

ANALISIS KESTABILAN LERENG DI DAERAH HATIVE BESAR KOTA AMBON MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA DAN METODE KESETIMBANGAN BATAS

Micky Kololu^{1*}, Marcia V. Rikumahu², Robert Hutagalung³

¹Dosen Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon

²Dosen Program Studi Teknik Perminyakan Fakultas Teknik Universitas Pattimura Ambon

³Dosen Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pattimura Ambon

*Corresponding Author

E-mail Address: kololumicky@gmail.com

Abstrak

Lereng adalah permukaan tanah yang memiliki dua elevasi yang berbeda. Perbedaan elevasi pada permukaan tanah seperti lereng dapat mengakibatkan pergerakan massa tanah dari bidang dengan elevasi yang tinggi menuju bidang dengan elevasi yang lebih rendah. Pergerakan atau gaya tersebut akan menghasilkan tegangan geser yang berfungsi sebagai gaya penahan dan apabila berat massa tanah yang bekerja sebagai gaya pendorong itu lebih besar dari tegangan geser tersebut maka akan mengakibatkan kelongsoran. Suatu lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran. Analisis kestabilan lereng memiliki peran penting, untuk itu perlu dilakukannya penelitian agar mengetahui apakah lereng tersebut dalam kondisi yang stabil atau tidak stabil. Pendekatan yang dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng adalah dengan pendekatan metode elemen hingga dan metode kesetimbangan batas. Dari hasil penelitian menggunakan metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga memperlihatkan kondisi lereng apabila menggunakan *support* dengan jenis *end anchor* menghasilkan Faktor Keamanan (FK) yang lebih dari 1,3. Penggunaan metode kesetimbangan batas dengan spasi *anchor* 1m dan panjang 5m menghasilkan FK = 1,580 dan paada saat spasi *anchor* diperbesar menjadi 1,5m menghasilkan FK = 1,396, sedangkan jika menggunakan metode elemen hingga dengan spasi *anchor* 1m diperoleh nilai FK = 1,46 dan jika spasi *anchor* diperbesar menjadi 1,5m, diperoleh nilai FK = 1,35.

Kata kunci: Kestabilan lereng, longsor, metode elemen hingga, metode kesetimbangan batas

Abstract:

Slopes are land surfaces that have two different elevations. Differences in elevation on the ground surface such as slopes can result in the movement of soil masses from areas with high elevations to areas with lower elevations. This movement or force will produce shear stress which functions as a resisting force and if the weight of the soil mass which acts as a driving force is greater than the shear stress it will result in a landslide. A slope is said to be stable if it does not experience landslides. Slope stability analysis has an important role, for this reason research is needed to find out whether the slope is in a stable or unstable condition. The approach taken to analyze slope stability is the finite element method approach and the limit equilibrium method. From the results of research using the limit equilibrium method and the finite element method, it shows that the condition of the slope when using support with the end anchor type results in a Factor of Safety (FoS) of more than 1.3. Using the limit equilibrium method with an anchor spacing of 1m and a length of 5m produces FoS = 1.580 and when the anchor spacing is increased to 1.5m it produces FoS = 1.396, whereas if using the finite element method with an anchor spacing of 1m the value of FoS = 1.46 is obtained and if the spacing the anchor is enlarged to 1.5m, obtained a value of FoS = 1.35.

Keywords: Slope stability, finite element method, limit equilibrium method, landslides

PENDAHULUAN

Perbedaan elevasi pada permukaan tanah seperti lereng dapat mengakibatkan

pergerakan massa tanah dari bidang dengan elevasi yang tinggi menuju bidang dengan elevasi yang lebih rendah,

pergerakan ini diakibatkan oleh gravitasi. Pergerakan massa tanah tersebut juga dapat dipengaruhi oleh air dan gaya gempa. Pergerakan atau gaya tersebut akan menghasilkan tegangan geser yang berfungsi sebagai gaya penahan dan apabila berat massa tanah yang bekerja sebagai gaya pendorong itu lebih besar dari tegangan geser tersebut maka akan mengakibatkan kelongsoran. Sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran (I & Fajria, 2019).

Analisis stabilitas lereng memiliki peran penting. Untuk itu perlu dilakukannya penelitian untuk mengetahui apakah lereng tersebut dalam kondisi yang stabil atau tidak stabil. Ada beberapa pendekatan yang dapat dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng salah satunya adalah dengan pendekatan model numerik (Akbar, 2020; Nuryanto & Wulandari, 2017). Dalam penelitian ini ada dua metode pemodelan numerik yang akan dipakai yaitu metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga.

Metode kesetimbangan batas pada umumnya memperhitungkan keseimbangan gaya dan keseimbangan momen, demikian pula dengan gaya-gaya antar irisan (gaya normal dan gaya tangensial) berlaku pada semua permukaan bidang geser. Salah satu metode perhitungan pada metode kesetimbangan batas adalah metode bishop yang dikembangkan pada tahun 1950an. Metode ini didasarkan pada kesetimbangan momen. Metode ini dihitung dengan pendekatan solusi permukaan bidang runtuh dianggap melingkar. Perhitungan akhir angka keamanan dihitung dengan cara iterasi (Muhamad et al., 2020). Selain menggunakan metode kesetimbangan batas, perhitungan stabilitas lereng dapat dilakukan dengan lebih mudah menggunakan metode elemen hingga atau *finite element method* (FEM) (Azizi et al., 2017). Penggunaan metode elemen hingga sudah banyak dilakukan dalam rekayasa geoteknik. Pada penelitian ini akan menggunakan metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga untuk memperoleh nilai faktor keamanan lereng dan hasilnya akan dibandingkan.

Stabilitas Lereng

Sebuah lereng dikatakan stabil apabila lereng tersebut tidak mengalami kelongsoran. Nilai suatu stabilitas lereng dinyatakan dalam Faktor keamanan. Faktor keamanan sendiri adalah rasio perbandingan kuat geser (*shear strength*) dengan tegangan geser (*shear stress*) (Azizi et al., 2017).

$$FS = \frac{\text{Shear Strength}}{\text{Shear Stress}} \quad (1)$$

Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

hubungan antara kepadatan dengan *relative density*, nilai N SPT, qc dan Ø adalah sebanding. Hal ini dapat dilihat dalam pada Tabel 1.

Tabel 1 Hubungan antara kepadatan, *relative density*, nilai N SPT, qc dan Ø Pada Tanah Pasir (Mayerhof, 1965)

Kepadatan	Relatif Density (γ_d)	Nilai N SPT	Tekanan Konus qc (kg/cm^2)	Sudut Geser ($^\circ$)
Very Loose (sangat lepas)	< 0,2	< 4	< 20	<30
Loose (lepas)	0,2 - 0,4	4 - 10	20 - 40	30 - 35
Medium Dense (agak kompak)	0,4 - 0,6	10 - 30	40 - 120	35 - 40
Dense (kompak)	0,6 - 0,8	30 - 50	120 - 200	40 - 45
Very Dense (sangat kompak)	0,8 - 1	> 50	> 200	> 45

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah (γ_{dry}) dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) pada tanah kohesif dan non kohesif dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Nilai tipikal berat volume tanah (Budhu Muni, 2000)

Jenis Tanah	γ_{sat} (KN/m^3)	γ_{dry} (KN/m^3)
Kerikil	20 - 22	15 - 17
Pasir	18 - 20	13 - 16

Lanau	18 - 20	14 - 18
Lempung	16 - 22	14 - 21

Tabel 3 Korelasi berat jenis tanah (γ) untuk tanah kohesif (Lambe T. Whilliam & Whitman Robert V, 1962)

Value	Cohesive				
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
Unit Weight $\gamma, KN/m^3$	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
q_u, kPa	<25	20-50	30-60	40-200	>200
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Metode Kesetimbangan Batas

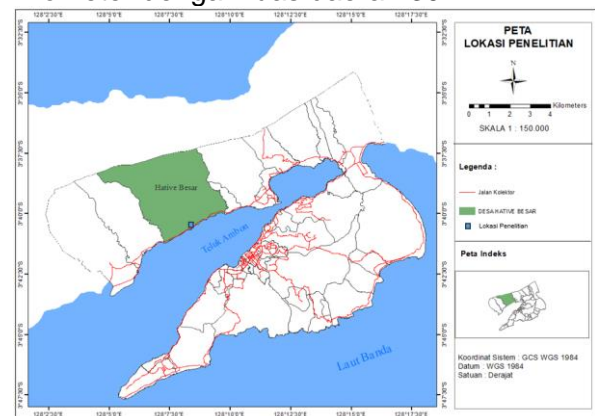
Metode ini dinyatakan dengan persamaan-persamaan kesetimbangan dari satu atau beberapa blok yang diasumsikan tidak terdeformasi, dan mengurangi gaya-gaya yang tidak diketahui (reaksi dari bagian stabil massa batuan atau gaya-gaya antar blok), khususnya gaya geser yang bekerja pada permukaan longsoran yang dipilih sebelumnya. Hipotesa yang dibuat secara umum adalah bahwa gaya-gaya geser ini mewakili seluruh bagian yang sama dari kuat geser batuan dimana gaya-gaya geser ini bekerja (Azizi et al., 2019). Kondisi kestabilan lereng dengan menggunakan metode ini dinyatakan dalam indeks faktor keamanan. Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kesetimbangan gaya tersebut tergantung dari metoda perhitungan yang dipakai (Santo Frans & Muhammad Hafizh Nurfalaq, 2019). Sifat-sifat material yang relevan dengan masalah kestabilan lereng adalah sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), dan berat satuan (γ) batuan (Santo Frans & Muhammad Hafizh Nurfalaq, 2019). Grafik pada Gambar 3.5 menjelaskan secara sederhana tentang suatu spesi batuan yang mengandung bidang diskontinyu, dimana bekerja tegangan normal dan tegangan geser, sehingga batuan retak pada bidang diskontinyu dan mengalami pergeseran.

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Metode elemen hingga merupakan metode perhitungan yang didasarkan pada konsep diskretasi, yaitu pembagian suatu sistem struktur, massa, atau benda padat menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Pembagian ini memungkinkan system ini memiliki derajat kebebasan tidak terhingga menjadi derajat kebebasan terhingga, sehingga memudahkan perhitungan masing-masing, sehingga memudahkan proses perhitungan karena benda tersebut sudah dibuat menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Metode Elemen Hingga juga merupakan metode pendekatan, semakin kecil pembagian elemen-elemen kecil semakin akurat perhitungan pendekatan melalui Metode Elemen Hingga. Metode Elemen Hingga dapat digunakan untuk menghitung distribusi beban yang terjadi pada elemen seperti deformasi dan tegangan (Atamini & Moestofa, 2018).

Lokasi Penelitian

Secara geografis Desa Hative Besar terletak di sebelah barat Kota Ambon dan secara administratif terletak di kecamatan Teluk Ambon kota Ambon Provinsi Maluku. Desa Hative Besar dapat dicapai lewat jalur darat dengan kendaraan roda empat selama kurang lebih 1/2 jam dari pusat kota Ambon dengan jarak kurang lebih 40 kilometer dengan luas daerah 30 KM².



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

METODOLOGI

Tahapan Analisis Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas

Pemodelan lereng menggunakan *Slide* ver. 5.0 memiliki tahapan sebagai berikut:

- Menentukan geometri lereng sesuai data

- b. Menentukan parameter pada *project settings*
- c. Memasukkan nilai kriteria-kriteria dari material yang diketahui
- d. Memasukan parameter penyanggaan
- e. Melakukan tahap akhir penentuan faktor keamanan (FK)

Tahapan Analisis Menggunakan Metode Elemen Hingga

Pemodelan lereng menggunakan Phase2 ver.8.005 memiliki tahapan sebagai berikut:

- a. Pembuatan geometri model. Dalam model 2D, digunakan prinsip regangan bidang. Unsur geometri mencakup dimensi model, batas material, dan orientasi diskontinuitas.
- b. Tahap diskritisasi merupakan tahapan pembentukan elemen berhingga dan titik simpul yang membentuk jaring elemen.
- c. Karakteristik fisik dan mekanik model yang meliputi sifat keteknikan massa batuan dan diskontinuitas serta penyanggaan.
- d. Penentuan beban statik dan beban dinamik, termasuk kondisi tegangan alamiah.
- e. Penentuan kondisi batas perpindahan. Pada umumnya kondisi batas yang diberikan adalah pada batas kiri dan kanan model tidak terjadi perpindahan horisontal, batas bawah model tidak terjadi perpindahan vertikal, dan titik ujung kanan dan kiri batas model tidak terjadi perpindahan secara horisontal dan vertikal.
- f. Melakukan tahap akhir penentuan Strength Reduction Factor (SRF)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik, Mekanik Tanah, Sistem Penyanggaan dan Perkuatan Tanah

Data berat jenis material, kohesi, dan sudut geser dalam pada lereng diperlihatkan pada tabel 4. Nilai berat jenis material diambil dari *Soil Mechanics and Foundation, John Wiley & Sons, 2000* pada kondisi lereng kering. Untuk nilai kohesi diambil dari Begeman, 1965 dengan nilai kohesi diperoleh dari hubungan antara

konsistensi dengan tekanan *conus* pada tanah lempung. Sedangkan untuk nilai sudut geser dalam diambil dari Mayerhof, 1965 yang menunjukkan hubungan antara kepadatan dengan *relative density*, nilai N SPT, q_c dan ϕ adalah sebanding.

Sistem penyangga dan perkuatan tanah/batuan pada lereng menggunakan *anchor bolt* yang dipasang pada muka lereng. *Anchor bolt* yang dipakai memiliki panjang 5m dengan spasi antar *anchor bolt* 1m dan 1,5m.

Tabel 4 Sifat fisik, mekanik, dan perkuatan tanah

Unit weight (KN/m ³)	14
Kohesi (C) (KN/m ²)	20
Sudut geser dalam (ϕ) (°)	40
Spacing Anchor bolt (m)	1 dan 1,5
Tensile Capacity (KN)	100
Residual Tensile Capacity (KN)	100
Bolt Modulus (GPa)	200
Length (m)	5

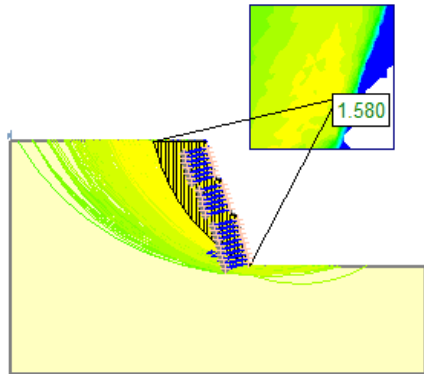
Pemodelan Menggunakan Metode Keseimbangan Batas

Tahap-tahap simulasi permodelan dibuat berdasarkan tahapan lereng dalam kondisi lereng jenuh.

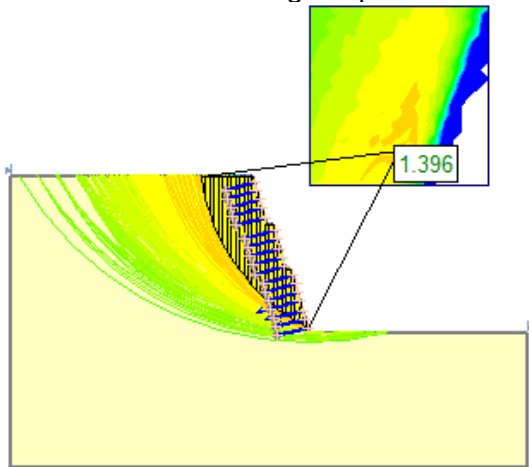
Lereng Menggunakan Penyanggaan Anchor Dengan spasi 1 m dan 1.5 m

Panjang anchor yang dipakai adalah 5m. Untuk gambar 2 menggunakan nilai berat jenis = 14 KN/m³, nilai kohesi = 20 KN/m² dan nilai sudut geser dalam = 40°. Hasil *running* memperlihatkan nilai faktor keamanan 1,58 yang berarti lereng tersebut berada pada kondisi yang stabil. Selanjutnya dengan melihat hasil yang diperoleh pada gambar 2, sehingga dengan kondisi yang sama maka dilakukan simulasi dengan memperbesar/memperlebar jarak antar anchor dengan spasi antar *anchor* 1,5 m, kemudian dihitung nilai faktor keamanannya. Dari hasil *running* diperoleh faktor keamanan 1,396 yang ditunjukkan pada gambar 3. Hasil yang diperoleh

menunjukkan lereng tersebut berada pada kondisi yang stabil dengan nilai $FK > 1,3$.



Gambar 2. Pemodelan menggunakan SLIDE v.5.0 dengan spasi 1m



Gambar 3. Pemodelan menggunakan SLIDE v.5.0 dengan spasi 1,5m

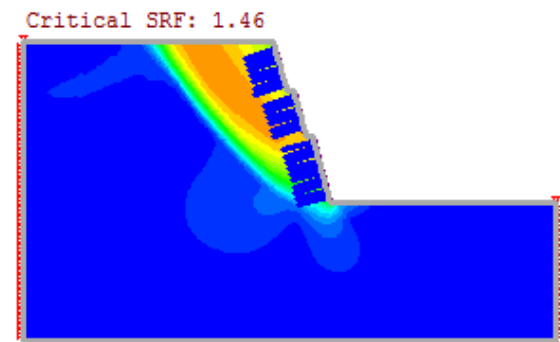
Pemodelan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Pembuatan model memerlukan masukan data berupa batas lereng, karakteristik material dan permukaan air. Karena pada penyelidikan lapangan tidak diperolehnya air pada badan lereng, maka pada pemodelan lereng dianggap kering.

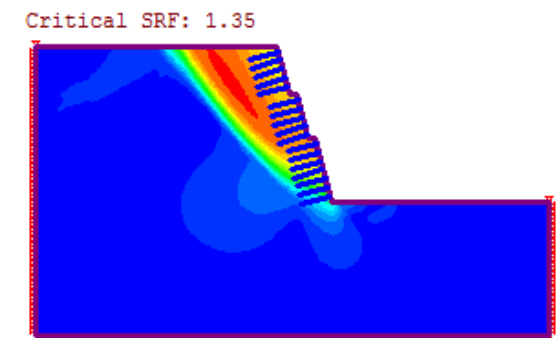
Lereng Menggunakan Penyanggaan End Anchor Dengan spasi 1 m dan 1.5 m

Panjang *end anchor* yang dipakai adalah 5m. Untuk gambar 4 menggunakan nilai berat jenis = 14 KN/m^3 , nilai kohesi = 20 KN/m^2 dan nilai sudut geser dalam = 40° . Hasil *running* memperlihatkan nilai faktor keamanan = 1,46 yang berarti lereng tersebut berada pada kondisi yang stabil. Selanjutnya dengan melihat hasil yang diperoleh pada gambar 4, sehingga pada

kondisi yang sama, maka dengan menggunakan parameter yang sama yaitu nilai berat jenis yang digunakan dalam program adalah 14 KN/m^3 sedangkan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang digunakan adalah 20 KN/m^2 dan 40° , tetapi jarak antar *end anchor* diperlebar dengan spasi antar *end anchor* 1,5 m, kemudian dihitung nilai faktor keamanannya. Dari hasil *running* diperoleh faktor keamanan 1,35 yang menunjukkan lereng tersebut berada pada kondisi yang stabil, dengan nilai $FK > 1.3$ yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Pemodelan menggunakan Phase2 ver.8.0 dengan penyanggaan spasi end anchor 1m



Gambar 5. Pemodelan menggunakan Phase2 ver.8.0 dengan penyanggaan spasi end anchor 1.5m

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas "*Bishop*" dan metode elemen hingga, diperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) bervariasi yang ditunjukkan pada tabel 5. Hasil analisis tersebut juga menunjukkan bahwa nilai FK dari metode kesetimbangan batas lebih optimis dibandingkan hasil analisis metode elemen hingga. Perbedaan ini dapat dijelaskan dari segi mekanisme analisis masing-masing

metode. Metode LEM mengasumsikan keruntuhan terjadi pada bidang geser tertentu (misalnya lingkaran) dan hanya memperhitungkan keseimbangan gaya dan momen pada bidang tersebut, tanpa mempertimbangkan deformasi material sebelum keruntuhan. Sementara itu, FEM menganalisis distribusi tegangan dan regangan di seluruh massa tanah, serta memperhitungkan perilaku material yang lebih realistis, termasuk deformasi dan interaksi antar elemen sebelum mencapai kondisi runtuh. Oleh karena itu, FEM cenderung memberikan nilai FK yang lebih rendah karena mencakup lebih banyak faktor yang dapat mengurangi stabilitas. Perubahan spasi anchor dari 1 m menjadi 1,5 m menunjukkan penurunan nilai FK pada kedua metode. Secara fisik, peningkatan spasi anchor mengurangi kerapatan perkuatan, sehingga mengurangi kemampuan sistem penyangga dalam menahan gaya geser yang bekerja pada lereng. Dengan spasi yang lebih lebar, distribusi beban menjadi kurang merata, dan zona tidak tertahan antar anchor menjadi lebih besar, sehingga meningkatkan potensi keruntuhan lokal. Hal ini konsisten dengan prinsip perkuatan lereng di mana reduksi densitas perkuatan akan menurunkan kapasitas penahan secara keseluruhan. Kedua metode yang digunakan memiliki keterbatasan. Metode LEM tidak dapat memodelkan deformasi sebelum keruntuhan dan asumsi bidang keruntuhan yang sudah ditentukan mungkin tidak selalu sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Sementara FEM, meskipun lebih komprehensif, sangat bergantung pada kualitas diskritisasi dan pemilihan parameter material yang akurat.

Tabel 5 Parameter masukdan dan Faktor Keamanan lereng

Kohesi (KN/m ²)	20
Sudut Geser Dalam (°)	40
Berat Jenis (KN/m ³)	14
FK Unsupport Using Slide	0.996
FK Unsupport Using Phase2	0.95
FK support Using Slide	1.58
FK support Using Phase2	1.46
FK support Using Slide	1.396

FK support Using Phase2	1.35
-------------------------	------

Persentase perbedaan faktor keamanan menggunakan metode LEM dan FEM dapat dilihat pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6 Persentase perbedaan faktor keamanan LEM dan FEM

Kondisi	Faktor Keamanan		Perbedaan (%)
	LEM	FEM	
1	1,580	1,46	0,08
2	1,396	1,35	0,03

Tabel 6 menunjukan perbandingan FK menggunakan *Limit Equilibrium Method* (LEM) dan *Finite Element Method* (FEM) dengan spasi antar *end anchor* sebesar 1m dan panjang 5m akan menghasilkan persentase sebesar 0,08% dan apabila spasi antar *end anchor* diperbesar menjadi 1.5m dengan panjang 5m akan menghasilkan persentase sebesar 0,03%.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan membandingkan metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga, maka dapat disimpulkan bahwa, Lereng dengan *support end anchor* spasi 1m dengan panjang 5m menghasilkan nilai FK di atas 1.3 di mana dengan menggunakan LEM menghasilkan nilai FK = 1,58 sedangkan menggunakan FEM menghasilkan nilai FK sebesar 1,46. Pada saat spasi support di perbesar menjadi 1,5m maka diperoleh nilai FK dengan LEM sebesar 1,396 dan nilai FK dengan FEM sebesar 1,35 meskipun masih dalam kategori stabil. Hal ini mengindikasikan bahwa densitas perkuatan merupakan faktor kritis dalam desain stabilisasi lereng. Lereng direkomendasikan untuk menggunakan spasi anchor minimal 1,5 m dengan panjang 5 m untuk memastikan FK di atas 1,3 dengan pertimbangan kondisi lereng dalam keadaan kering dan bebas statis tanpa memasukan faktor kegunaan.

REFERENSI

Akbar, W. N. (2020). Analisis Kestabilan Lereng Metode Q-Slope, Kesetimbangan Batas dan

- Probabilitas Longsor pada Tambang Andesit. *Prosiding TPT XXIX Perhapi*, 689-701.
- Atamini, H., & Moestofa, B. (2018). Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung). In *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1, 4, 90-100.
- Azizi, M. A., Karim, R., Marwanza, I., & Kemal Ghifari, M. (2019). PREDIKSI VOLUME LONGSORAN TAMBANG TERBUKA NIKEL MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS 3 DIMENSI. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 1, 43–48.
- Azizi, M. A., Marwanza, I., & Saptono, S. (2017). Perbandingan Analisis Stabilitas Lereng Metode Kesetimbangan Batas dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Pendekatan Probabilistik (Comparison) of Limit-Equilibrium Method Slope St. *Proceeding Seminar Geokimia IV*, 179-186.
- Budhu Muni. (2000). Soil Mechanics and Foundations. Department of Civil Engineering & Engineering Mechanics University of Arizona. John Wiley & Sons, Inc.
- I, S. D. H., & Fajria, R. (2019). ANALISIS KESTABILAN LERENG DENGAN MENGGUNAKAN METODE SIMPLIFIED BISHOP. *Laporan*, Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Syiah Kuala.
- Lambe T. Whilliam & Whitman Robert V. (1962). Soil Mechanics. Massachusetts Institute of Technology. John Wiley & Sons, Inc.
- Mayerhof, G.G. 1965. "Shallow Foundations." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, American Society of Civil Engineers Vol. 91, No. SM2: 21-32.
- Muhamad, S., Masri, & Hasria. (2020). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop di Pit ALC-14 Tambang Batubara PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 8, 162–170.
- Nuryanto, & Wulandari, S. (2017). Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Keseimbangan Batas (Limit Equilibrium) dan Elemen Hingga (Finite Element).
- Santo Frans, J., & Muhammad Hafizh Nurfalaq. (2019). Studi Geoteknik Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Batubara. *Prosiding TPT XXVIII Perhapi*, 475-488.