

Rancangan Geometri Lereng Penambangan Bijih Nikel Laterit pada Blok Ulusawa 10 Pt Gerbang Multi Sejahtera Kecamatan Laonti Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara

Hardiyanti Hakim¹, Erwin Anshari², Marwan Zam Mili³

^{1,3} Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Halu Oleo, Indonesia

²Kampus Bumi Hijau Tri Dharma Anduonohu, Kendari, Indonesia²
hrdyntihkim21@gmail.com

Abstrak:

Nilai faktor keamanan lereng tambang di Indonesia diatur dalam Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi geometri lereng penambangan yang stabil dan optimal berdasarkan sifat fisik dan sifat mekanik tanah penyusun lereng pada rencana penambangan Blok Ulusawa 10 PT. Gerbang Multi Sejahtera. Metode yang digunakan dalam penentuan kestabilan lereng pada penelitian ini adalah metode *Bishop Simplified*. Hasil penelitian menunjukkan simulasi kestabilan lereng pada profil endapan nikel laterit dalam kondisi terdistribusi beban tambahan oleh alat gali-muat *Excavator* Sumitomo SH350 HD-6 sebesar 56 kN/m² dan beban dari alat angkut *Dumptruck* Mercedes Benz Axor 2528C (6x4) sebesar 13,30 kN/m² serta pengaruh getaran gempa sebesar 0,4 gal (Aulia et al., 2019). Untuk lereng tunggal setinggi 5 meter lapisan *Saprolite* pada kondisi dinamis dengan sudut 45° dan lebar *Bench* 2 meter adalah material yang memiliki nilai FK paling rendah, yaitu FK = 1,590 dengan PL = 3,10% sehingga dapat mewakili semua material sebagai kondisi paling pesimis dan digunakan sebagai acuan untuk merancang geometri lereng keseluruhan dengan tinggi maksimum 65 meter. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan untuk rekomendasi geometri lereng penambangan menggunakan geometri lereng keseluruhan dengan tinggi maksimum 65 meter, lebar *bench* 2 meter, lebar *ramp* 9 meter dengan FK dalam kondisi dinamis sebesar 1,226 dan PL = 17,70% serta sudut kemiringan lereng keseluruhan 27° dengan nilai FK dalam keadaan terdistribusi beban (dinamis) = 1,203 dan PL = 13,10%.

Kata Kunci: Geoteknik Tambang, Faktor Keamanan, Rekomendasi Lereng

Abstract:

The value of the safety factor for mining slopes in Indonesia is regulated in Minister of Energy and Mineral Resources Decree No. 1827 K/30/MEM of 2018 concerning Guidelines for Implementing Good Mining Engineering Principles. This research aims to provide recommendations for stable and optimal mining

slope geometry based on the physical and mechanical properties of the soil making up the slope in PT's Ulusawa Block 10 mining plan. Multi Sejahtera Gate. The method used to determine slope stability in this research is the Bishop Simplified method. The results of the research show a simulation of slope stability in the nickel laterite deposit profile under conditions of distributed additional load by the Sumitomo SH350 HD-6 Excavator digging and loading equipment of 56 kN/m² and the load from the Mercedes Benz Axor 2528C (6x4) Dumptruck transport equipment of 13.30 kN /m² and the influence of earthquake vibrations of 0.4 gal. For a single slope 5 meters high, the Saprolite layer in dynamic conditions with an angle of 45o and a Bench width of 2 meters is the material that has the lowest FK value, namely FK = 1.590 with PL = 3.10% so that it can represent all materials as the most pessimistic condition and is used as a reference for designing the overall slope geometry with a maximum height of 65 meters. Based on the research results, it can be concluded that recommendations for mining slope geometry use an overall slope geometry with a maximum height of 65 meters, a bench width of 2 meters, a ramp width of 9 meters with FK in dynamic conditions of 1.226 and PL = 17.70% and an overall slope angle of 27o with FK value in distributed load (dynamic) = 1.203 and PL = 13.10%.

Keywords: Mine Geotechnics, Factor of Safety, Slope Recommendation.

Pendahuluan

Kegiatan penambangan sering mengalami permasalahan yang bersumber pada masalah geoteknik (Arif, 2016). Penggalian pada suatu massa tanah dan batuan akan menyebabkan terjadinya perubahan distribusi tegangan pada lereng tersebut yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng dan pada akhirnya dapat menyebabkan longsor. Faktor lain seperti kondisi air tanah juga dapat mempengaruhi tingkat kerawanan terjadinya longsor. Adanya longsor pada suatu lereng tambang akan menimbulkan kerugian, diantaranya kerusakan alat-alat berat yang beroperasi, kerusakan sarana dan prasarana di tambang, terganggunya kegiatan produksi dan kehilangan nyawa manusia. Hal ini tentu tidak diinginkan oleh perusahaan, termasuk PT. Gerbang Multi Sejahtera.

Perseroan Terbatas (PT) Gerbang Multi Sejahtera akan melaksanakan kegiatan penambangan bijih nikel laterit di Kecamatan Laonti, Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara dengan luas IUP $\pm$ 2.300 Ha. Saat ini PT. GMS akan melakukan penambangan pada blok baru yaitu blok Ulusawa 10 dengan luas $\pm$ 9 Ha menggunakan metode tambang terbuka (open cast mining). Metode ini sering dihadapkan pada permasalahan penentuan geometri lereng yang aman untuk kegiatan penambangan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu kajian analisis stabilitas lereng yang akan diterapkan berupa rancangan geometri lereng tunggal (single slope) dan rancangan geometri keseluruhan (overall slope) yang optimum (Djainal & Nurdin, 2022). Lokasi penelitian bermaterial tanah oleh karena itu, rancangan geometri lereng ini dilakukan dengan menggunakan konsep Kesetimbangan Batas (Limit Equilibrium) metode Bishop

Simplified. Dalam perhitungannya, metode Bishop tidak hanya melakukan perhitungan terhadap jenis litologi batuan tetapi juga melakukan perhitungan terhadap jenis litologi tanah selain itu juga metode ini melakukan pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari nilai faktor keamanan minimum serta memperhitungkan gaya-gaya antar irisan dan mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran.

1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Kemantapan (stabilitas) lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan penggalian dan penimbunan tanah, batuan dan bahan galian, karena menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi (Toha, 2019). Meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, namun lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor (Amrullah et al., 2019).

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi suatu kestabilan lereng, yakni sebagai berikut:

2. Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Material

Sifat fisik dan sifat mekanik tanah atau batuan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan dari lereng karena berhubungan dengan besar kecilnya nilai kuat geser. Kelongsoran yang terjadi pada lereng merupakan peristiwa keruntuhan geser. Sehingga analisis kestabilan lereng tanah atau batuan perlu mengetahui sifat fisik dan sifat mekanik tanah atau batuan (Wyllie & Mah, 2004).

Adapun sifat fisik dan mekanik tanah atau batuan yang diperlukan dalam melakukan analisis kestabilan lereng adalah sebagai berikut:

1. Sudut gesek dalam (ϕ)

Sudut gesek dalam (ϕ) adalah sudut yang dibentuk dari hubungan tegangan normal dengan tegangan geser dalam material tanah/batuan. Sudut gesek dalam juga merupakan sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenakan tegangan yang melebihi tegangan gesernya. Uji geser langsung dan uji triaksial perlu dilakukan untuk mengetahui besar sudut gesek dalam.

2. Kohesi (c)

Kohesi (c) adalah kuat tarik menarik antar butiran tanah/batuan yang dinyatakan dalam satuan kilo pascal (kPa). Bila kuat gesernya semakin besar, maka semakin besar pula harga kohesi dari tanah/batuan tersebut. Ini berarti tanah/batuan dengan kohesi yang besar dapat dibuat lereng dengan kemiringan yang besar untuk nilai faktor keamanan yang sama. Harga kohesi didapat dari analisis laboratorium, yaitu dengan uji geser langsung dari uji triaksial.

3. Bobot isi (γ)

Bobot isi (γ) tanah/batuan berperan dalam menimbulkan tekanan pada permukaan bidang longsor, yaitu dinyatakan dalam satuan berat per volume. Macam-macam bobot isi adalah : bobot asli, bobot isi kering dan bobot isi jenuh. Bobot isi dapat diketahui dari hasil pengujian laboratorium dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\gamma = \frac{w_2 - w_1}{V}$$

Keterangan :

γ = Bobot isi tanah (kN/m³)
 w_2 = Berat cetakan uji (kN)
 w_1 = Berat cetakan dan benda uji (kN)
 V = Volume tanah (m³)

Geometri lereng yang meliputi kemiringan dan tinggi lereng merupakan salah satu faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap kestabilan lereng. Perubahan tinggi lereng akan mengakibatkan perubahan kestabilan dari lereng yang bersangkutan karena berat material lereng yang harus ditahan oleh kuat geser batuan atau tanah semakin besar. Sudut kemiringan lereng yang besar akan memberikan volume material yang besar juga sehingga beban material pada lereng juga akan semakin besar. Orientasi lereng akan mempengaruhi jenis potensi longsor yang mungkin terjadi pada lereng, karena pada dasarnya potensi longsor dapat diketahui melalui orientasi bidang ketidak-menerusan pada suatu massa batuan yang kemudian disesuaikan dengan orientasi lereng (Zen et al., 2021).

Struktur geologi yang dapat mempengaruhi kemantapan lereng meliputi:

1. Struktur material penyusun lereng.
2. Orientasi mineral dan stratigrafi.
3. Bidang-bidang diskontinuitas seperti sesar, kekar, dan lipatan.

Struktur geologi yang mempengaruhi kemantapan lereng adalah adanya bidang-bidang *discontinue* atau bidang-bidang lemah seperti sesar dan kekar. Hal yang terpenting dalam bidang *discontinue* adalah adanya pengaruh tekanan air yang berada pada rekahan tarik.

Selain adanya rembesan air bidang *discontinue* tersebut, rekahan tarik juga akan terisi oleh material pengisi yang dapat memisahkan dua sisi batuan, batuan tersebut akan mempunyai kuat geser yang kecil untuk menahan potensi longsor. Kondisi bidang lemah dan penyebarannya perlu diketahui untuk menentukan arah dan jenis longsor yang terjadi pada massa batuan tersebut. Bila jenis longsor diketahui maka lebih mudah untuk menentukan geometri dan orientasi lereng yang mantap dengan melakukan analisis kestabilan lereng.

Iklim berpengaruh terhadap kemantapan lereng karena iklim mempengaruhi perubahan temperatur. Temperatur yang cepat sekali berubah akan mempercepat proses pelapukan batuan. Untuk daerah tropis proses pelapukan lebih cepat berlangsung dibandingkan pada daerah dingin. Oleh karena itu singkapan batuan pada lereng daerah tropis akan lebih cepat lapuk. Sedangkan adanya air tanah akan berpengaruh negatif terhadap kestabilan lereng. Lereng menjadi kurang mantap karena air tanah akan menyebabkan ikatan antara molekul menjadi kecil sehingga akan menimbulkan adanya bidang gelincir pada lereng dan akan menambah berat lereng.

Kondisi air tanah yang berada dibawah permukaan tanah akan mempengaruhi kekuatan tanah, hal ini terjadi karena air tanah mempunyai tekanan yang dapat mempengaruhi besarnya tegangan normal pada permukaan geser. Jadi dapat dikatakan bahwa suatu lereng yang mengandung air tanah maka lereng tersebut kurang mantap jika dibandingkan dengan lereng yang tidak mengandung air tanah pada geometri yang sama [6].

Gaya luar dapat mempengaruhi kemantapan suatu lereng. Gaya ini berupa getaran-getaran yang berasal dari sumber yang berada di dekat lereng tersebut. Getaran ini misalnya ditimbulkan oleh peldekan, lalu lintas kendaraan, gempa bumi dan lain-lain (Wyllie & Mah, 2004).

Mohr (1910) dalam (Energi, 2018) memberikan teori mengenai kondisi keruntuhan suatu bahan. Teorinya adalah bahwa keruntuhan suatu bahan dapat terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser.

Kriteria keruntuhan Mohr-coulomb adalah suatu kriteria runtuh massa batuan yang tersusun atas persamaan linier antar tegangan-tegangan utama, dimana peranan tegangan menengah (σ_2) diabaikan karena tidak memberi pengaruh pada keruntuhan batuan (Saputra & Heriyadi, 2019). Secara garis besar Mohr-coulomb dapat diartikan sebagai fungsi dari tegangan principal utama mayor (σ_1), tegangan prinsipal utama minor (σ_3), serta tegangan geser (Jaeger dkk., 2007).

$$\tau = c + \sigma \times tg$$

Keterangan:

τ = Tegangan geser

C = Kohesi tanah (kN/m²)

ϕ = Sudut geser dalam (o)

σ_n = Tegangan normal pada bidang runtuh

Faktor keamanan dari grafik Mohr-Coulomb didapat dengan membagi panjang garis dari titik pusat lingkaran mohr ketitik pertemuannya dengan garis kurva instrisik tegangan geser batuan dengan jari-jari dari lingkaran mohr (Supandi, 2015).

Di antara metode irisan lainnya, metode Bishop Simplified merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng (Cahyono, 2022). Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar irisan sama dengan nol ($X=0$) dan bidang runtuh berbentuk sebuah bidang busur lingkaran. Kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya dalam arah vertikal setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh semua irisan, sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi (Hasan & Heriyadi, 2020).

$$F = \frac{\sum [c \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \tan \phi] \left(\frac{1}{\cos a (1 + \tan a \cdot \tan \phi)} \right)}{\sum W \cdot \sin a}$$

Keterangan:	
F	Faktor Aman
c	Kohesi Tanah efektif (kN/m ²)
ϕ	Sudut gesek dalam tanah efektif (°)
b	Lebar irisan ke- i (m)
W	Berat irisan tanah ke- i (kN/m ²)
α	Sudut yang didefinisikan dalam gambar 2.12 (°)
u	Tekanan pori pada irisan ke- i

	(kN/m ²)
M_i	Fungsi <i>trial and error</i> dari nilai F (Fanani et al., 2021).

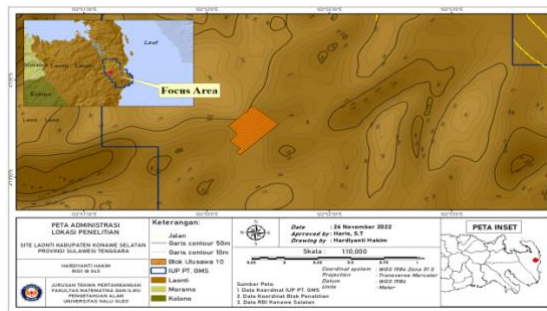
Metode

1. Jenis Penelitian

Penelitian mengenai “Analisis Kestabilan Lereng” menggunakan metode atau jenis penelitian kuantitatif. Penelitian ini dilakukan secara sistematis sehingga dapat berjalan secara obyektif dimana proses penelitian mengikuti alur yang telah direncanakan serta dilakukan analisis data setelah semua data terkumpul sehingga data yang didapatkan jelas, rinci, dan spesifik

2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian ini berlangsung pada bulan Juli - September 2023 dalam kurun waktu ± 2 bulan pada Blok Ulusawa 10 PT. Gerbang Multi Sejahtera. PT. GMS secara administratif terletak di Kecamatan Laonti, kabupaten Konawe selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara dengan IUP sebesar ± 2.300 Ha. Lokasi ini dapat ditempuh melalui jalur darat dan laut yang berjarak ± 50 KM dari Kota Kendari menuju lokasi penambangan dengan menggunakan kendaraan roda dua atau roda empat selama ± 2 Jam dan dilanjutkan dengan menggunakan kapal selama ± 3 jam. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

3. Bahan atau Materi Penelitian

Bahan atau materi penelitian yang digunakan berupa data primer dan data sekunder. Data-data tersebut diantaranya:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dengan melakukan pengamatan lapangan pada objek penelitian, yaitu berupa data pengambilan sampel tanah.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang sudah ada dan dikumpulkan selama kegiatan penelitian baik yang bersumber dari studi literatur maupun referensi seperti internet serta instansi yang memberikan penjelasan atau gambaran umum mengenai informasi yang terkait dengan permasalahan dalam penelitian ini, yakni data IUP dan Blok area

penelitian, data geologi, data pit limit, data sebaran titik bor, peta topografi, peta cekungan air tanah, peta zonasi gempa, serta spesifikasi alat gali-muat dan alat angkut.

4. Instrumen Penelitian

Instrumen dan peralatan yang digunakan selama penelitian yang sifatnya membantu dalam pengambilan data di lapangan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Alat dan Bahan Penelitian Beserta Kegunaannya

No.	Alat dan Bahan	Kegunaan
1	ATK	Sebagai alat untuk mencatat data – data pada saat melakukan penelitian di lapangan
2	GPS (<i>Global Positioning System</i>)	Sebagai alat untuk mengetahui koornitat pada lokasi penelitian
3	Tabung (<i>Shelby Tube</i>)	Sebagai alat untuk mengambil sampel tanah
4	Excavator Doosan	Sebagai alat dalam pengambilan sampel tanah
5	Kamera	Sebagai alat untuk dokumentasi di lapangan
6	Laptop	Menjalankan program (<i>software</i>) yang digunakan dalam pengolahan data
7	<i>Software Arcgis</i>	Untuk membuat peta
8	<i>Software Surpac</i>	Untuk mengolah data topografi dan data bor
9	<i>Software Rockscience Slide</i>	Untuk menentukan nilai faktor keamanan lereng

3. Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, pengambilan dan pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data primer yang diambil langsung di lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan yang kemudian diolah dan dilakukan analisa data. Proses kegiatan yang dilakukan yaitu :

1. Melakukan peninjauan langsung pada lereng aktual di lapangan
2. Pengambilan sampel tanah secara langsung dilapangan berdasarkan perlapisan tanah menggunakan tabung *shelby tube* dengan bantuan *excavator*, sampel tanah yang akan diambil merupakan sampel tanah yang tidak terganggu untuk dilakukan pengujian laboratorium.
3. Membuat geometri lereng dari data sekunder yaitu data bor dan data topografi blok W14 PT. Gerbang Multi Sejahtera dengan menggunakan *Software Surpac* dan *Arcgis* untuk kemudian dilanjutkan pengolahan data menggunakan *Software Rockscience Slide*. Tahap ini bertujuan untuk menampilkan garis penampang lereng aktual beserta batas *lithology*nya.

4. Melakukan uji laboratorium untuk mengetahui sifat fisik dan sifat mekanik tanah berupa kohesi (c), bobot isi (γ), dan sudut geser dalam.
5. Penentuan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas kelongsoran berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM-RI/2018.
6. Membuat rekomendasi geometri lereng yang baru untuk lereng yang memiliki nilai faktor keamanan yang tidak stabil berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM-RI/2018.

3. Pengumpulan Data Lapangan

Pengumpulan data penelitian dimulai saat peninjauan lapangan secara langsung untuk memperoleh data primer dan data sekunder. berdasarkan penelitian ini akan didapatkan beberapa data berupa sampel tanah, data IUP dan blok area penelitian, data geologi regional dan lokal, data pit limit, serta data sebaran titik bor, peta zonasi gempa Indonesia, peta cekungan air tanah serta spesifikasi alat gali-muat dan alat angkut. Data-data tersebut kemudian akan digunakan dalam pengolahan serta analisis data dalam perancangan dan penentuan nilai faktor keamanan berdasarkan KEPMEN ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018.

4. Pengolahan dan Analisa Data

Setelah semua data primer dan data sekunder diperoleh, kemudian data diolah dengan bantuan aplikasi (software) Arcgis, Surpac, AutoCad dan Slide. Dari hasil pengolahan data, selanjutnya dilakukan perhitungan dan analisa dari data yang telah diolah serta membuat desain atau rancangan yang akan disajikan dalam bentuk tabel, gambar maupun grafik. Kemudian, melakukan evaluasi hasil pengolahan dan analisis data dengan tujuan memperoleh kesimpulan.

Hasil dan Pembahasan

1. Penyelidikan Lapangan

Langkah awal dari metodologi penelitian rancangan geometri lereng penambangan adalah mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam pengolahan dan analisis data. Salah satu caranya adalah melakukan penyelidikan lapangan. Pemahaman mengenai kondisi lapangan merupakan hal yang sangat penting dalam melakukan perancangan geometri lereng. Tahap ini harus dilakukan dengan baik dan teliti agar diperoleh suatu desain lereng yang paling mendekati keadaan sebenarnya. Pada bab ini akan dibahas mengenai penyelidikan lapangan yang harus dilakukan dan data-data apa yang harus diperoleh sebagai masukan bagi perancangan suatu lereng tambang.

2. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada WIUP mineral milik PT. Gerbang Multi Sejahtera. Setelah dilakukan pengeboran eksplorasi dapat diketahui jenis tanah dan batuan pada lokasi tersebut yang terdiri atas lapisan limonite dan saprolite. Area penambangan PT. Gerbang Multi Sejahtera tidak memiliki cekungan air tanah yang potensial berdasarkan Peta Cekungan Air Tanah Provinsi Sulawesi Tenggara.

3. Peta Topografi dan Peta Lokasi Lubang Bor Daerah Penelitian

Peta topografi digunakan untuk mengetahui kondisi permukaan tanah (ketinggian) di daerah penelitian. Berdasarkan peta topografi dan pengamatan lapangan

langsung, daerah penelitian merupakan daerah pegunungan. Peta lokasi lubang bor kemudian digunakan untuk mengetahui lokasi titik bor di daerah penelitian.

4. Data Geoteknik Lapangan

Pada penelitian ini pengambilan data geoteknik berupa sampel tanah yang dilakukan di sekitar areal blok penambangan Ulusawa 10 yang belum dibuka atau masih dalam kondisi virgin (vegetasi hutan) melalui kegiatan pengeboran eksplorasi yang dilakukan dari dua lubang bor yang mewakili area sekitarnya dengan urutan penyusunan zona bawah permukaan yang masih sama. Dimana data geoteknik ini akan digunakan untuk penentuan sifat fisik dan sifat mekanika tanah yang nantinya akan digunakan sebagai material properties dalam perhitungan faktor keamanan lereng. Kode lubang bor eksplorasi yang diambil sampel core dan koordinat lokasinya tertera pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Kode Lubang Bor Eksplorasi

No	Lubang Bor	Koordinat (m) UTM Zona 51S		
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>
1	W9F	485,576,354	9,533,520,813	393
2	AD22	485,506,673	9,533,571,645	405

5. Pengujian laboratorium

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis dan atau mendapatkan parameter nilai bobot isi dari sifat fisik dan nilai sifat mekanik dari suatu conto tanah berdasarkan pelapisan profil endapan nikel laterit.

1. Pengujian Sifat Fisik Conto Tanah

Dalam pengujian sifat fisik pada tanah akan diperoleh hasil bobot isi tanah. Pengujian sifat fisik tanah bertujuan untuk menentukan nilai bobot isi tanah yang terbagi menjadi dua yaitu bobot isi kering, dimana tanah hanya tersusun atas butir-butir tanah dan pori-pori udara. Sedangkan bobot isi basah yaitu tanah yang tersusun atas bagian padat atau butiran tanah dan air pori.

Tabel 3. Hasil Pengujian Bobot Isi Tanah

Sampel	Tabung	Bobot Isi Kering (g/cm ³)	Bobot Isi Kering (kN/m ³)	Bobot Isi Basah (g/cm ³)	Bobot Isi Basah (kN/m ³)
1	<i>Limonite</i>	1,16	11,34	1,95	19,14
2	<i>Saprolite</i>	0,83	8,17	1,50	14,67

2. Pengujian Kuat Geser langsung Tanah

Pengujian sifat mekanika tanah bertujuan untuk menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang merupakan nilai yang menentukan ketahanan geser tanah dengan mengubah tegangan geser dan tegangan normal pada sampel.

Tabel 4. Hasil Pengujian Bobot Isi Tanah

No	Conto	Koheksi (c)		Sudut Geser Dalam (ϕ)°
		kg/cm ²	kN/m ²	
1	<i>Limonit</i>	0.23	22.61	35.1
2	<i>Saprolit</i>	0.20	19.47	32.2

6. Rancangan Geometri Penambangan

Rancangan geometri lereng penambangan perlu dilakukan karena merupakan salah satu data masukan untuk kegiatan perencanaan tambang (Kurnia et al., 2018). Pada kegiatan penambangan semakin tegak lereng maka akan semakin banyak perolehan bahan galian yang didapatkan, akan tetapi semakin tegak suatu lereng maka kemungkinan terjadinya longsor pada lereng tersebut juga semakin besar.

Oleh karena itu untuk menentukan kemiringan lereng yang optimum dibutuhkan suatu rekomendasi geoteknik, berupa rancangan geometri lereng tunggal (single slope), inter-ramp dan lereng keseluruhan (overall slope), sehingga akan mengurangi kemungkinan terjadinya longsor dan menciptakan kondisi kerja yang lebih aman dan stabil.

3. Material Penyusun Lereng

Berdasarkan hasil pengeboran eksplorasi pada daerah penelitian didapatkan dua lapisan material yaitu Limonite dan Saprolite yang terakumulasi menjadi satu kesatuan di dalam tanah penyusun lereng yang ada di lokasi penelitian. Perusahaan berencana untuk melakukan penambangan pada material endapan bijih nikel yaitu Saprolite.

4. Rancangan Geometri Lereng Tunggal

Rancangan geometri lereng tunggal menggunakan pendekatan sebagai berikut:

1. *Material properties* yang digunakan merupakan hasil dari uji laboratorium sifat fisik dan sifat mekanika tanah.
2. Dalam analisis lereng tunggal material dalam satu perlapisan dianggap homogen dan memiliki koheksi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) dari pengujian kuat geser langsung..
3. Pemodelan lereng tunggal dilakukan pada masing-masing litologi dengan sudut kemiringan lereng 40°, 45°, 50°, 55°, dan 60°.
4. Perusahaan menetapkan tinggi lereng tunggal adalah 5 meter dengan menyesuaikan alat gali-muat yang digunakan yaitu PC-200
5. Lereng tunggal dianggap stabil apabila memiliki FK >1,1 dan PL <25% - 50% sesuai dengan Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018.
6. Metode kestabilan lereng yang digunakan adalah metode kesetimbangan batas yaitu metode *Bishop Simplified* dengan pendekatan perhitungan kriteria keruntuhan *Mohr-coloumb*.
7. Percepatan seismik horizontal digunakan berdasarkan Peta Zonasi Gempa Indonesia bernilai <0,4 gal.

5. Rancangan Geometri *Inter-ramp*

Rancangan geometri inter-ramp menggunakan pendekatan sebagai berikut:

1. Material properties yang digunakan merupakan hasil dari uji laboratorium sifat fisik dan sifat mekanika tanah.
2. Kemiringan lereng inter-ramp didapatkan berdasarkan lebar, tinggi serta sudut kemiringan dari jenjang tunggal.
3. Inter-ramp dianggap stabil apabila memiliki $FK > 1,15$ dan $PL < 25\%$ sesuai dengan Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018.
4. Percepatan seismik horizontal digunakan berdasarkan Peta Zonasi Gempa Indonesia bernilai $< 0,4$ gal.
5. Metode kestabilan lereng yang digunakan adalah metode kesetimbangan batas yaitu metode Bishop Simplified dengan pendekatan perhitungan kriteria keruntuhan Mohr-coloumb.

6. Rancangan Geometri Lereng Keseluruhan

Perhitungan analisis kestabilan lereng keseluruhan menggunakan metode kesetimbangan batas dengan metode Bishop Simplified (Azizi et al., 2019).

Berdasarkan data hasil uji sifat fisik dan sifat mekanik tanah yang dilakukan di laboratorium dengan material penyusun lereng berupa tanah maka asumsi utama longsor terjadi adalah longsor busur.

1. Analisis kemantapan lereng dilakukan pada penampang lereng yang memotong pit limit untuk *section south - north* dapat dilihat pada lampiran E.
2. kemiringan lereng keseluruhan didapatkan berdasarkan lebar dan tinggi dari jenjang tunggal.
3. Tinggi lereng keseluruhan didapatkan berdasarkan elevasi tertinggi top to bottom pada pit limit. Adapun model dari pit limit dapat dilihat pada Lampiran E.
4. Variasi kemiringan lereng keseluruhan didapatkan berdasarkan perbedaan sudut kemiringan jenjang pada lereng tunggal yaitu 27° (40°), 30° (45°), 31° (50°), 35° (55°), 37° (60°).
5. Percepatan seismik horizontal digunakan berdasarkan Peta Zonasi Gempa Indonesia bernilai $< 0,4$ gal.
6. Lereng keseluruhan dianggap stabil apabila sesuai dengan kriteria Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 ($FK > 1,2-1,3$ dan $PL < 15\%-20\%$).
7. Metode kestabilan lereng yang digunakan adalah Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*) metode *Bishop Simplified* dengan pendekatan perhitungan kriteria keruntuhan *Mohr-coloumb*.

7. Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan untuk lereng tunggal dan lereng keseluruhan menggunakan masukan data dari hasil uji laboratorium. Untuk menyatakan tingkat kestabilan suatu lereng dikenal istilah faktor keamanan yang dianalisa menggunakan material properties dari sampel tanah hasil uji laboratorium berupa sifat fisik dan sifat mekanika tanah untuk menghitung nilai kritis potensi longsor pada areal penambangan blok Ulusawa 10 yang kemudian nilai-nilai tersebut dikonversi dalam satuan masing-masing dan diolah untuk dianalisis menggunakan software *Rockscience Slide*.

Simulasi perhitungan faktor keamanan bertujuan untuk mendapatkan rekomendasi lereng yang optimal dengan memenuhi standar Faktor Keamanan (FK) sesuai Keputusan Menteri dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang perlunya rekomendasi lereng tambang yang optimum (Aprilia et al., 2019).

Analisis faktor keamanan lereng dilakukan dengan beberapa kondisi yaitu kondisi statis dimana kondisi ini merupakan kondisi pada saat lereng dalam keadaan diam atau tidak dipengaruhi oleh adanya getaran yang disebabkan aktivitas alat berat, aktivitas peledakan maupun getaran karna pengaruh gempa bumi (Hafidz et al., 2019). Sedangkan kondisi dinamis, merupakan kondisi lereng yang dipengaruhi oleh getaran, baik itu getaran yang disebabkan oleh aktivitas alat berat, aktivitas peledakan maupun adanya getaran karena pengaruh gempa bumi.

Adapun distribusi beban (ρ) untuk menganalisis simulasi kestabilan lereng:

Tabel 5. Distribusi Beban

Distribusi Beban Alat Gali-Muat	
Merk/Tipe	Sumitomo SH350 HD-6
Jenis Kendaraan	EXCAVATOR
Ground Pressure	56 kN/m ²
Distribusi Beban Alat Angkut	
Merk/Tipe	Sumitomo SH350 HD-6
Jenis Kendaraan	Dumptruck
Ground Pressure	13,30 kN/m ²

Distribusi beban diperlukan untuk mengetahui kekuatan suatu lereng secara maksimum, pada analisis ini distribusi beban yang digunakan berdasarkan alat yang digunakan pada lokasi penelitian untuk alat gali-muat (Excavator) Sumitomo SH350 HD-6 dan alat angkut Dumptruck Mercedes Benz Axor 2528C (6x4) dimana alat ini bekerja diatas lereng yang memungkinkan adanya distribusi beban tambahan selain dari lereng itu sendiri yang dipengaruhi oleh geometri lereng dan jenis tanah penyusun lereng tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian, hasil serta pembahasan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa, simulasi kestabilan lereng dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu metode Bishop Simplified dan berdasarkan sifat fisik serta sifat mekanik tanah penyusun lereng pada Blok Ulusawa 10 PT. Gerbang Multi Sejahtera, dengan jenis perlapisan Limonite dan Saprolite, untuk sudut lereng 40 °, 45 °, 50 °, 55 °, dan 60 ° dengan tinggi jenjang 5 meter dinilai masih aman untuk digunakan dalam mendesain lereng tunggal dikarenakan nilai $FK \geq 1,2$ dan $PL \leq 15\%-20\%$.

Untuk *inter-ramp* dengan geometri yang sama dengan lereng tunggal yaitu tinggi jenjang 5 meter lebar bench 2 meter, sudut kemiringan 45°, serta lebar ramp 9 meter diperoleh nilai $FK = 2,143$ dan $PL = 0,40\%$ pada kondisi statis. Sedangkan pada kondisi dinamis diperoleh $FK = 1,226$ dan $PL = 17,70\%$. Sedangkan untuk lereng keseluruhan dengan ketinggian 65 meter diperoleh geometri lereng dengan kemiringan

30° dan lebar bench 2 meter. Dengan menggunakan metode *Bishop Simplified* pada kondisi statis diperoleh nilai $FK = 2,536$ dan $PL = 0,00\%$, sedangkan untuk kondisi dinamis diperoleh $FK = 1,203$ dan $PL = 11,90\%$.

Daftar Pustaka

- Amrullah, M. F., Zakaria, Z., Sophian, R. I., & Tunggal, J. (2019). Optimisasi Kestabilan Lereng Tunggal Lapisan Overburden Rencana Tambang Mahayung Dengan Pendekatan Probabilistik. *Geoscience Journal*, 3(6), 480–488.
- Aprilia, J., Muslim, D., Zakaria, Z., & Tedy, O. (2019). Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit 'Xy' menggunakan Metode Kesenimbangan Batas Pt. Bukit Asam Tbk. *Geoscience Journal*, 3(3), 175–181.
- Arif, I. I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- Aulia, S. N., Zakaria, Z., & Shopian, R. I. (2019). Pengaruh Getaran Terhadap Kestabilan Lereng Untuk Rencana Pembangunan Embung Di Daerah Desa Cileles, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat. *Geoscience Journal*, 3(5), 354–360.
- Azizi, M. A., Karim, R., Marwanza, I., & Ghifari, M. K. (2019). Prediksi Volume Longsoran Tambang Terbuka Nikel Menggunakan Metode Kesenimbangan Batas 3 Dimensi. *Indonesian Mining Professionals Journal Volume1*, 43–48.
- Cahyono, Y. D. G. (2022). Analisis Kestabilan Lereng Highwall berdasarkan tingkat kejenuhan dengan metode probabilitas pada tambang batubara PT. X Kalimantan Timur. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 5(2), 37–42.
- Djainal, H., & Nurdin, N. D. (2022). Analisis Geometri Lereng Pada Pit Penambangan Bijih Nikel PT. Alam Raya Abadi (ARA) Kecamatan Wasile Kabupaten Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara. *DINTEK*, 15(2), 38–50.
- Energi, M. (2018). Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K.
- Fanani, Y., Astuti, A. D., & Paki, A. K. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Tambang CV. Mutiara Timur Berdasarkan Faktor Keamanan. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan Dan Kelautan (SEMITAN)*, 3(1), 277–282.
- Hafidz, A., Fauzan, M., Putra, H., & Daniswara, A. (2019). Analisis Perubahan Faktor Keamanan Lereng Akibat Hujan. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 4(3), 169–176.
- Hasan, B. M., & Heriyadi, B. (2020). Analisis Balik Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit RTS-C Sisi Barat WUP Roto-Samurangau PT. Kideco Jaya Agung, Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. *Bina Tambang*, 5(1), 74–84.
- Kurnia, D., Rusli, H. A. R., & Prabowo, H. (2018). Evaluasi Kondisi Aktual dan Perencanaan Sistem Penyaliran Tambang Emas di Pit Durian, Site Bakan PT. J Resources Bolaang Mongodow, Kecamatan Lolayan, Kotamobagu, Sulawesi Utara. *Bina Tambang*, 3(1), 556–565.

- Saputra, R. A., & Heriyadi, B. (2019). Analisis Klasifikasi Massa Batuan dan Potensi Longsor Pada Area Pit Timur Tambang Terbuka PT. Allied Indo Coal Jaya, Kota Sawalunto, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 4(3), 207–217.
- Supandi, S. (2015). Prediksi Umur Dinding Tambang Berdasarkan Kejadian Longsor yang Pernah Terjadi dengan Bantuan Program Microsoft Access. *Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF)*, 1(1).
- Toha, M. T. (2019). Stabilitas Lereng Disposol Serelo Selatan Di Pt. Bumi Merapi Energi. *Jurnal Pertambangan*, 3(4), 44–51.
- Wyllie, D. C., & Mah, C. (2004). *Rock slope engineering*. CRC Press.
- Zen, Z. A., Adnyano, A. A. I. A., & Rande, S. A. (2021). Rekomendasi Geometri Lereng Penambangan Optimum Pada Tambang Batugamping PT. Citatih Putra Sukabumi. *ReTII*, 544–554.