

ANALISIS STABILITAS LERENG TANAH JENUH GALIAN KALUMATA MENGUNAKAN METODE LIMIT EQUILIBRIUM

Muhammad Darwis

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Khairun
Ternate, Maluku Utara

Abstrak: Aktivitas penambangan bahan galian batuan di Kelurahan Kalumata, Ternate Selatan, mengubah bentuk lahan dan menghasilkan tebing galian yang tinggi serta dinding yang curam sehingga berpotensi meningkatkan erosi dan longsor. Penelitian ini bertujuan mengetahui pemodelan kemiringan lereng dan nilai faktor keamanan (FS) lereng galian menggunakan metode Limit Equilibrium pada program GeoSlope/W (GeoStudio 2018). Analisis dilakukan pada model dua dimensi tanpa perkuatan dengan variasi sudut lereng 30°, 40°, 50°, 60°, dan 70°. Material dimodelkan dengan kriteria Mohr-Coulomb menggunakan berat isi 21 kN/m³, kohesi 2,46 kN/m², dan sudut geser dalam 39,24°. Hasil analisis menunjukkan nilai FS berturut-turut sebesar 3,199; 2,176; 1,676; 1,579; dan 1,329. Nilai FS menurun seiring bertambahnya kemiringan lereng. Pada data penelitian, seluruh variasi masih dinyatakan stabil, tetapi lereng 70° memiliki nilai faktor keamanan paling rendah sehingga paling kritis di antara variasi yang dianalisis. Hasil ini menunjukkan bahwa pengurangan kemiringan meningkatkan kestabilan lereng dan dapat menjadi dasar evaluasi penataan lereng galian Kalumata.

Kata kunci: stabilitas lereng, Limit Equilibrium, GeoSlope/W, faktor keamanan, Kalumata.

Abstract: Mining activities in Kalumata, South Ternate, have altered the landform and produced high, steep excavation slopes that may increase erosion and landslide potential. This study evaluates slope geometry modelling and the factor of safety (FS) using the Limit Equilibrium method in GeoSlope/W (GeoStudio 2018). Two-dimensional unreinforced slope models were analyzed for inclinations of 30°, 40°, 50°, 60°, and 70°. The Mohr-Coulomb material model used a unit weight of 21 kN/m³, cohesion of 2.46 kN/m², and internal friction angle of 39.24°. The calculated FS values were 3.199, 2.176, 1.676, 1.579, and 1.329, respectively. The factor of safety decreased as slope inclination increased. Within the study data, all modeled slopes were classified as stable, while the 70° slope was the most critical because it produced the lowest FS. The results confirm that flattening the slope improves stability and can support evaluation of the Kalumata excavation slope arrangement.

Keywords: slope stability, Limit Equilibrium, GeoSlope/W, factor of safety, Kalumata.

I. PENDAHULUAN

Kota Ternate merupakan salah satu wilayah di Provinsi Maluku Utara yang memiliki kegiatan pertambangan bahan galian batuan. Kebutuhan material untuk pembangunan sarana, prasarana, perkantoran, dan fasilitas umum mendorong pemanfaatan sumber daya tersebut. Di sisi lain, kegiatan penambangan perlu disertai pengelolaan lahan yang memadai karena perubahan bentuk lahan dapat mempengaruhi kondisi lingkungan dan kestabilan lereng.

Di Kelurahan Kalumata, lahan yang sebelumnya dimanfaatkan untuk pertanian berubah menjadi area pertambangan bahan galian batuan. Observasi pada bahan penelitian menunjukkan adanya tebing galian yang tinggi, dinding galian yang curam, jarak lubang galian yang relatif dekat dengan lahan masyarakat, serta penempatan material sisa galian yang membuat permukaan area tambang menjadi tidak teratur. Kondisi geometri tersebut berpengaruh terhadap laju erosi dan berpotensi menimbulkan kelongsoran.

Kestabilan lereng pada dasarnya ditentukan oleh keseimbangan antara gaya penggerak dan gaya penahan. Pada suatu massa tanah, komponen berat akibat gravitasi cenderung menggerakkan tanah ke arah bawah, sedangkan kuat geser tanah memberikan tahanan terhadap gerakan tersebut. Analisis stabilitas dengan metode kesetimbangan batas atau Limit Equilibrium menilai kondisi keseimbangan pada bidang runtuh yang diasumsikan dan menyatakan tingkat keamanan dalam bentuk faktor keamanan.

Analisis secara manual untuk banyak variasi geometri dapat membutuhkan waktu. Oleh sebab itu penelitian menggunakan GeoStudio 2018, khususnya GeoSlope/W, untuk memodelkan lereng dan menghitung nilai faktor keamanan minimum serta bidang gelincir yang dianalisis. Penelitian dibatasi pada lereng galian material di Kelurahan Kalumata, model dua dimensi, bentuk lereng tanpa perkuatan, dan tidak meninjau biaya maupun waktu pelaksanaan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan penelitian adalah mengetahui teknik pemodelan kemiringan lereng pada GeoSlope/W dan memperoleh nilai faktor keamanan lereng galian untuk beberapa variasi sudut. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran hubungan kemiringan lereng dengan

tingkat kestabilan serta menjadi dasar untuk penelitian lanjutan mengenai perkuatan lereng.

II. METODOLOGI

Penelitian menggunakan studi pustaka dan penelitian lapangan. Lokasi penelitian berada di Kelurahan Kalumata, Ternate Selatan, Kota Ternate, pada koordinat sekitar $0^{\circ}46'04''$ N dan $127^{\circ}21'23''$ E. Data yang digunakan terdiri atas model lereng pada GeoStudio 2018 dan data geoteknik hasil pengujian lapangan serta laboratorium.

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data primer dan sekunder, penyusunan desain pemodelan lereng pada GeoSlope/W, input parameter geoteknik, penentuan metode analisis dan bidang longsor, proses Solve Manager, kemudian interpretasi nilai faktor keamanan. Kelongsoran diasumsikan terjadi pada suatu permukaan bidang tertentu dalam model dua dimensi.

Pemodelan dilakukan pada lima variasi sudut kemiringan, yaitu 30° , 40° , 50° , 60° , dan 70° . Variasi ini digunakan untuk membandingkan perubahan faktor keamanan akibat perubahan geometri lereng dengan parameter tanah yang sama. Material tanah pada GeoSlope/W dimodelkan menggunakan model Mohr-Coulomb.

Parameter Tanah dan Variasi Pemodelan

Data geoteknik yang digunakan dalam pemodelan berasal dari lokasi galian Kalumata. Parameter utama yang dimasukkan ke dalam program adalah berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Nilai parameter disajikan pada Tabel I.

Tabel I. Data tanah hasil pengujian laboratorium

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Berat isi	γ	21	kN/m ³
Kohesi	c	2,46	kN/m ²
Sudut geser dalam	ϕ	39,24	$^{\circ}$

Pengujian Test Pit digunakan untuk melihat kondisi lapisan tanah secara langsung. Dari bidang vertikal lubang uji dapat diamati jenis tanah, warna,

kedalaman muka air, dan struktur tanah. Pengujian laboratorium yang dijelaskan pada bahan penelitian meliputi sifat fisis serta sifat mekanis. Parameter kuat geser diperoleh melalui uji geser langsung dalam kondisi consolidated-drained, yang menghasilkan kohesi dan sudut geser dalam sebagai masukan analisis.

Tahapan Pemodelan GeoSlope/W

1. Pengaturan awal meliputi ukuran kertas kerja, skala gambar, dan grid agar geometri lereng dapat digambar sesuai koordinat yang ditentukan.
2. Geometri lereng dibentuk dengan Draw Regions. Pada bahan penelitian, model dibagi menjadi beberapa region sesuai kondisi lapangan.
3. Material tanah didefinisikan dengan model Mohr-Coulomb dan parameter γ , c , serta ϕ . Material kemudian diterapkan pada region model.
4. Bidang longsor ditentukan melalui pengaturan entry and exit. Program melakukan pencarian slip surface pada area yang telah didefinisikan.
5. Perhitungan dilakukan melalui Solve Manager. Setelah proses selesai, program menampilkan faktor keamanan minimum dan bidang gelincir hasil analisis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Tanah dan Model Lereng

Bahan penelitian mengidentifikasi sampel sebagai tanah vulkanis berpasir. Hasil analisa saringan pada lampiran menunjukkan fraksi gravel sekitar 2,50%, sand 82,31%, dan silt/clay 15,19%. Dominasi fraksi pasir menjadi karakter penting karena tahanan geser tanah berbutir kasar sangat dipengaruhi oleh gesekan antarbutir dan kepadatan. Pada model numerik, pengaruh tersebut direpresentasikan oleh parameter Mohr-Coulomb yang digunakan secara konsisten pada seluruh variasi sudut.

Analisis dilakukan tanpa perkuatan agar pengaruh perubahan sudut lereng dapat diamati secara langsung. Dengan parameter tanah yang sama, perubahan nilai faktor keamanan terutama mencerminkan perubahan geometri lereng. Semakin curam lereng, komponen gaya penggerak yang bekerja sepanjang kecenderungan bidang longsor menjadi semakin dominan.

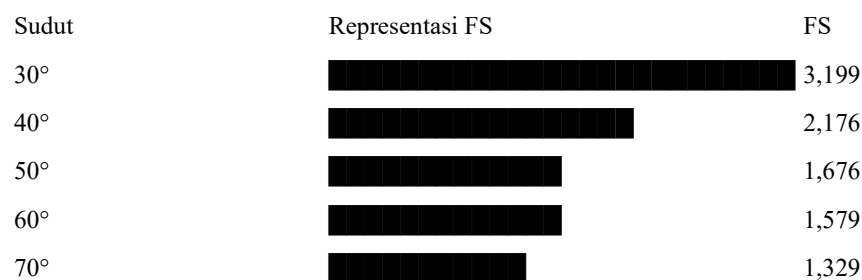
Hasil Faktor Keamanan

Hasil running GeoSlope/W untuk lima variasi kemiringan dirangkum pada Tabel II. Nilai tertinggi diperoleh pada kemiringan 30°, sedangkan nilai terendah terdapat pada kemiringan 70°.

Tabel II. Hasil analisis stabilitas lereng dengan variasi sudut

No.	Kemiringan Lereng (α)	Satuan	FS
1	30	°	3,199
2	40	°	2,176
3	50	°	1,676
4	60	°	1,579
5	70	°	1,329

Gambar 1. Hubungan kemiringan lereng dengan faktor keamanan



Pada kemiringan 30° diperoleh FS = 3,199. Nilai ini merupakan faktor keamanan terbesar dari seluruh variasi. Lereng yang lebih landai menghasilkan kondisi paling stabil dalam pemodelan karena gaya penggerak relatif lebih kecil dibandingkan tahanan geser yang tersedia.

Ketika sudut dinaikkan menjadi 40°, faktor keamanan turun menjadi 2,176. Penurunan sebesar 1,023 dari kondisi 30° menunjukkan bahwa perubahan geometri memberikan pengaruh nyata terhadap keseimbangan gaya pada massa tanah. Walaupun demikian, nilai ini masih lebih tinggi dibandingkan hasil pada sudut 50° sampai 70°.

Pada sudut 50° diperoleh FS = 1,676 dan pada 60° diperoleh FS = 1,579. Selisih kedua nilai tersebut lebih kecil dibandingkan penurunan antara 30° dan 40°, tetapi arah hubungan tetap konsisten: peningkatan kemiringan diikuti

penurunan faktor keamanan. Pada kedua model tersebut bidang longsor kritis yang dicari program menghasilkan faktor keamanan minimum yang lebih rendah daripada lereng yang lebih landai.

Kemiringan 70° memberikan $FS = 1,329$, yaitu nilai minimum pada seluruh variasi. Berdasarkan kesimpulan penelitian sumber, semua variasi yang dianalisis masih dinyatakan aman atau stabil; namun secara komparatif sudut 70° merupakan kondisi paling kritis. Karena penelitian tidak sampai pada tahap perkuatan, nilai ini terutama digunakan untuk menunjukkan kecenderungan penurunan kestabilan ketika lereng dibuat semakin curam.

Hubungan Kemiringan dan Faktor Keamanan

Hubungan antara sudut dan FS menunjukkan pola menurun. Dari 30° ke 70° , faktor keamanan berkurang dari 3,199 menjadi 1,329 atau turun sekitar 58,5%. Secara mekanis, kondisi ini sejalan dengan konsep bahwa peningkatan kemiringan memperbesar kecenderungan massa tanah bergerak ke bawah akibat gravitasi. Dengan parameter kuat geser yang tetap, peningkatan gaya penggerak menyebabkan rasio antara tahanan dan gaya penggerak menjadi lebih kecil.

Hasil tersebut menegaskan pentingnya pengendalian geometri pada area galian Kalumata. Tebing yang tinggi dan dinding galian yang curam telah diidentifikasi sebagai kondisi lapangan yang berpotensi memicu erosi dan longsor. Pemodelan memperlihatkan bahwa melandaikan lereng merupakan salah satu cara geometris untuk meningkatkan faktor keamanan, walaupun penerapan di lapangan tetap perlu mempertimbangkan ruang yang tersedia dan kondisi setempat.

Interpretasi Pemodelan Limit Equilibrium

Metode Limit Equilibrium pada GeoSlope/W menghitung kondisi keseimbangan sepanjang bidang longsor yang dianalisis. Proses solving menghasilkan angka keamanan minimum dari kumpulan slip surface yang dicari program. Oleh karena itu, nilai FS pada setiap variasi bukan sekadar hasil perubahan sudut, tetapi merupakan nilai kritis yang ditemukan berdasarkan definisi geometri, material, dan area pencarian bidang longsor yang dimasukkan ke model.

Penggunaan model Mohr-Coulomb menyederhanakan perilaku kuat geser tanah menjadi fungsi kohesi dan sudut geser dalam. Dalam penelitian ini parameter tersebut dipertahankan sama untuk setiap variasi. Pendekatan tersebut tepat untuk tujuan komparasi geometri karena perubahan keluaran dapat ditelusuri terhadap perubahan sudut lereng. Namun, hasil model tetap merepresentasikan kondisi dan asumsi yang digunakan pada penelitian, bukan seluruh variasi kondisi lapangan yang mungkin terjadi.

Implikasi terhadap Lereng Galian Kalumata

Observasi awal penelitian menyoroti kedekatan area galian dengan lahan masyarakat. Dalam konteks tersebut, kestabilan lereng tidak hanya berkaitan dengan keberlanjutan kegiatan galian tetapi juga keselamatan lingkungan di sekitarnya. Variasi 70° memiliki margin keamanan terkecil di antara model sehingga perubahan kondisi yang tidak dimodelkan dapat menjadi perhatian pada evaluasi lapangan.

Penelitian sumber secara eksplisit belum menganalisis perkuatan. Penulis sumber menyarankan penelitian lanjutan mengenai perkuatan lereng galian Kalumata menggunakan GeoSlope/W. Dengan demikian, rekomendasi yang dapat ditarik langsung dari penelitian ini adalah melakukan kajian perkuatan sebagai tahap berikutnya, bukan menetapkan jenis atau dimensi perkuatan tertentu tanpa analisis tambahan.

IV. KESIMPULAN

1. Pemodelan stabilitas lereng galian Kalumata dapat dilakukan menggunakan metode Limit Equilibrium pada GeoSlope/W dengan model dua dimensi, material Mohr-Coulomb, dan pencarian bidang longsor melalui proses solving untuk memperoleh faktor keamanan minimum.
2. Parameter tanah yang digunakan adalah berat isi 21 kN/m^3 , kohesi $2,46 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser dalam $39,24^\circ$. Analisis dilakukan pada variasi kemiringan 30° , 40° , 50° , 60° , dan 70° tanpa perkuatan.
3. Nilai faktor keamanan yang diperoleh berturut-turut adalah 3,199; 2,176; 1,676; 1,579; dan 1,329. Faktor keamanan menurun ketika kemiringan lereng

meningkat. Lereng 30° merupakan kondisi paling stabil, sedangkan lereng 70° merupakan kondisi paling kritis dari variasi yang dianalisis.

4. Sesuai kesimpulan pada bahan penelitian, seluruh variasi model masih dinyatakan stabil. Penelitian belum membahas desain perkuatan, sehingga kajian lanjutan mengenai perkuatan lereng galian Kalumata dengan GeoSlope/W direkomendasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Khairun dan Laboratorium Mekanika Tanah atas dukungan data pengujian yang digunakan dalam penelitian, serta kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan pengamatan dan pengumpulan data di lokasi galian Kalumata.

REFERENSI

- [1] S. Akhwan dan E. W. Eko, "Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program Plaxis, Slope/W, dan Metode Bishop," Skripsi, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, 2016.
- [2] D. U. Bayu, "Analisa Stabilitas Lereng Dengan Metode Equilibrium Studi Kasus Lereng Cipilarang," Depok, 2010.
- [3] Diana dkk., "Analisis Stabilitas Lereng Tanah Berbutir Kasar dengan Uji Model Fisik," Bandung, 2016.
- [4] B. M. Das, N. Endah, dan I. B. Mochtar, Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis). Jakarta: Erlangga, 1995.
- [5] B. M. Das, Advanced Soil Mechanics. New York: McGraw-Hill, 1983.
- [6] H. C. Hardiyatmo, Mekanika Tanah I. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.
- [7] H. C. Hardiyatmo, Mekanika Tanah II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2003.
- [8] D. Kusuma, "Kestabilan Lereng terhadap Bahaya Longsor," 2013.
- [9] S. Rusdi, "Desain Konstruksi Terasering Lereng Galian Material Kalumata Dengan Sistem Perkuatan Geotextile," Ternate.
- [10] A. Tati dkk., "Analisis Stabilitas Lereng Area Timbunan Menggunakan Metoda Keseimbangan Batas Pada Tambang Terbuka Batu Bara," 2017.

[11] G. Tjie Liing dan J. Dave, “Analisis Stabilitas Lereng Limit Equilibrium dan Finite Element,” Jurnal HATTI-PIT-XVI, Jakarta, 2012.