

ANALISIS GEOTEKNIK DAN KESTABILAN LERENG TOWER SUTT PT. PLN (Studi kasus: TW. 203 Pembangunan T/L 150 KV GI KAMBANG – GI TAPAN)

Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono¹, *Reki Arbianto², Made Eka Prayuda Pande³, Gunarso⁴

^{1,2,4}Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta – Indonesia

³PT. Krakatau Engineering, Cilegon, Banten - Indonesia

*) Email: reki.arbianto@lecture.utp.ac.id

ABSTRACT

Slope instability is caused by several lithological and structural factors, slope geometry, relative relief, ground water, as well as changes in use and land cover. Mountainous areas, development and expansion of infrastructure networks can inadvertently cause natural slope shifts, thereby negatively impacting the stability of the excavated slope. Analysis of the geotechnical properties of soil and rock is important for understanding and predicting the possibility of landslides at certain locations. Geotechnical analysis is needed to carry out slope stability analysis which is carried out using GEO5 software. Construction of T/L 150 KV GI Kambang – GI Tapan, Tower TW. 203 with a tower structure at the top of the slope. Based on these conditions, a comprehensive study is needed to analyze the stability of natural slopes due to tower loads. Soil Type, Parameters c' and ϕ' (Drained), Parameters C_u and ϕ (Undrained) and soil properties index are based on CPT test results. The Bishop, Spencer, Janbu and Morgenstern-Price methods on natural slopes, tower loads, Natural with Tower+Pile Loads, Natural Slopes with Tower+Pile Loads, Earthquake Loads produce a safe condition against failure in Short-Term (Construction) and Long-Term conditions. Term (Operational). Analysis of the Fellenius method on natural slopes and tower loads in Short-Term (Construction) and Long-Term (Operational) conditions shows unsafe conditions. The safety factors resulting from the Bishop, Spencer, Janbu and Morgenstern-Price methods do not show significant differences in values. Based on the analysis, the average safe value without earthquake load is $SF = 1.8$ and with earthquake load is $SF..$

Keyword: *slope stability, tower, CPT, Geo5*

ABSTRAK

Ketidakstabilan lereng disebabkan beberapa faktor litologi dan struktur, geometri lereng, relief relatif, kondisi air tanah, serta perubahan penggunaan dan tutupan lahan. Pada daerah pegunungan, pembangunan dan perluasan jaringan infrastruktur dapat secara tidak sengaja menyebabkan kondisi pergeseran lereng alami, sehingga berdampak negatif terhadap stabilitas lereng yang digali. Menganalisis sifat geoteknik tanah dan batuan sangat penting untuk memahami dan memperkirakan kemungkinan terjadinya tanah longsor di lokasi tertentu. Analisis geoteknik diperlukan dalam melakukan analisis stabilitas lereng yang dibantu menggunakan software GEO5. Pembangunan T/L 150 KV GI Kambang – GI Tapan, Tower TW. 203 pada daerah perbukitan dengan struktur tower berada pada puncak lereng. Berdasarkan kondisi ini, diperlukan studi komprehensif guna menganalisis stabilitas lereng alami akibat adanya beban tower. Jenis Tanah, Parameter c' dan ϕ' (Drained), Parameter C_u dan ϕ (Undrained) dan Indeks properties tanah didasarkan pada hasil pengujian Sondir. Metode Bishop, Spencer, Janbu dan Morgenstern-Price pada lereng alami, beban tower, Alami Dengan Beban Tower+Pile, Lereng Alami Dengan Beban Tower+Pile, Beban Gempa menghasilkan keadaan aman terhadap kegagalan di kondisi Short-Term (Construction) maupun Long-Term (Operational). Analisis metode Fellenius pada lereng alami dan beban tower kondisi Short-Term (Construction) maupun Long-Term (Operational) menunjukkan kondisi tidak aman. Faktor keamanan yang dihasilkan dari Metode Bishop, Spencer, Janbu dan Morgenstern-Price tidak menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan. Berdasarkan analisis nilai angka aman rata-rata tanpa beban gempa sebesar $SF = 1,8$ dan dengan beban gempa sebesar $SF = 1,2$.

Kata kunci: *stabilitas lereng, tower, CPT, Geo5*

1. PENDAHULUAN

Pemerataan pembangunan di Indonesia terus dilakukan guna pemerataan kesejahteraan masyarakat. PT PLN (Persero) sebagai perusahaan penyedia jasa kelistrikan terbesar di Indonesia didorong untuk pemerataan infrastruktur listrik sampai ke pelosok negeri. Pembangunan infrastruktur listrik melalui proyek pembangunan Sistem Udara Tegangan Tinggi (SUTT) menghadapi banyak tantangan pada pelaksanaannya. Topografi jalur pembangunan SUTT sering kali melalui daerah-daerah perbukitan dengan lereng terjal dan berpotensi terjadi kelongsoran [1], [2]. Kegagalan pada lereng dan menyebabkan tanah longsor berdampak bahaya yang dapat menyebabkan cedera, kematian, degradasi lingkungan dan kerusakan infrastruktur [3]. Salah satu penyebab tanah longsor adalah pembebanan yang terjadi pada puncak lereng atau penggalian lereng yang mengakibatkan lereng menjadi tidak stabil [4].

Ketidak stabilang lereng disebabkan beberapa faktor litologi dan struktur, geometri lereng, relief relatif, kondisi air tanah, serta perubahan penggunaan dan tutupan lahan. Pada daerah pegunungan, pembangunan dan perluasan jaringan infrastruktur dapat secara tidak sengaja menyebabkan kondisi pergeseran lereng alami, sehingga berdampak negatif terhadap stabilitas lereng yang digali [5]. Analisis geoteknik tanah sangat penting dilakukan

untuk memahami dan memprediksi keamanan dan stabilitas lereng. Berbagai metode diusulkan untuk menentukan keamanan lereng terhadap keruntuhan, salah satunya dengan metode numerik.

Menganalisis sifat geoteknik tanah dan batuan sangat penting untuk memahami dan memperkirakan kemungkinan terjadinya tanah longsor di lokasi tertentu. Berbagai teknik telah diusulkan untuk menentukan kerentanan lereng terhadap keruntuhan, termasuk pemetaan geomorfologi, analisis statistik, dan metode numerik. Karakterisasi tanah sangat penting untuk analisis stabilitas lereng di zona bahaya tanah longsor. Hal ini dapat mencakup identifikasi struktur tanah yang mendasari, sifat tanah, dan faktor lingkungan yang berkontribusi terhadap ketidakstabilan lereng. Parameter tanah geoteknik yang mempengaruhi stabilitas lereng meliputi komposisi tanah, kedalaman, ketahanan geser, porositas, permeabilitas, ukuran butir, kadar air, dan kandungan bahan organik [6].

Pembangunan T/L 150 KV GI Kambang – GI Tapan, Tower TW. 203 berada pada daerah perbukitan dengan konstruksi struktur tower berada pada puncak lereng. Gambar 1 disajikan konstruksi pondasi dan struktur tower yang berada di tepi puncak lereng. Berdasarkan kondisi ini, diperlukan studi komprehensif guna menganalisis stabilitas lereng alami akibat adanya beban tower. Selain itu data geoteknik yang dapat dilakukan adalah Sondir atau *Cone Penetrometer Test* (CPT) di lokasi tower. Analisis geoteknik diperlukan dalam melakukan analisis stabilitas lereng yang dibantu menggunakan *software GEO5*.

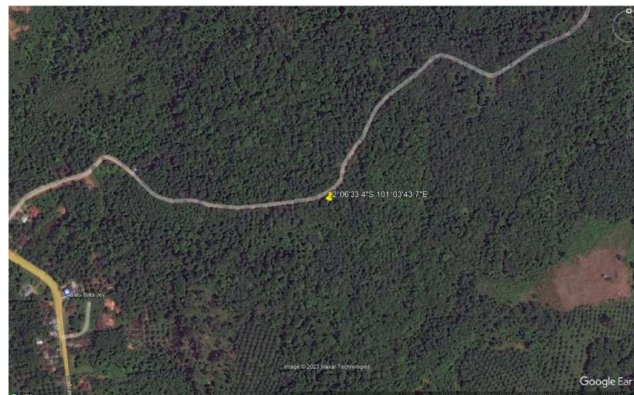


Gambar 1. Lokasi Tower TW. 203, GI Kambang – GI Tapan

2. METODE

Area Analisis

Lokasi tower yang akan dilakukan analisis adalah Tower TW.203 berada di Desa Bukit Buai Tapan, Kecamatan Basa Ampek Balai Tapan, Kabupaten Pesisir Selatan. lokasi tower TW. 203 berpotensi longsor karena jarak jurang tebing ke tower sekitar 1.4 m dengan status waspada. Koordinat tower berada pada $2^{\circ}06'33.4''S$ dan $101^{\circ}03'43.7''E$ disajikan pada Gambar 2.

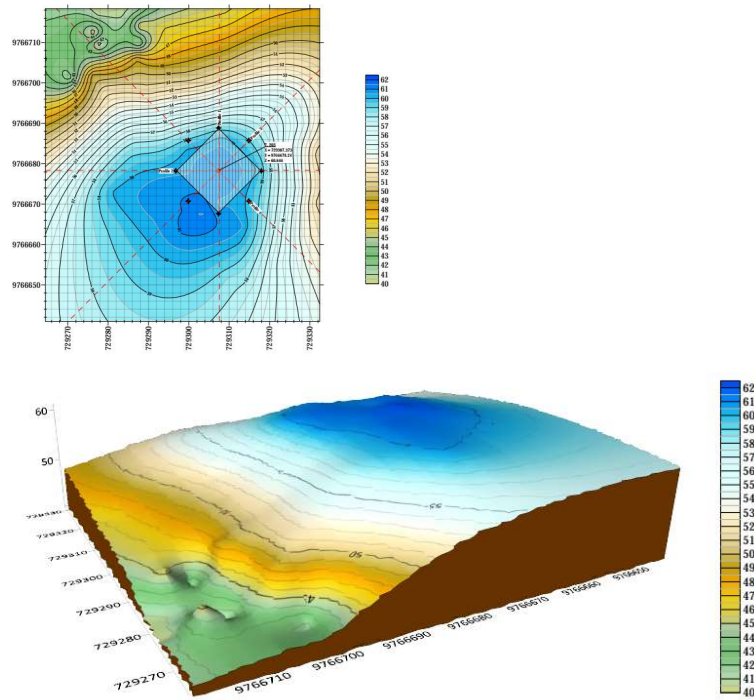


Gambar 2. Koordinat lokasi Tower TW. 203

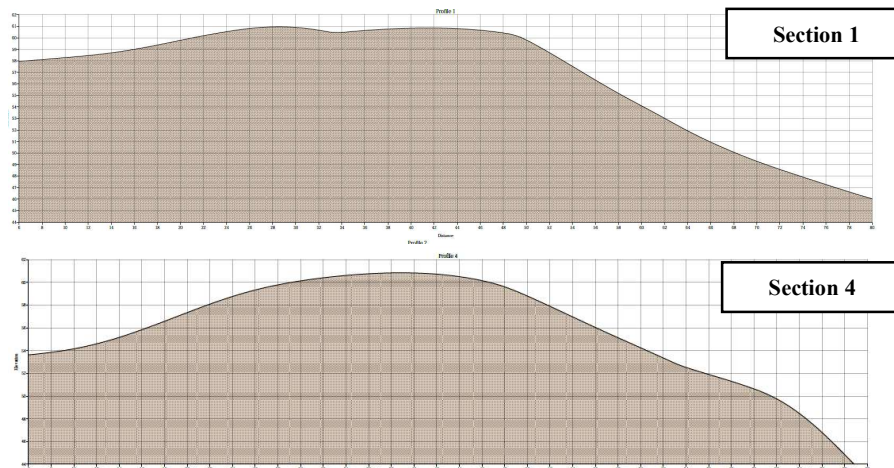
Konsep Geometris

Data yang digunakan dalam pemodelan elevasi didasarkan pada koordinat hasil pengukuran. Data kontur 2D dan 3D disajikan pada Gambar 3. Untuk analisis stabilitas lereng ditentukan menggunakan profil kemiringan yang

paling curam (kritis), yaitu *section profile 1* dan *section profile 4*. Kondisi ini dipilih karena berpotensi atau rentan terhadap longsor atau kegagalan lereng, sehingga analisis stabilitas difokuskan pada area ini untuk memastikan keamanan dan keandalan struktur atau area tersebut. Gambar 4 menyajikan *section profile* lereng 1 dan 4.



Gambar 3. Kontur 2D dan 3D



Gambar 4. *Section profile 1* dan 4 Tower TW. 203

Pemodelan dan Konsep Geoteknik

Faktor keamanan setiap *section profil* dievaluasi dengan interpolasi dari database yang telah ditetapkan berdasarkan model geoteknik menggunakan di GEO5. Penyelidikan tanah yang dilakukan, sebanyak dua titik sondir di Tower TW.203 untuk kebutuhan analisa lereng, yaitu titik Sondir A dan Titik Sondir B (Gambar 5). Parameter desain pada analisis didasarkan pada hasil penyelidikan tanah yang dilakukan dengan pengujian Sondir. Parameter desain diantaranya adalah:

- a. Penentuan Jenis Tanah: didasarkan pada hubungan tahanan konus dan rasio gesekan yang di rekomendasikan oleh Robertson dan Campanella, 1983 [7].

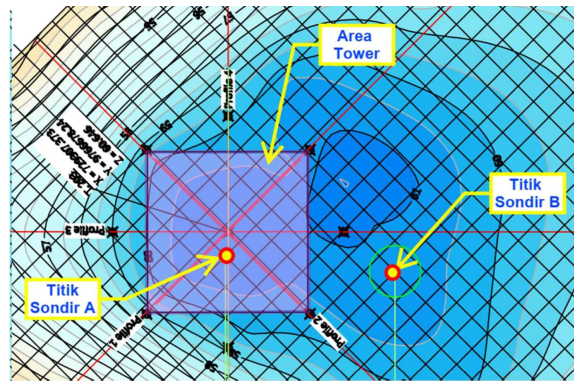
- b. Penentuan Parameter c' dan ϕ' (Drained): Korelasi q_c dengan sudut geser (ϕ') oleh Mayerhof, 1956 [8] dan korelasi q_c dengan kohesi efektif (c') tanah lempung menggunakan parameter yang ditentukan oleh software GEO5.
- c. Penentuan Parameter C_u dan ϕ (Undrained): pPenentuan parameter C_u menggunakan Persamaan 1 dan parameter ϕ berdasarkan Tabel 1.

$$C_u = \frac{q_c \sigma_v}{N_{kt}} \quad (1)$$

dimana,

- q_c tahanan konus
- σ_v tegangan efektif
- N_{kt} factor konus (10 – 18)

- d. Penentuan indeks properties tanah: properties tanah digunakan pendekatan menggunakan nilai tipikal berat volume kering & berat volume jenuh berdasarkan AS 4678-2002 dan Nilai-nilai tipikal n , e , w dan γ untuk tanah asli oleh Terzaghi, K, 1943 [9].



Gambar 5. Lokasi penyelidikan tanah Tower TW. 203

Tabel 1. Hubungan jenis tanah dan sudut geser dalam direkomendasikan oleh Braja M. Das [9]

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35° – 40°
Kerikil Kerakal	35° – 40°
Pasir Padat	35° – 40°
Pasir Lepas	30°
Lempung Kelanauan	25° – 30°
Lempung	20° – 25°

Pembebanan

Beban lereng yang akan digunakan terdiri dari dua jenis beban, yaitu beban tower dan tambahan beban Gempa. Beban Tower TW.203 masuk dalam tipe Tower BB2+9 yang berasal dari beban reaksi pemodelan struktur tower. Koefisien gempa diperoleh berdasarkan Peta Zonasi Gempa di Indonesia dengan perhitungan koefisien gempa, $kh = F_{pga} \times PGA \times 0.5$. Berdasarkan nilai q_c Sondir A dan B, kondisi lapisan tanah Tower TW.203 masuk dalam kelas situs Tanah sedang (SE) dengan nilai $S_s = \leq 0,25$ Maka didapatkan nilai $F_{pga} = 2,5$ dan nilai $PGA = 0.16$ Sehingga didapatkan nilai $kh = 0.2$.

Kriteria Angka Keamanan (FK)

Analisis dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya Bishop, Fellenius, Spencer, Janbu dan Morgenstern-Price. Kondisi lereng dianalisis berdasarkan beberapa parameter, sebagai berikut:

- a. Kondisi Lereng Alami (udrained dan drained)
- b. Kondisi Lereng dengan beban Tower (udrained dan drained)
- c. Kondisi Lereng dengan Beban Tower dan beban Gempa (udrained)
- d. Kondisi lereng dengan Beban Tower dan beban Gempa yang di berikan perkuatan (udrained)

Kriteria angka keamanan yang disyaratkan mengacu ke SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, disajikan pada Tabel 2.

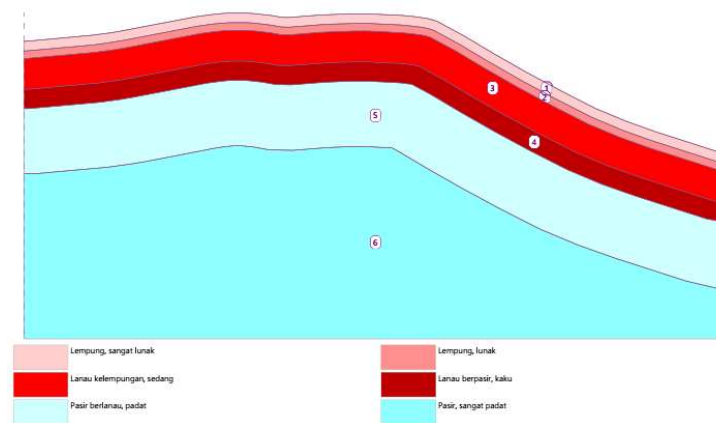
Tabel 2. Kriteria Angka Keamanan [10]

Analisis	Angka Kemanan (min.)
Short Term (During construction), <i>Undrained</i>	1.25
Long Term (Operational), <i>Drained</i>	1.5
Immediate Post-earthquake, <i>Undrained</i>	1.1

3. HASIL PEMBAHASAN

Analisis Slope Section Profile 1

Pemodelan material tanah pada simulasi numerik menggunakan Mohr-Coulumb Material Model. Penentuan parameter tanah dan parameter material perlu dilakukan analisis data, berdasarkan hasil pengujian lapangan berupa sondir. Kondisi yang digunakan adalah Undrained dan Drained. Analisis stabilitas lereng ini menggunakan metode Keseimbangan batas dengan bantuan software Geo5-Slope stability analysis. Gambar 6 merupakan pemodelan lapisan tanah pada program Geo5. Adapaun lapisan tanah 1 adalah lempung dengan konsistensi sangat lunak, tanah 2 adalah lempung lunak, tanah 3 adalah lanau kelempungan konsistensi sedang, tanah 3 adalah lanau berpasir, kaku, tanah 5 adalah pasir berlanau, padat, tanah 6 adalah pasir sangat padat.

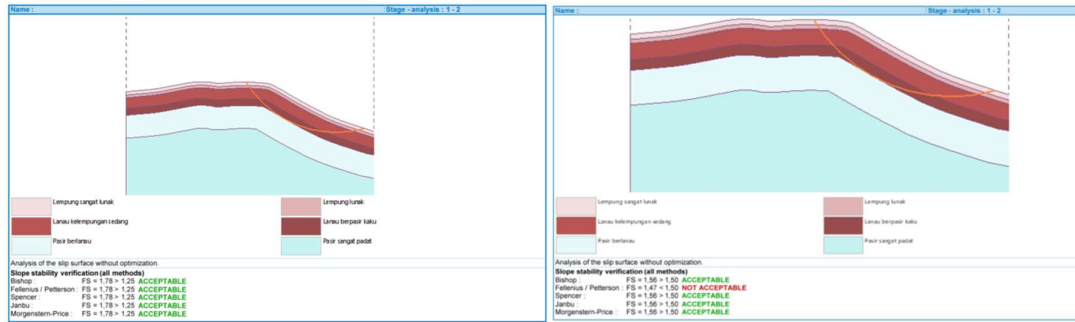


Gambar 6. Section profile 1 TW 203 pada Geo5

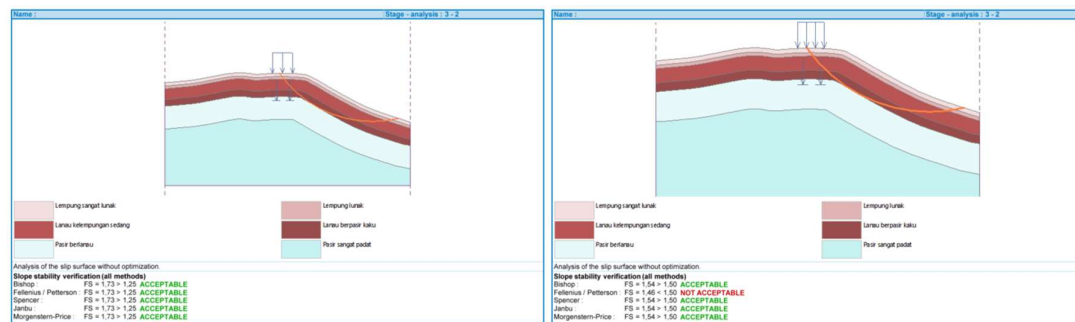
Hasil analisis stabilitas lereng pada *section profile 1* disajikan Tabel 3. Analisis lereng alami kondisi *Short-Term* dan *Long-Term* pada semua metode menunjukkan angka aman lebih dari nilai yang disyaratkan, kecuali pada metode Fellenius kondisi *Long-Term*. Analisis lereng dengan pembebanan tower dan pondasi borepile pada semua kondisi (*Short-Term* dan *Long-Term*) memenuhi angka keamanan minimum yang disyaratkan, kecuali pada metode Fellenius kondisi *Long-Term*. Angka keamanan yang lebih kecil pada metode Fellenius dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya kemiringan lereng, kohesi dan nilai sudut dalam tanah [11]. Pada kondisi gempa (*Earth-quake*) lereng dengan beban tower dan pondasi borepile menunjukkan nilai keamanan yang disyaratkan. Analisis *slip surface Section Profile 1* disajikan pada Gambar 7, 8, 9 dan 10.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil Pemodelan dan Analisis *Section Profile 1*

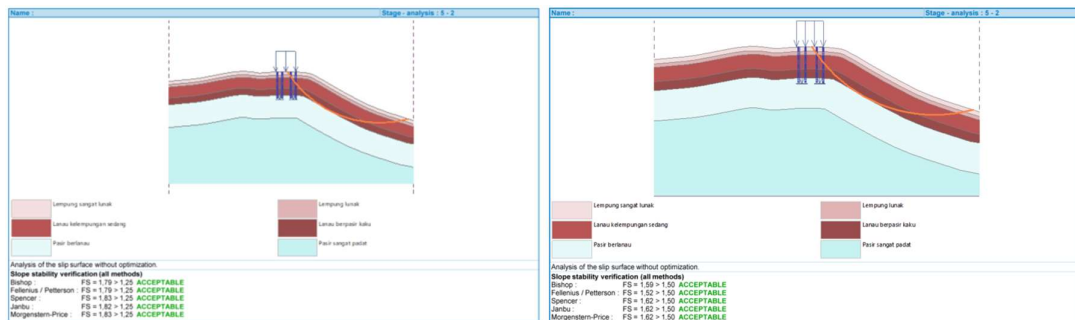
No	Tipe Pemodelan	Kondisi	Metode					Batasan angka aman	Keterangan
			Bishop	Fellenius	Spencer	Janbu	Morgenstern-Price		
1	Lereng Alami	<i>Short-Term</i>	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,25	Aman
		<i>Long-Term</i>	1,56	1,47	1,56	1,56	1,56	1,5	Aman
2	Lereng Alami dengan beban Tower	<i>Short-Term</i>	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,25	Aman
		<i>Long-Term</i>	1,53	1,46	1,54	1,54	1,54	1,5	Aman
3	Lereng Alami dengan beban Tower dengan borepile	<i>Short-Term</i>	1,79	1,79	1,83	1,82	1,83	1,25	Aman
		<i>Long-Term</i>	1,56	1,52	1,62	1,62	1,62	1,5	Aman
4	Lereng Alami dengan beban Tower dan Beban Gempa	<i>Earth-quake</i>	1,20	1,15	1,14	1,12	1,12	1,1	Aman
5	Lereng Alami dengan beban Tower dengan borepile dan Beban Gempa	<i>Earth-quake</i>	1,23	1,18	1,19	1,16	1,17	1,1	Aman



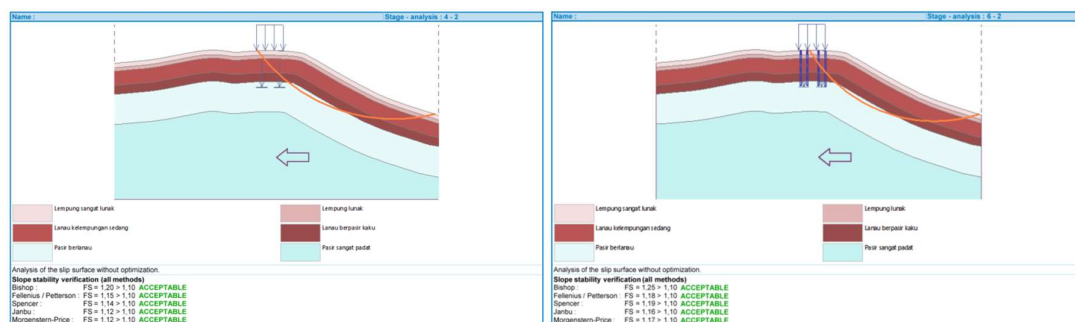
Gambar 7. Profile 1 All Method Short-Term (FK >1,25) dan Long-Term Lereng Alami (FK >1,50)



Gambar 8. Profile 1 All Method Short-Term (FK >1,25) dan Long-Term Lereng Alami dengan Beban Tower (FK >1.50)



Gambar 9. Profile 1 All Method Short-Term (FK >1,25) dan Long-Term Lereng Alami dengan Beban Tower+Pile (FK >1.50)

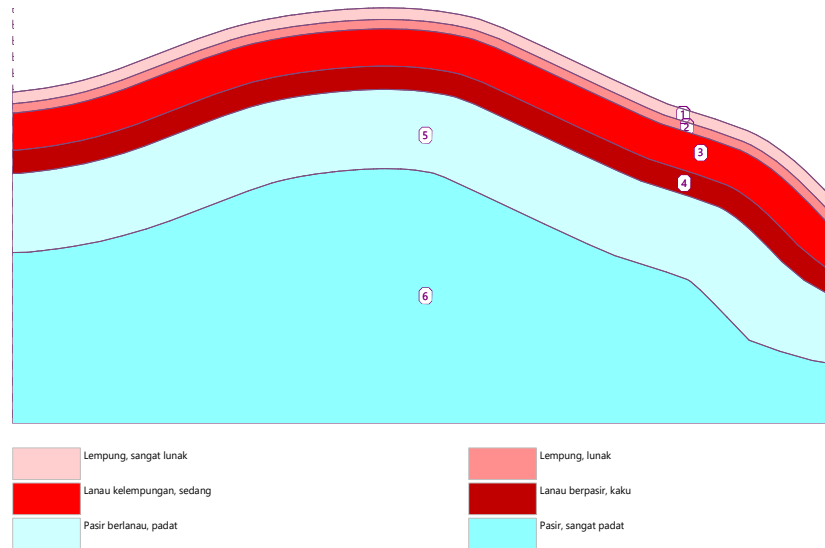


Gambar 10. Profile 1 All Method Short-Term (FK > 1.10) dan Long-Term Lereng Alami dengan Beban Tower+Pile dan Beban Gempa (FK >1.10)

Analisis Slope Section Profile 4

Gambar 11 merupakan pemodelan lapisan tanah pada program Geo5. Adapun lapisan tanah 1 adalah lempung dengan konsistensi sangat lunak, tanah 2 adalah lempung lunak, tanah 3 adalah lanau kelempungan konsistensi

sedang, tanah 3 adalah lanau berpasir dengan konsistensi kaku, tanah 5 adalah pasir padat, tanah 6 adalah pasir sangat padat.

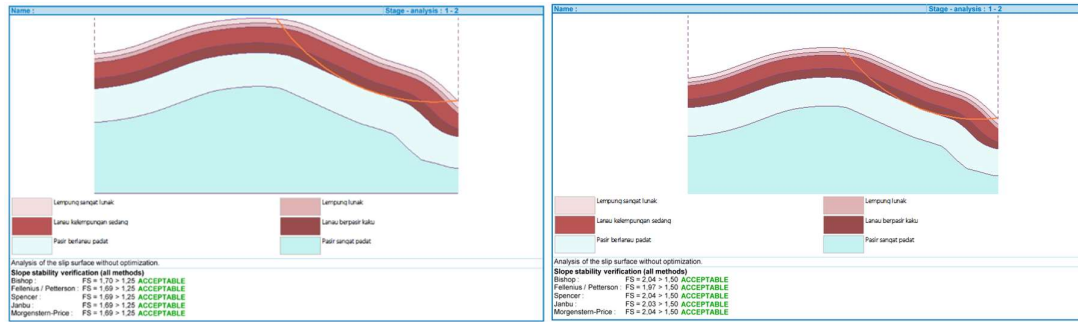


Gambar 11. Section profile 4 TW 203 pada Geo5

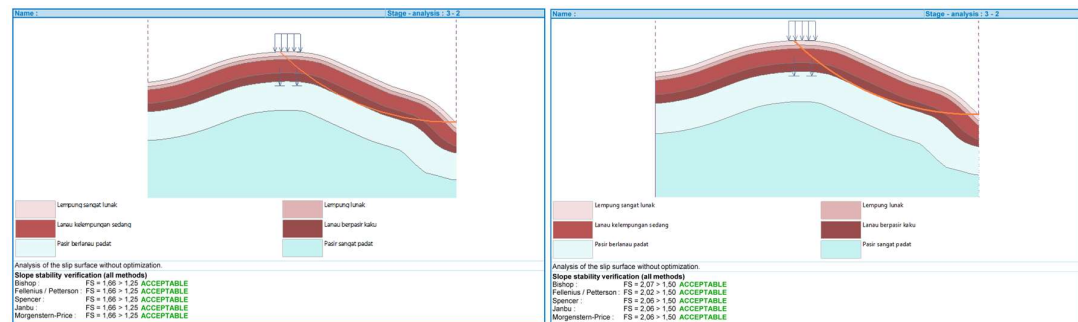
Hasil analisis stabilitas lereng pada *section profile 4* disajikan Tabel 4. Analisis lereng alami kondisi *Short-Term* dan *Long-Term* pada semua metode menunjukkan angka aman lebih dari nilai yang disyaratkan. Analisis lereng dengan pembebanan tower dan pondasi borepile pada semua kondisi (*Short-Term* dan *Long-Term*) memenuhi angka kemandirian minimum yang disyaratkan. Pada kondisi gempa (*Earth-quake*) lereng dengan beban tower dan pondasi borepile menunjukkan nilai keamanan yang disyaratkan. Analisis *slip surface Section Profile 1* disajikan pada Gambar 12, 13, 14 dan 15.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil Pemodelan dan Analisis *Section Profile 4*

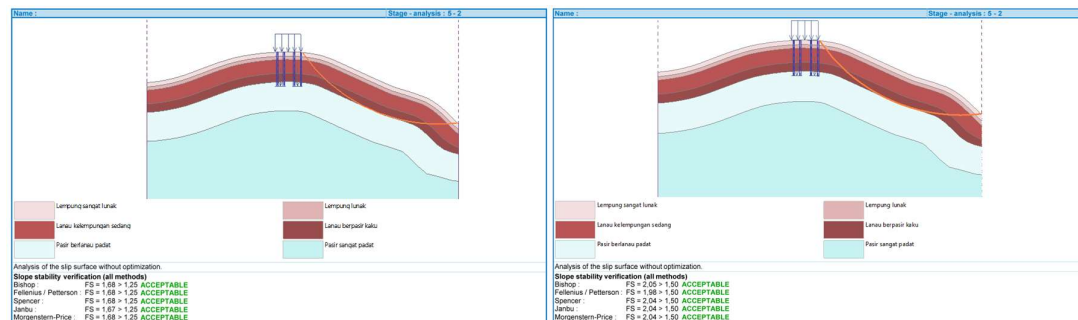
No	Tipe Pemodelan	Kondisi	Metode					Batasan angka aman	Keterangan
			Bishop	Fellenius	Spencer	Janbu	Morgenstern-Price		
1	Lereng Alami	<i>Short-Term</i>	1,7	1,69	1,69	1,69	1,69	1,25	Aman
		<i>Long -Term</i>	1,54	1,97	2,104	2,03	2,04	1,5	Aman
2	Lereng Alami dengan beban Tower	<i>Short -Term</i>	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,25	Aman
		<i>Long -Term</i>	1,54	2,02	2,06	2,06	2,06	1,5	Aman
3	Lereng Alami dengan beban Tower dengan borepile	<i>Short -Term</i>	1,68	1,68	1,68	1,67	1,68	1,25	Aman
		<i>Long -Term</i>	1,54	1,98	2,04	2,04	2,04	1,5	Aman
4	Lereng Alami dengan beban Tower dan Beban Gempa	<i>Earth-quake</i>	1,13	1,25	1,25	1,26	1,25	1,1	Aman
5	Lereng Alami dengan beban Tower dengan borepile dan Beban Gempa	<i>Earth-quake</i>	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,1	Aman



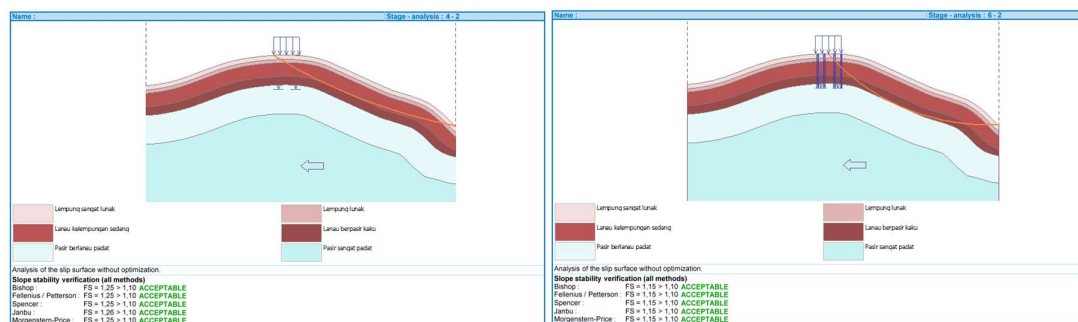
Gambar 12. Profile 4 All Method Short-Term (FK >1,25) dan Long-Term Lereng Alami (FK >1,50)



Gambar 13. Profile 4 All Method Short-Term (FK >1,25) dan Long-Term Lereng Alami Dengan Beban Tower (FK >1,50)



Gambar 14. Profile 4 All Method Short-Term (FK >1,25) dan Long-Term Lereng Alami Dengan Beban Tower+Pile (FK >1,50)



Gambar 15. Profile 4 All Method Short-Term (FK >1,10) dan Long-Term Lereng Alami Dengan Beban Tower+Pile, Dengan Beban Gempa (FK >1,1)

4. KESIMPULAN

Analisis stabilitas lereng (Section Profile 1 dan 4) mencoba berbagai kemungkinan yang terjadi. Beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

- a. Metode Bishop, Spencer, Janbu dan Morgenstern-Price pada lereng alami, beban tower, Alami Dengan Beban Tower+Pile, Lereng Alami Dengan Beban Tower+Pile, Beban Gempa menghasilkan keadaan aman terhadap kegagalan di kondisi *Short-Term (Construction)* maupun *Long-Term (Operational)*.
- b. Analisis metode Fellenius pada lereng alami dan beban tower kondisi *Short-Term (Construction)* maupun *Long-Term (Operational)* menunjukkan kondisi tidak aman. Dengan nilai faktor keamanan dibawah nilai yang disyaratkan.
- c. Faktor keamanan yang dihasilkan dari Metode Bishop, Spencer, Janbu dan Morgenstern-Price tidak menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. F. Robbani, S. H. Puna, W. A. Lestariningsih, and C. E. Larasati, "Analisis Perbedaan Karakteristik Geomorfologi: Studi Kasus Pesisir Ampenan, Kota Mataram dan Desa Sekotong Barat, Lombok Barat," *Geomedia Maj. Ilm. dan Inf. Kegeografian*, vol. 22, no. 1, 2024.
- [2] A. Saepudim, "Analisis geoteknik menggunakan metode geological strength index untuk kestabilan lereng penambangan PT Gunung Bumi Perkasa Sukabumi." Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- [3] A. Wubalem and M. Meten, "Landslide susceptibility mapping using information value and logistic regression models in Goncha Siso Eneses area, northwestern Ethiopia," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 5, p. 807, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2563-0.
- [4] X. Xu, Y. Huang, Y. Xing, and Z. Guo, "Investigation of rainfall-induced toe-cut slope failure mechanisms in the southeastern coastal area of China," *Nat. Hazards*, vol. 110, Feb. 2022, doi: 10.1007/s11069-021-05011-1.
- [5] M. Shinoda, Y. Miyata, U. Kurokawa, and K. Kondo, "Regional landslide susceptibility following the 2016 Kumamoto earthquake using back-calculated geomaterial strength parameters," *Landslides*, vol. 16, no. 8, pp. 1497–1516, 2019, doi: 10.1007/s10346-019-01171-1.
- [6] S. T. D. and H. Manzoor, "Shear Strength in Preexisting Landslides," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 136, no. 7, pp. 957–962, Jul. 2010, doi: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000308.
- [7] P. Robertson, "Interpretation of cone penetration tests - A unified approach," *Can. Geotech. J.*, vol. 46, pp. 1337–1355, Nov. 2009, doi: 10.1139/T09-065.
- [8] G. G. Meyerhof, "Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils," *J. Soil Mech. Found. Div.*, vol. 82, no. 1, pp. 861–866, 1956.
- [9] B. M. Das, *Geotechnical engineering handbook*. J. Ross publishing, 2011.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 8460: 2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik," *Standar Nas. Indones.*, pp. 1–323.
- [11] E. Aprianti, H. Pujiastuti, I. Isfanari, and E. Rahmawati, "Faktor Keamanan Lereng Jalan Raya Pusuk Kecamatan Pemenang Kabupaten Lombok Utara Menggunakan Metode Fellenius Dan Bishop," *Spektrum Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 55–62, 2021, doi: <https://doi.org/10.29303/spektrum.v8i1.201>.