

Analisis Stabilitas Lereng Tambang Nikel Kabupaten Morowali

S. Ramadhani^{a*}, A. Minmahddun^b, I.M. Patuti^c dan M. Widiastuti^d

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu, Indonesia 94112

^bJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia, 93232

^cJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia 96138

^dJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia, 75242

*Corresponding author's e-mail: sriyatiramadhani@gmail.com

Received: 9 January 2024; revised: 8 February 2024; accepted: 13 February 2024

Abstract: Central Sulawesi Province is a province that has quite high mining activities, so an evaluation of the stability of open pit slope excavations needs to be carried out to prevent collapses during the exploration process which could result in loss of life. Analysis using the finite element method is one method that can be used to analyze slope deformation and stability during the excavation process. This research simulates excavation of a mine slope in 4 stages with a height of 5 m and a slope of 500. The analysis was carried out based on the results of the N-SPT test at three locations (GT-15617, GT-19125 and GT-19841) which are the slopes with the most extreme slopes. The analysis results show that at GT-15617 the maximum deformation occurred at stage 4 of the excavation at 0.18 m with a safety factor of 1.43, the maximum deformation at the GT-19125 location occurred at stage 4 at 0.21 m with a safety factor of 1.26 and at location GT-19841 maximum deformation occurred at stage 4 of 0.21 with a safety factor of 1.21. The overall safety factor analysis results do not meet the required minimum safety factor criteria.

Keywords: *slope stability, nickel mine, morowali regency, finite element method*

Abstrak: Provinsi Sulawesi Tengah merupakan Provinsi yang memiliki kegiatan pertambangan yang cukup tinggi, sehingga evaluasi terhadap stabilitas galian lereng tambang terbuka perlu untuk dilakukan untuk mencegah terjadinya keruntuhan saat proses eksplorasi yang dapat menelan korban jiwa. Analisis dengan metode elemen hingga merupakan salah satu metode yang dapat dilakukan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas lereng selama proses penggalian. Penelitian ini mensimulasikan penggalian lereng tambang dalam 4 tahap dengan tinggi 5 m serta kemiringan 500. Analisis dilakukan berdasarkan hasil pengujian N-SPT pada tiga lokasi (GT-15617, GT-19125 dan GT-19841) yang merupakan lereng dengan kemiringan paling ekstrem. Hasil analisis menunjukkan pada GT-15617 deformasi maksimum terjadi pada penggalian tahap 4 sebesar 0,18 m dengan faktor aman 1,43, deformasi maksimum pada lokasi GT-19125 terjadi pada tahap 4 sebesar 0,21 m dengan faktor aman 1,26 dan pada lokasi GT-19841 deformasi maksimum terjadi pada tahap 4 sebesar 0,21 dengan faktor aman sebesar 1,21. Keseluruhan faktor aman hasil analisis belum memenuhi kriteria faktor aman minimum yang diprasyaratkan.

Kata kunci: *stabilitas lereng, tambang nikel, kabupaten morowali, metode elemen hingga*

1. Pendahuluan

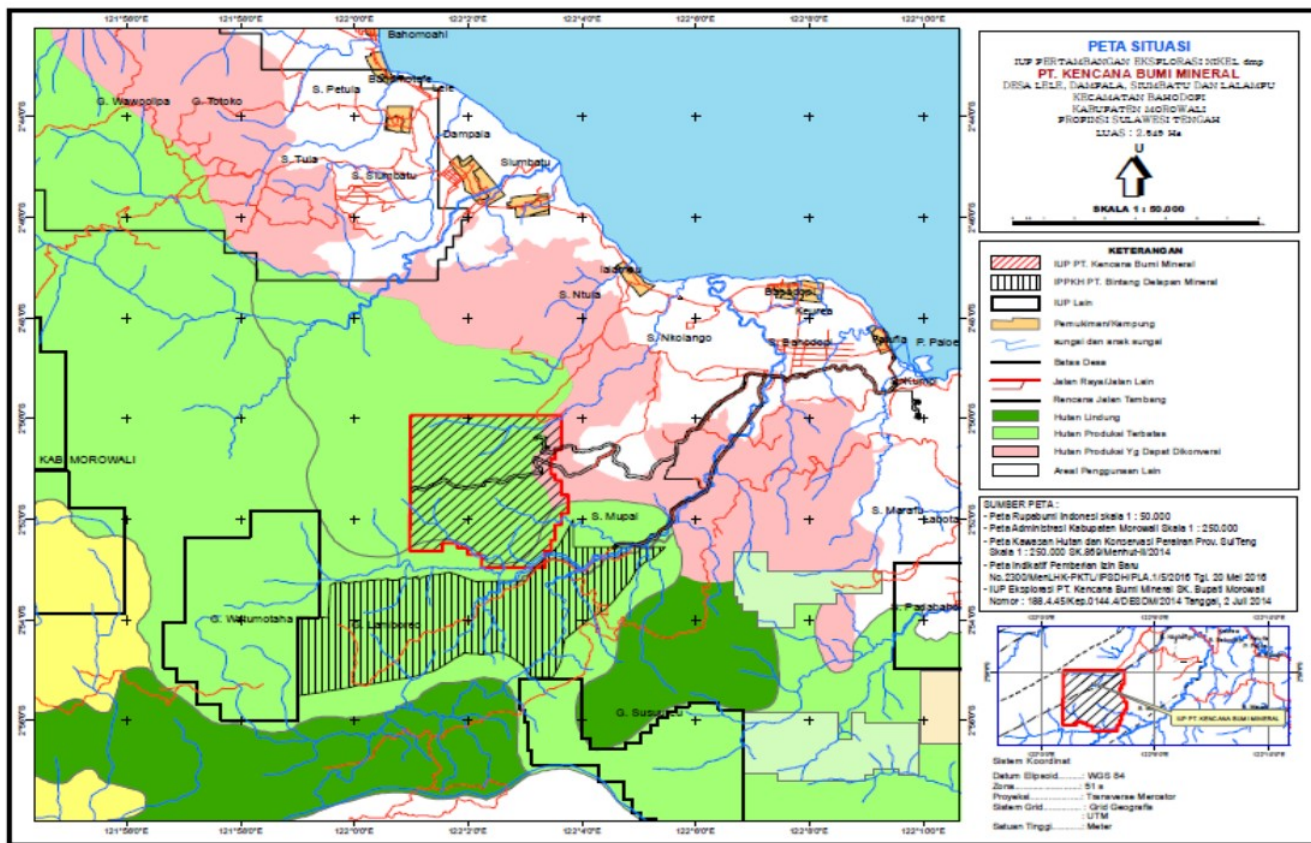
Negara Indonesia masuk dalam kawasan cincin api pasifik (*ring of fire*), sehingga sangat rentan terhadap bahaya bencana gempa bumi. Namun, selain memberikan dampak negatif, posisi Indonesia tersebut berpotensi menghasilkan mineralisasi bijih yang mengandung logam dasar dan logam mulia di beberapa lokasi karena terdapat pada jalur magmatisme aktif. Hal ini terlihat banyaknya kawasan pertambangan yang tersebar hampir diseluruh pulau yang ada di Indonesia [1].

Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah adalah salah satu Kabupaten di Indonesia yang terkenal memiliki banyak kawasan pertambangan diantaranya yang terdapat di Desa Bahodopi, Desa Lalampu dan Desa Siumbatu (*Gambar 1*) dengan luas wilayah sebesar 2,594 Ha. Bijih nikel adalah komoditi tambang pada lokasi ini

dengan menggunakan metode penambangan galian terbuka [2], [3].

Kegiatan penambangan bijih nikel dengan metode galian terbuka identik dengan pemotongan lereng sehingga menyebabkan terjadinya perubahan gaya-gaya pada lereng yang mengganggu kestabilan lereng [4]. Ketidakstabilan lereng selama proses penggalian dapat mengganggu kelancaran produksi, merusak bangunan sekitarnya bahkan dapat menelan korban jiwa.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng rencana galian tambang. Analisis dilakukan untuk mengetahui faktor aman lereng ketika proses penggalian berlangsung. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga 2D (*plane strain*) dengan kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*.



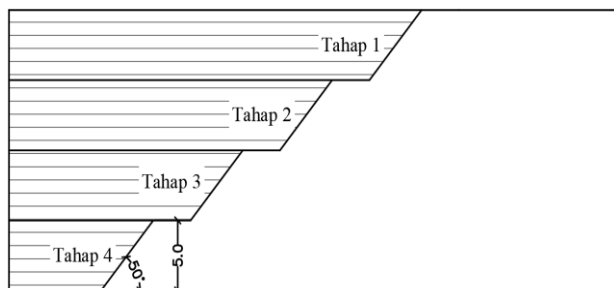
Gambar 1. Peta lokasi penambangan bijih nikel Kabupaten Morowali, Provinsi Sulawesi Tengah

2. Metode Penelitian

2.1. Pemodelan Geometri Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan pada 3 (tiga) lokasi rencana penggalian. Penelitian ini akan mensimulasikan tahapan penggalian lereng, sehingga topografi permukaan lereng tidak akan dimodelkan. Penggalian akan dilakukan ke dalam empat tahap (Gambar 2) dengan uraian sebagai berikut:

- 1) Tahap 1: kedalaman galian = 5 m; kemiringan = 50°
- 2) Tahap 2: kedalaman galian = 5 m; kemiringan = 50°
- 3) Tahap 3: kedalaman galian = 5 m; kemiringan = 50°
- 4) Tahap 4: kedalaman galian = 5 m; kemiringan = 50°



Gambar 2. Rencana tahapan penggalian

Untuk mengetahui stratigrafi tanah pada masing-masing lokasi dilakukan pengujian tanah sebanyak 2 (dua) titik berupa pengujian bor dalam (*deep boring*) dengan pengujian N-SPT. Data N-SPT yang digunakan

adalah data terjelek pada masing-masing sayatan untuk memperoleh hasil yang lebih hati-hati.

2.2. Analisis Elemen Hingga

Penelitian ini menganalisis deformasi dan faktor aman lereng selama proses penggalian dengan idealisasi *plane strain*, yaitu regangan pada bidang arah tegak lurus bidang gambar adalah nol. Analisis deformasi dengan metode elemen hingga dilakukan dengan membagi elemen sistem menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dengan grid lines yang saling berpotongan di titik-titik nodal atau biasa dikenal dengan istilah proses meshing. Solusi *nodal displacement* dari struktur yang belum diketahui diperoleh dengan memperhitungkan kondisi batas terlebih dahulu. Terdapat 2 (dua) tipe *boundary condition* yang biasa digunakan dalam analisis elemen hingga di bidang geoteknik yaitu sendi yang tidak memungkinkan perpindahan pada arah vertikal dan lateral serta rol yang memungkinkan pergerakan pada arah lateral. Selanjutnya, berdasarkan *nodal displacement* tersebut, besarnya tegangan, regangan maupun gaya-gaya dalam untuk setiap elemen dapat diketahui [5].

Dalam menentukan faktor aman, metode elemen hingga menggunakan konsep *Shear Strength Reduction* (SSR), yaitu dengan mereduksi kekuatan geser tanah secara bertahap hingga keruntuhan terjadi di mana faktor aman didefinisikan sebagai rasio dari kuat geser tanah

yang sebenarnya dengan kuat geser saat keruntuhan terjadi [6], [7].

Dalam analisis elemen hingga, hal penting lainnya adalah penentuan model konstitutif untuk penentuan parameter tanah. Model konstitutif adalah model yang menghubungkan tegangan dan regangan tanah. Pada penelitian ini, model konstitutif yang digunakan adalah *Model Linear Elastoplastic* atau biasa disebut *Mohr-Coulomb Model* (MCM). Model ini memodelkan regangan material akan meningkat secara linear terhadap tegangan hingga pada batas tegangan maksimum (regangan yang terjadi adalah regangan runtuh). Setelah regangan runtuh terjadi, besar tegangan konstan sebesar tegangan maksimumnya [8]. Dibutuhkan 5 (lima) parameter tanah dalam analisis dengan MCM yaitu berat volume tanah (γ), kohesi (c), sudut gesek internal (ϕ), modulus elastisitas (E) dan poisson ratio (μ) yang dalam penelitian ini menggunakan korelasi yang diusulkan oleh [9], [10], [11]. Metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga [12].

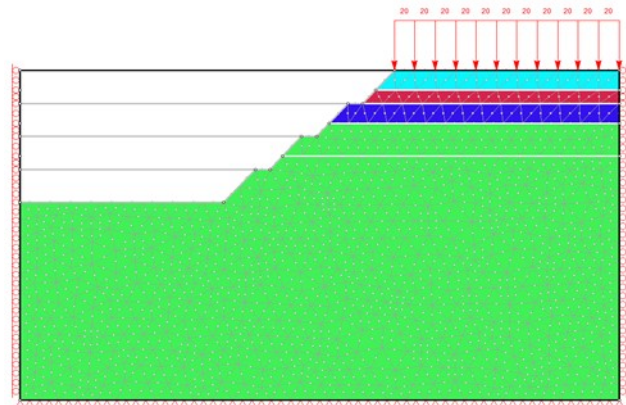
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Model 2D Lereng (Plane Strain)

Seperti disebutkan sebelumnya bahwa penelitian ini menggunakan idealisasi *plane strain* untuk memodelkan lereng [13], [14], [15]. Input parameter tanah yang diperlukan dalam analisis terdapat pada Tabel 1. Jenis elemen yang digunakan pada model adalah elemen segitiga dengan 6 node dan *boundary condition* yang diterapkan pada model adalah rol pada sisi kiri dan kanan model serta sandi pada bagian bawah model. Hasil *meshing* dan pemberian *boundary condition* dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Input parameter material yang digunakan dalam analisis berdasarkan hasil korelasi data N-SPT

Parameter	GT-19125			
Kedalaman (m)	3	5	8	13
N-SPT	7	15	19	50
Unit Weight (kN/m ³)	16	17	17	18
c (kN/m ²)	10	20	40	60
ϕ (°)	15	18	6	23
Young's Modulus (kPa)	4000	6000	7500	35000
Poisson's Ratio	0.3	0.3	0.3	0.3
Parameter	GT-19841			
Kedalaman (m)	4	7	9	
N-SPT	9	13	50	
Unit Weight (kN/m ³)	16	17	17	
c (kN/m ²)	10	10	10	
ϕ (°)	13	28	30	
Young's Modulus (kPa)	4000	15000	35000	
Poisson's Ratio	0.3	0.3	0.3	
Parameter	GT-15617			
Kedalaman (m)	3	8	12	13
N-SPT	4	9	21	50
Unit Weight (kN/m ³)	16	17	17	18
c (kN/m ²)	10	20	10	20
ϕ (°)	10	15	28	30
Young's Modulus (kPa)	3000	4000	15000	30000
Poisson's Ratio	0.3	0.3	0.3	0.3



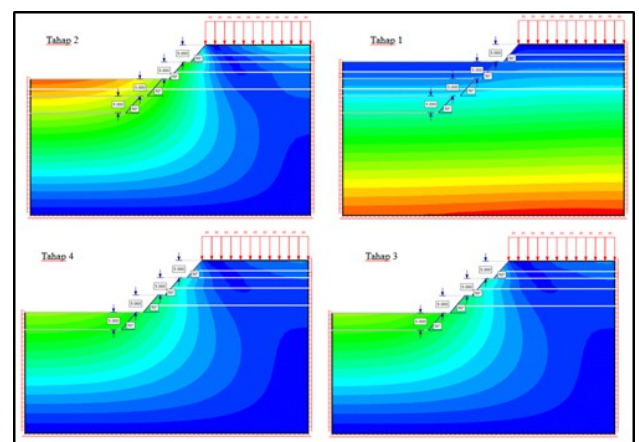
Gambar 3. Hasil *meshing* dan pemberian *boundary condition*

3.2. Analisis Defromasi

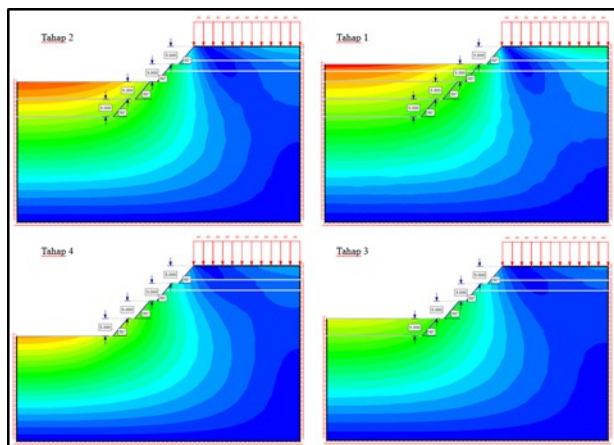
Deformasi lereng selama penggalian ditinjau pada 3 (tiga) titik yaitu sisi atas, tengah dan dasar lereng [16], [17], [18]. Rangkuman hasil analisis deformasi lereng terdapat pada Tabel 2 dan kontur deformasi lereng masing-masing lokasi secara berturut-turut terdapat pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.

Tabel 2. Rangkuman hasil analisis deformasi lereng

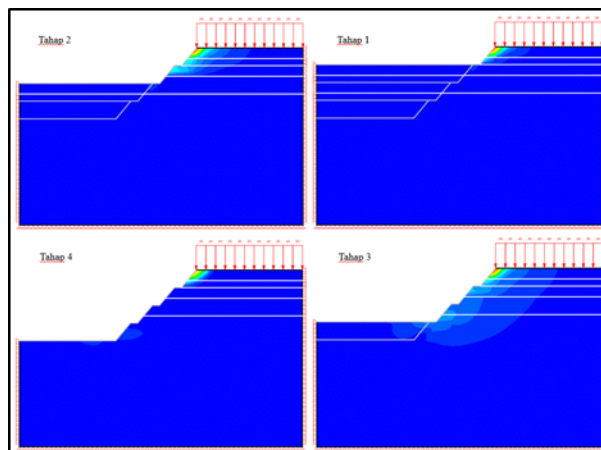
Lokasi	Titik Tinjauan Pada Lereng	Total Displacement (m)			
		Lap. 1	Lap. 2	Lap. 3	Lap. 4
GT-19125	Kaki	0.045	0.090	0.150	0.195
	Tengah	0.045	0.090	0.150	0.210
	Puncak	0.015	0.090	0.150	0.210
GT-19841	Kaki	0.083	0.140	0.150	0.195
	Tengah	0.075	0.124	0.150	0.210
	Puncak	0.015	0.142	0.150	0.210
GT-15617	Kaki	0.055	0.088	0.135	0.180
	Tengah	0.044	0.088	0.135	0.180
	Puncak	0.011	0.096	0.135	0.180



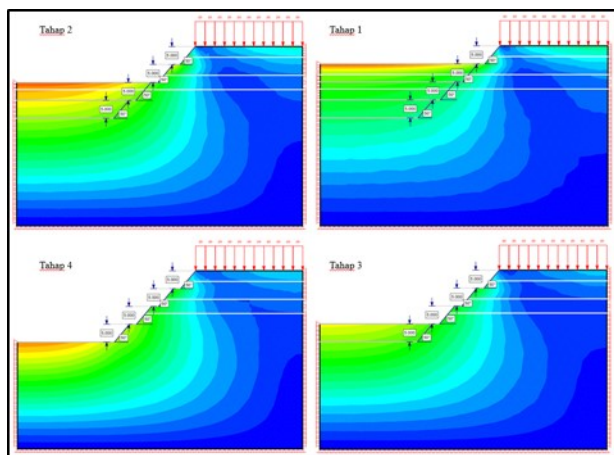
Gambar 4. Hasil analisis deformasi potongan GT-15617



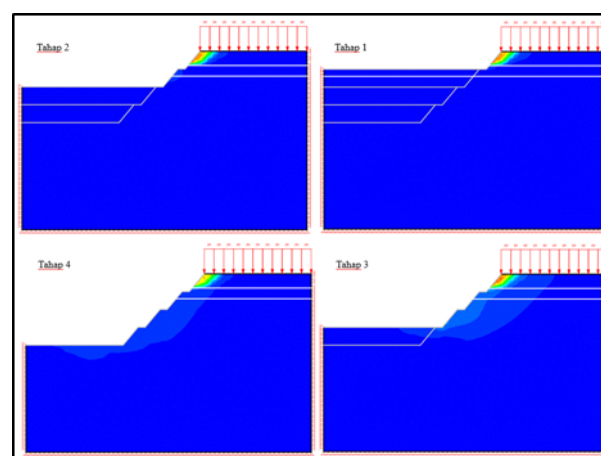
Gambar 5. Hasil analisis deformasi potongan GT-19125



Gambar 7. Hasil analisis faktor aman lereng GT-15617



Gambar 6. Hasil analisis deformasi potongan GT-19841



Gambar 8. Hasil analisis faktor aman lereng GT-19125

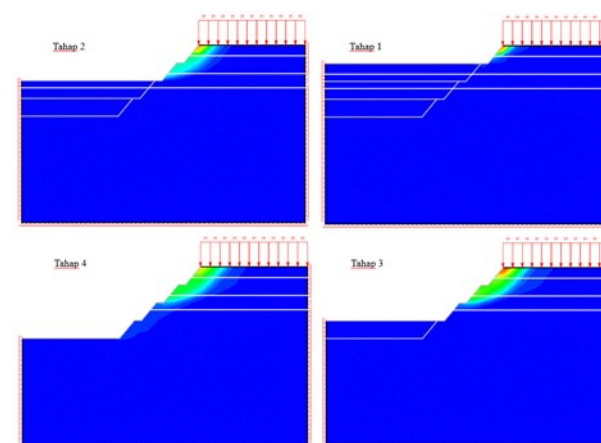
Hasil analisis menunjukkan deformasi yang terjadi pada masing-masing lokasi penelitian memiliki pola yang sama terlihat dari kontur deformasi yang terbentuk. Bagian puncak lereng bergerak ke arah penggalian sedangkan kaki lereng mengalami *heave* karena kehilangan *confining stress* sehingga memicu terjadinya deformasi ke arah atas. Besaran deformasi yang terjadi pada masing-masing lokasi studi tidak mengalami perbedaan yang signifikan disebabkan data tanah pada masing-masing lokasi tidak berbeda jauh.

3.3. Analisis Faktor Aman

Dengan menggunakan metode SSR seperti yang dijelaskan sebelumnya, analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui faktor keamanan lereng selama proses penggalian berlangsung. Rangkuman hasil analisis faktor aman lereng terdapat pada Tabel 3 dan letak *slip surface* terdapat pada Gambar 7, Gambar 8 dan Gambar 9.

Tabel 3. Rangkuman hasil analisis faktor aman lereng

Lokasi	Faktor Keamanan			
	Lap. 1	Lap. 2	Lap. 3	Lap. 4
GT-19125	1,21	1,23	1,24	1,26
GT-19841	1,21	1,22	1,21	1,21
GT-15617	1,33	1,34	1,38	1,43



Gambar 9. Hasil analisis faktor aman lereng GT-19841

Seperti halnya analisis deformasi, hasil analisis faktor aman lereng menunjukkan pola keruntuhan yang sama pada masing-masing lokasi penelitian di setiap tahap penggalian. Bidang gelincir pada setiap lokasi penelitian hanya berada pada lapisan permukaan saja (< 9 m) disebabkan nilai N-SPT yang masuk dalam kategori pasir lepas [9]. Adapun pada kedalaman > 9 m, nilai N-SPT sudah masuk dalam kategori pasir sedang hingga pasir padat. Hal ini menyebabkan meskipun dilakukan penggalian, gaya yang menyebabkan lereng runtuh masih lebih kecil dari gaya penahan lereng (SF>1).

Meskipun demikian, berdasarkan hasil analisis faktor aman pada Tabel 4 masih belum memenuhi kriteria faktor aman minimum yang dipersyaratkan yakni 1,5 [12].

4. Kesimpulan

Hasil deformasi lereng menunjukkan deformasi terbesar terjadi pada puncak hingga sisi tengah lereng. Deformasi maksimal yang terjadi adalah 21 cm pada lokasi GT-19841. Hal ini disebabkan nilai N-SPT pada lokasi tersebut lebih kecil dibanding 2 lokasi lainnya. Masing-masing lokasi penelitian memiliki pola deformasi yang sama terlihat dari kontur deformasi yang terjadi. Hal ini karena kondisi tanah yang tidak berbeda secara signifikan antar lokasi.

Hasil analisis faktor aman menunjukkan tahap penggalian dengan kemiringan 500 belum memenuhi faktor aman minimum yang dipersyaratkan. Namun demikian, hasil analisis menunjukkan bahwa gaya-gaya yang menyebabkan lereng bergerak masih lebih kecil dibandingkan gaya yang menahan lereng. Nilai faktor aman lereng terbesar adalah 1,43 yang berada pada lokasi GT-15617 karena lokasi ini memiliki data tanah yang lebih baik dibanding lokasi lainnya

Daftar Pustaka

- [1] <https://geoportal.esdm.go.id/minerba/>. (Diakses 20 September 2021).
- [2] H. Amankwah, *Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining*, Sweden: Linköping University Electronic Press, 2011.
- [3] D. Subowo, "Penambangan Sistem Terbuka Ramah Lingkungan dan Upaya Reklamasi Pasca Tambang Untuk Memperbaiki Kualitas Sumberdaya Lahan dan Hayati Tanah", *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 5, no. 5, p. 83, 2011.
- [4] L. Lu, Z. Wang, X. Huang, B. Zheng, and K. Arai "Dynamic and Static Combination Analysis Method of Slope Stability Analysis during Earthquake", *Mathematical Problem in Engineering*, vol. 14, p. 1, 2014.
- [5] B. Suhendro, *Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya*, Yogyakarta: Teknik Sipil - UGM. 2000.
- [6] E. Dawson, K. You, and Y. Park, "Strength-Reduction Stability Analysis of Rock Slopes Using the Hoek Brown Failure Criterion", *Trends in Rock Mechanics*, vol. 126, p. 65, 2000.
- [7] R. Hammah, T. Yacoub, B. Corkum, and J. Curran, "The Shear Strength Reduction Method for the Generalized Hoek Brown Criterion Alaska", *Proceedings of the 40th U.S. Symposium on Rock*, vo. 3, p. 1, 2005.
- [8] P.P. Rahardjo and S.D. Alvi, *Metode Elemen Hingga Untuk Analisis Geoteknik*, Bandung: Pusat Studi Geoteknik Universitas Katolik Parahyangan, 2019.
- [9] J. Bowles, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Jakarta: Erlangga, 1989.
- [10] B.G. Look, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, London: Taylor&Francis, 2014.
- [11] M.H.A. *Geologi dan Analisis Kestabilan Lereng pada Jalan Hauling Tambang Nikel Daerah Ganda Ganda, Kecamatan Petasia, Kabupaten Morowali Utara, Provinsi Sulawesi Tengah*, Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional Veteran, 2021.
- [12] SNI-8460:2017, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2017.
- [13] Sumiyanto and A.N. Patria, "Pengaruh Pembuatan Terasering pada Lereng Terhadap Potensi Longsor", *Dinamika Rekayasa*, vol. 6, no. 2, p. 50, 2010.
- [14] Sukandi and N.P.E.L. Dewi, "Stabilitas dan Deformasi Lereng Villa Sekeq Grupuk Dengan Simulasi Numeris", *Konstruksia*, vol. 12, no. 1, p. 115, 2021.
- [15] R. Rekzyanti, S. Balamba, and L. Manaroinsong, "Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa", *Tekno*, vol. 14, p. 66, 2016.
- [16] S. Pramusandi, A. Rifa'i, and K.B. Suryolelono, "Penentuan Sifat Teknis Tanah Jenuh Sebagian Dan Analisis Deformasi Lereng Akibat Pengaruh Variasi Hujan" *Jurnal Poli-Teknologi*, vol. 10, no. 1, p.1, 2011.
- [17] Setyanto, A. Zakaria, and P. Giwa, "Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis V. 8.2 (Studi Kasus: Ruas Jalan Liwa-Simpang Gunung Kemala Sta. 263+ 650)", *Journal Rekayasa*, vol. 20, no. 2, p. 119, 2016.
- [18] Sahrul and V. Astini, "Analisis Deformasi Lereng Menggunakan Metode Monitoring pada Lereng Jalan Trans Provinsi Kilometer 18 Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara", *Jurnal Geomine*, vol. 7, no. 3, p.189, 2020.

This page is intentionally left blank