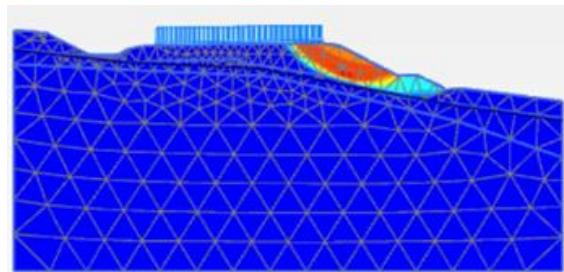
Gambar 3 Proses Perhitungan

Program Output. Setelah proses dari calculation selesai, maka tahap selanjutnya yaitu program output. Plaxis akan secara otomatis memperlihatkan hasil safety factor sekaligus deformasi dan bidang gelincir yang terjadi pada lereng akibat beban kendaraan dan beban gempa. Hasil dari output inilah yang akan dijadikan sebagai hasil dari perhitungan secara numerik berbasis komputasi dari perangkat lunak plaxis 2D.

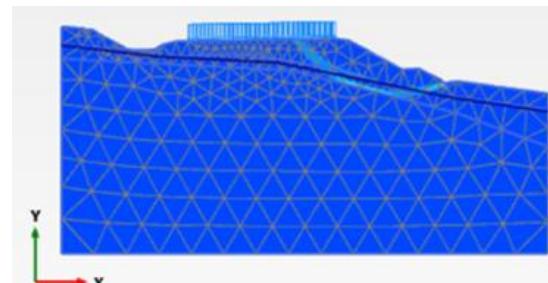
Pada output ini akan menunjukkan hasil berupa bidang deformasi, bidang gelincir, dan safety factor. Selain hasil tersebut plaxis juga bisa menunjukkan hasil lainnya seperti area plastis atau titik dari node yang ditentukan.

Gambar 4 memperlihatkan bidang keruntuhan (*failure mechanism*) yang teridentifikasi pada lereng yang dapat

dijadikan sebagai acuan untuk memberikan rekomendasi di area tersebut.



Gambar 4 Hasil Output dari Plaxis



Gambar 5 Hasil output Bidang Gelincir

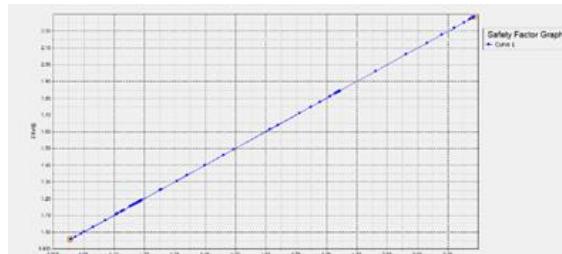
Setelah area deformasi dan bidang gelincir disajikan, plaxis juga mensajikan data hasil dari *safety factor* lereng setelah diberikan beban gempa dan beban jalan, yang mana menyatakan hasil dari seluruh perhitungan beban dan apa saja yang terjadi pada perhitungan lereng tersebut secara otomatis sehingga bisa dijadikan sebagai acuan data untuk pekerjaan konstruksi dan bahan diskusi terkait keamanan lereng tersebut.

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.01271E-15
ForceX - Reached total force	0.000 kN/m
ForceY - Reached total force	0.000 kN/m
Pmax - Reached max pp	170.0 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase μ	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.841

Gambar 6 Hasil Output Safety Factor

Program Curve. Program ini digunakan untuk mengelola dan memvisualisasikan kurva kekakuan dan deformasi untuk bahan geoteknik yang digunakan dalam model, juga mensajikan data tabel perhitungan dari setiap phase yang dibuat dalam plaxis.

Gambar output kurva hasil dari analisis stabilitas lereng dengan plaxis disajikan pada **Gambar 7**.



Gambar 7 Kurva Perhitungan Safety Factor

Gambar 7 memperlihatkan *Safety Factor Graph* hasil analisis metode *Strength Reduction* pada program Plaxis. Sumbu horizontal (X) menunjukkan faktor pengali (ΣMsf) yang diterapkan pada parameter kuat geser tanah, sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan respon sistem berupa nilai ΣMsf yang dicapai pada setiap tahapan perhitungan.

Pada awal kurva, nilai ΣMsf berada pada angka 1,0 yang berarti belum terjadi reduksi kekuatan tanah. Seiring bertambahnya iterasi, nilai ΣMsf meningkat secara linier dan konvergen hingga mencapai titik maksimum sekitar 2,28. Pola linier ini menunjukkan bahwa proses reduksi kuat geser berjalan stabil tanpa adanya ketidakstabilan numerik selama iterasi berlangsung.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil geologi, data penyelidikan tanah, serta analisis stabilitas lereng berdasarkan nilai SPT pada lokasi galian STA 30+450 Proyek Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Selatan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. **Kondisi Geologi.** Lokasi STA 30+450 didominasi material vulkanik, endapan sungai muda, dan batuan sedimen halus (lempung plastis, napal). Lapisan atas (0 – 3 m) umumnya berupa lempung kaku N-SPT (15 – 20), Lapisan tengah (3 – 15 m) berupa lempung terkonsolidasi dengan N-SPT (20 – 50), pada kealaman >15 m (khusus BH-6) lapisan tanah sudah sangat keras dengan N-SPT >50 yang menunjukkan tanah sangat padat.

2. Analisis stabilitas lereng galian pada STA 30+450 telah berhasil dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D dengan parameter tanah hasil interpretasi data SPT.
3. Evaluasi tingkat keamanan lereng, menggunakan metode janbu nilai SF adalah 1.5 yang mana dikondisi kritis. Menggunakan plaxis tanpa beban gempa nilai SF adalah 1.841 yang lereng dalam kondisi aman. Menggunakan plaxis dengan beban gempa nilai SF adalah 1.183 menunjukan bahwa lereng masih tergolong aman dengan kondisi beban gempa.
4. Meskipun lereng secara keseluruhan stabil, dominasi tanah lempung plastis yang rentan terhadap penurunan kuat geser akibat air memerlukan perhatian khusus terutama pada BH-7.

Saran

1. Melihat adanya lapisan tanah lempung plastis yang rentan kehilangan kuat geser saat jenuh air, terutama di BH-7, dapat dipertimbangkan dilakukan replacement (penggantian tanah) dengan material yang lebih stabil seperti tanah granular (pasir bergradasi baik) atau material pilihan hasil borrow pit dan dilakukan analisis ulang agar lebih myakinkan.
2. Untuk mengurangi erosi dan memperlambat masuknya air hujan ke tubuh lereng, dapat dipertimbangkan pelapisan dengan shotcrete, geotextile, atau vegetasi berakar kuat yang mampu memperlambat laju air atau Gerak air ke tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atkinson, J. H., & Bransby, P. L. (1978). *The Mechanics of Soils: An Introduction to Critical State Soil Mechanics*. McGraw-Hill.
- [2] Babu, G. L. S., & Reddy, K. R. (2012). *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 – Tata Cara Perhitungan Stabilitas Lereng*. Jakarta: BSN.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Jakarta: BSN.
- [5] Boulanger, R. W., & Ziotnick, I. (2013). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. Elsevier.
- [6] Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- [7] Brady, N. C., & Weil, R. R. (2010). *The Nature and Properties of Soils* (14th ed.). Pearson Education.
- [8] Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., & Swolfs, W. M. (2020). *PLAXIS 2D Reference Manual*. Bentley Systems.
- [9] Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- [10] Craig, R. F. (2004). *Soil Mechanics* (7th ed.). Spon Press.
- [11] Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslide types and processes. In A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*. National Research Council.
- [12] Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- [13] Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. Wiley.
- [14] Griffiths, D. V., & Lane, P. A. (1999). Slope stability analysis by finite elements. *Géotechnique*, 49(3), 387–403.
- [15] Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah 1*. UGM Press.
- [16] Hillel, D. (2004). *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press.
- [17] Khosravi, M., & Khosravi, M. (2014). *Geotechnical Testing Journal*.
- [18] Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.
- [19] Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons.
- [20] Meyerhof, G. G. (1956). The Ultimate Bearing Capacity of Foundations.
- [21] Mitchell, J. K. (1993). *Fundamentals of Soil Behavior* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- [22] NAVFAC DM-7.1. *Soil Mechanics*.
- [23] Pd – T – 09 – 2005. *Pedoman Teknis Perencanaan Stabilitas Lereng*.
- [24] Pd – T – 05 – 2005 – B. (Beban perkerasan).
- [25] Potts, D. M., & Zdravkovic, L. (1999). *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Theory*. Thomas Telford.
- [26] PT Jasamarga Japek Selatan & Konsultan Perencana. (2023). *Laporan Hasil Investigasi Tanah Proyek Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Selatan Paket 2B*. Dokumen internal proyek.
- [27] Reddy, K. R., & Reddy, G. V. (2013). *International Journal of Engineering Research and Applications*.
- [28] Ranjan, G., & Rao, A. S. R. (2000). *Basic and Applied Soil Mechanics*. New Age International.
- [29] Sarwono. (2003). (Diagram Segitiga Tekstur Tanah).
- [30] Skempton, A. W. (1986). *Soil Mechanics in Engineering Practice*.
- [31] Sowers, G. F. (1979). *Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering*. Macmillan.
- [32] Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons.
- [33] Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- [34] USCS – Unified Soil Classification System Guidelines.