

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sulawesi Tenggara merupakan provinsi yang memiliki tambang nikel terbesar di Indonesia. Semua nikel yang terdapat di Indonesia adalah nikel laterit. Nikel laterit adalah bijih yang dihasilkan dari proses pelapukan batuan ultrabasa yang ada di atas permukaan bumi. Proses pembentukan nikel laterit diawali dari proses pelapukan batuan ultrabasa, dalam hal ini adalah batuan harzburgit. Batuan ini banyak mengandung olivin, piroksen, magnesium silikat, dan besi. Hasil pelapukan tersebut mengalami transportasi, pemisahan (*sorting*), dan akhirnya terkonsentrasi. Endapan ini mengalami proses laterisasi yang umumnya terjadi di daerah beriklim tropis karena matahari terus bersinar sepanjang tahun dan curah hujan pun cenderung tinggi, secara geografis Sulawesi Tenggara terletak di tepi utara Australia pada Trias Tengah. Oleh karena itu, tipe endapan nikel laterit cukup berlimpah di Indonesia khususnya di Sulawesi Tenggara.

PT Ceria Nugraha Indotama merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan nikel dengan bahan galian nikel laterit. Perusahaan ini terletak di Kabupaten Kolaka, Kecamatan Wolo, Provinsi Sulawesi Tenggara. Dari kabupaten Kolaka menuju PT. Ceria Nugraha Indotama sejauh ± 58 km dapat di tempuh kisaran $\pm 1,5$ Jam. Pada tanggal 19 Agustus 2011, PT Ceria Nugraha Indotama memenangkan lelang yang diselenggarakan oleh pemerintah Kabupaten Kolaka terhadap blok Lapao-pao di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara, dengan total luas IUP sebesar 6.785 ha berdasarkan keputusan Bupati Kolaka No. 327 tahun 2011.

Pertambangan nikel di PT Ceria Nugraha Indotama menerapkan metode penambangan *open cut mining/open cast mining*. Metode penambangan *open cut mining/open cast mining* hampir sama dengan *open pit mining*, tetapi memiliki perbedaan yaitu arah penggalian pada metode *open pit mining* dilakukan dari permukaan yang relatif mendatar menuju ke arah bawah dimana endapan tersebut berada. Sedangkan *open cut mining/open cast mining* dilakukan apabila endapan bijih terdapat di perbukitan. Selain itu pada metode *open cut mining/open cast mining* dalam hal tanah penutup yang tidak dibuang ke daerah pembuangan, tetapi diangkut langsung ke daerah yang berbatasan dan telah ditambang (Fadli, 2015).

Pada metode *open cut mining/open cast mining* terdapat lereng apabila lereng tersebut memiliki kekuatan yang lemah maka akan terjadinya longsor. Lereng tambang yang tidak stabil dapat mengalami kelongsoran hingga lereng menemukan keseimbangan yang baru dan menemukan titik stabil. Longsoran dapat terjadi kapan saja, baik secara perlahan maupun tiba-tiba dengan atau tanpa adanya peringatan terlebih dahulu



merupakan salah satu yang paling sering terjadi pada bidang meningkatnya tegangan geser suatu massa tanah atau menurunnya massa tanah. Adapun beberapa tipe kelongsoran yaitu longsoran jili, longsor busur, dan longsor guling (Amin, 2024).

Dalam penambangan terbuka, desain lereng tambang adalah salah satu faktor terpenting yang harus diperhatikan dalam keberlangsungan kegiatan penambangan karena lereng yang tidak stabil akan mengakibatkan longsor dan kegiatan produksi terganggu/terhenti bahkan kemungkinan adanya korban jiwa. Proses-proses geologi yang terjadi selama dan setelah pembentukan batuan turut mempengaruhi sifat massa batuan (*rock mass properties*), termasuk sifat keteknikannya (*engineering properties*) (Rizki, 2016).

Dalam industri pertambangan, kegagalan pada lereng telah menimbulkan dampak besar, seperti longsor di tambang emas Bolaang Mongondow (2019) dengan 29 korban jiwa, runtuhnya quarry di Gunung Kuda, Cirebon (2025) dengan 19 korban jiwa, serta berbagai kejadian pada tahun 2024–2025. Kasus-kasus tersebut menunjukkan bahwa analisis kestabilan lereng merupakan faktor penting yang memengaruhi keselamatan kerja, efisiensi operasional, dan meminimalkan kerugian material maupun korban jiwa.

Metode *total station* merupakan salah satu teknik pengukuran yang sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Metode ini memungkinkan pemantauan deformasi lereng secara presisi, sehingga membantu dalam mengidentifikasi potensi longsor dan merancang langkah-langkah mitigasi yang tepat. Penggunaan metode ini di *Pit Zambrut CJTP PT Ceria Nugraha Indotama* bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng dan mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kestabilan tersebut.

Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada analisis kestabilan lereng tambang terbuka nikel laterit di *Pit Zambrut* menggunakan metode *total station*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam peningkatan keselamatan kerja, efisiensi operasi tambang, dan pelestarian lingkungan di sekitar lokasi tambang.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui tingkat kestabilan lereng pada daerah penelitian berdasarkan pengamatan menggunakan metode *total station*.
2. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng.
3. Mengetahui pengelolaan lereng yang aman dan efisien.

1.3 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Membantu mengidentifikasi potensi ketidakstabilan lereng, sehingga dapat mengurangi risiko longsor yang bisa membahayakan keselamatan pekerja tambang.
2. Dengan mengetahui kondisi stabilitas lereng, perusahaan tambang dapat merancang desain tambang yang lebih optimal, menghindari kerugian akibat longsor, dan meningkatkan produktivitas.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

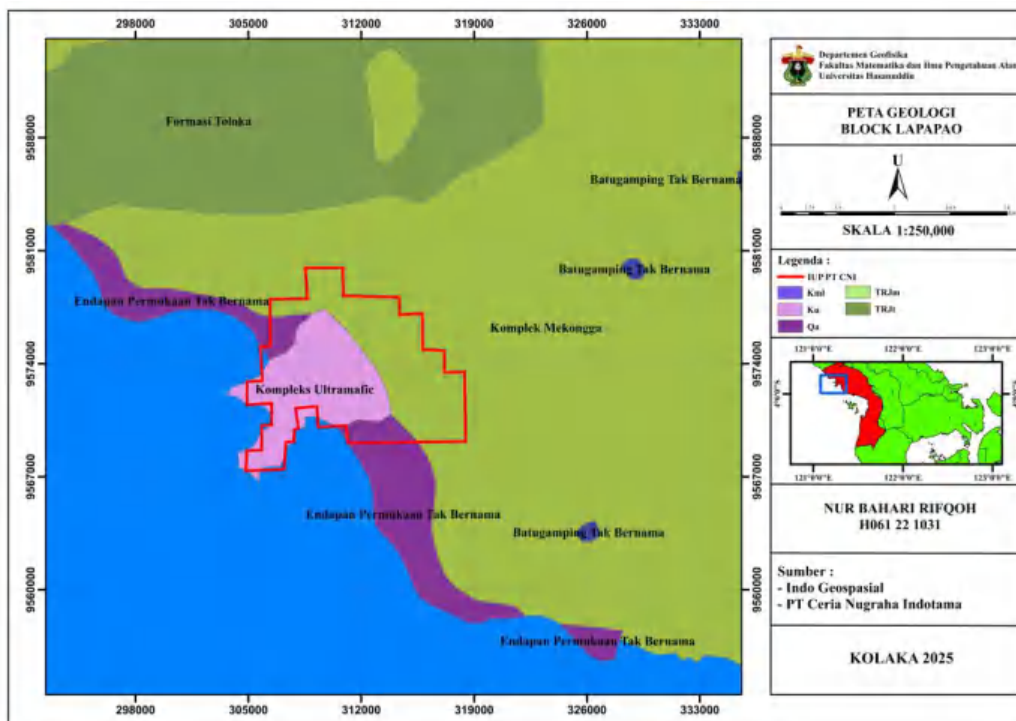
bisa menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya serta menjadi perusahaan tambang lain yang menghadapi tantangan serupa an lereng.

ini membantu perusahaan dalam membuat perencanaan jangka kegiatan penambangan, terutama dalam menghadapi perubahan seiring dengan penggalian material tambang.

1.4 Landasan Teori

1.4.1 Geologi Regional

Peta geologi regional lembar Kolaka – Lasusua 1 : 250.000 terbitan puslitbang geologi, berdasarkan urutan pembentukannya, daerah IUP terutama tersusun oleh batuan sedimen pratersier anggota formasi Meluhu dan formasi Tokala, batuan ultrabasa berumur kapur, dan batuan sedimentersier anggota formasi Alangga serta endapan alluvial berumur kuartar seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1. Peta geologi regional daerah Wolo dan sekitarnya (PT Ceria Nugraha Indotama (CNI), 2025)

1.4.2 Struktur Geologi

Struktur geologi lembar Lasusua-Kendari memperlihatkan kompleks tumbukan dari pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat dibagi menjadi 2 domain yang sangat berbeda, yakni : 1) *allochton* : ofiolit dan malihan, dan 2) *autochton*: batuan gunungapi dan pluton tersier dan pinggiran benua Sundaland, serta kelompok Molasa Sulawesi. Lembar Lasusua, sebagaimana halnya daerah Sulawesi bagian timur, memperlihatkan struktur yang sangat rumit. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pergerakan tektonik yang telah berulang kali terjadi di daerah



yang terdapat pada daerah Wolo berupa sesar geser mendatar, un, kekar yang dijumpai hampir pada semua batuan kompleks mafik ik dan batuan ultramafik, begitu juga perlipatan-perlipatan yang ik sejak mesozoikum (Rusmana, 1993). Pada daerah Wolo banyak yang terisi oleh mineral-mineral sekunder, misalnya garnierit, kalsedon (silika).

1.4.3 Geomorfologi

Tinjauan mengenai geomorfologi regional yang meliputi daerah Wolo dan sekitarnya didasari pada laporan hasil pemetaan geologi lembar Kolaka, Sulawesi Tenggara yang disusun oleh (Rusmana, 1993). Daerah penelitian termasuk dalam geomorfologi regional lembar Kolaka yang dapat dibagi dalam daerah pegunungan, perbukitan, dan daerah dataran.

Daerah pegunungan menempati bagian selatan dan utara. Di bagian selatan terdapat pegunungan yakni pegunungan Blok Lapo-pao dibentuk oleh batuan granit. Sedang bagian utara ditempati pegunungan Tamborasi disusun oleh batu gamping. Daerah perbukitan menempati bagian timur dengan ketinggian 200-700 meter dan merupakan perbukitan agak landai yang terletak diantara pegunungan dan pedataran. Perbukitan ini dibentuk oleh batuan vulkanik, ultramafik, dan batupasir.

1.4.4 Pengertian dan Klasifikasi Nikel Laterit

Endapan mineral logam tipe residual atau residual deposits secara umum didefinisikan sebagai jenis endapan mineral logam yang terbentuk dari pengendapan material hasil pelapukan yang terkonsentrasi dan dipengaruhi aktivitas air tanah. Dalam beberapa kasus, peran air hujan dan permukaan memicu proses pelapukan kimia yang intensif dalam pembentukannya, sehingga tipe ini sangat banyak berkembang pada daerah dengan iklim tropis yang tinggi curah hujannya, material residual tersebut lebih lanjut akan membentuk endapan yang disebut laterit (Raivel, 2020).

Bijih nikel laterit merupakan salah satu sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia. Cadangan bijih nikel laterit di Indonesia mencapai 12% cadangan nikel dunia, yang tersebar di Pulau Sulawesi, Maluku, dan pulau kecil-kecil disekitarnya. Bijih nikel laterit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu saprolit yang berkadar nikel tinggi dan limonit yang berkadar nikel rendah. Perbedaan menonjol dari dua jenis bijih ini adalah kandungan Fe (besi) dan Mg (magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit kandungan Fe tinggi dan Mg rendah. Nikel laterit dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor, seperti sifat kimia, mineralogi, dan proses pembentukannya (Mifta, 2020).

Berikut adalah beberapa kategori umum dalam klasifikasi nikel laterit:

1. Berdasarkan Sifat Kimia:

- Laterit Basa: Terbentuk melalui pelapukan basa yang melibatkan reaksi antara mineral silikat dengan air dan oksigen. Laterit ini cenderung memiliki pH tinggi dan kandungan logam yang lebih rendah dibandingkan laterit asam.
- Laterit Asam: Terbentuk dari pelapukan asam melalui reaksi mineral silikat dengan air dan oksigen. Laterit ini biasanya memiliki pH rendah dan kandungan logam yang lebih tinggi, seperti nikel dan besi.

2. Berdasarkan Mineralogi:



Mineral Nikel Oksida (NiO): Mineral nikel oksida merupakan utama dalam laterit nikel.

Mineral Nikel Karbonat (NiCO_3): Mineral nikel karbonat juga ada beberapa jenis laterit nikel.

3. Berdasarkan Proses Pembentukan:

- Laterit dari Pelapukan Batuan Ultramafik: Batuan ultramafik, seperti serpentinit, mengandung mineral yang dapat larut dalam air, seperti magnesium dan besi, yang berubah menjadi oksida dan karbonat selama pelapukan.
- Laterit dari Pelapukan Batuan Mafik: Batuan mafik juga dapat mengalami pelapukan dan menghasilkan laterit, namun biasanya memiliki kandungan logam yang lebih rendah dibandingkan dengan laterit dari batuan ultramafik.

1.4.5 Faktor-Faktor Pembentukan Nikel Laterit

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan bijih nikel laterit ini sebagai berikut (Kurniadi, 2018):

1. Batuan asal, batuan asal untuk terbentuknya endapan nikel laterit adalah batuan ultrabasa. Terdapat elemen Ni pada olivin dan piroksin.
2. Struktur atau yang umum dijumpai pada zona laterit nikel adalah struktur kekar (*joint*).
3. Iklim, pergantian musim kemarau dan musim penghujan yaitu terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur.
4. Proses pelarutan kimia dan vegetasi, adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan batuan menjadi soil. Air tanah yang mengandung karbon dioksida memegang peranan penting didalam proses pelapukan kimia.
5. Topografi, yang landai akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan.
6. Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi. Waktu laterisasi tiap ketebalan 1 mm membutuhkan waktu 100 tahun.

1.4.6 Metode Penambangan

Metode penambangan yang diterapkan di PT Ceria Nugraha Indotama dengan menggunakan metode *open cut*. Pemilihan metode penambangan ini dikarenakan endapan bijih nikel laterit berada pada daerah pegunungan dan arah sebaran nikel laterit mengarah ke atas sehingga dalam proses penambangannya dimulai dari bawah ke atas.



Metode penambangan *open cut mining* PT Ceria Nugraha Indotama

klasifikasi Lereng

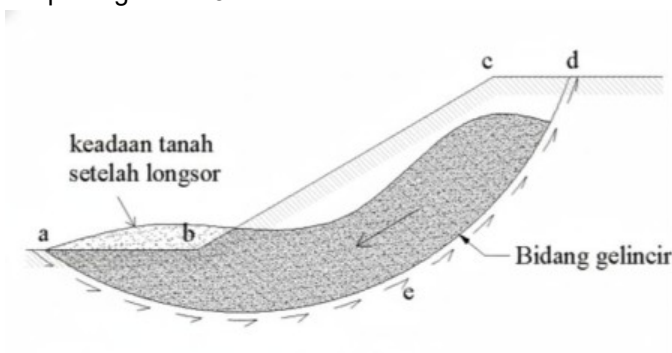
bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan lereng dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng dapat di



bentuk secara alami dan juga dapat di bentuk oleh manusia. Lereng alami yang tampak stabil dapat mengalami longsor tiba-tiba akibat perubahan topografi, aliran air tanah, aktivitas gempa, pelapukan, atau intervensi manusia seperti penggalian. Sementara itu, lereng buatan terbentuk dari timbunan, galian, atau urugan tanah dan sering ditemukan dalam proyek teknik sipil seperti jalan, tanggul, atau bendungan. Lereng timbunan biasanya menggunakan tanah padat dari lokasi pengambilan tertentu dan dianalisis berdasarkan tahapan konstruksi dan kondisi jangka panjang. Timbunan dari material seperti serpih rentan mengalami kelongsoran karena pelapukan, pemadatan yang buruk, dan kejenuhan air. Lereng galian, terutama yang curam karena keterbatasan lahan, perlu dirancang untuk menghadapi risiko longsor langsung maupun jangka panjang. Urugan tanah sering terdiri dari material organik dan sampah, yang sifatnya terus berubah akibat pelapukan, membuat evaluasi stabilitasnya lebih kompleks (Alfatoni, 2023).

Secara umum, longsor terjadi ketika gaya pendorong seperti gravitasi, air, atau gempa lebih besar daripada gaya penahan dalam tanah seperti kohesi dan gesekan. Ketidakseimbangan ini menyebabkan tanah bergerak menuruni lereng melalui bidang gelincir. Perbedaan elevasi tanah secara alami menciptakan potensi pergerakan massa tanah dari tempat tinggi ke rendah. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut.

Kondisi ini dapat dicegah dengan gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Kelongsoran lereng
(Sartika & Yakin, 2016)

1.4.8 Kestabilan Lereng

Kestabilan dari suatu jenjang individual dikontrol oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada daerah tersebut, kondisi air tanah setempat, dan juga oleh teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng. Kestabilan lereng pada batuan dipengaruhi oleh geometri lereng, struktur batuan, sifat fisik dan mekanik batuan



yang bekerja pada lereng tersebut. Suatu cara yang umum untuk menganalisis kestabilan lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya pendorong yang menyebabkan terjadinya longsor (Sepriadi, 2019).

1.4.9 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan musim/iklim/cuaca. Akibat adanya gaya-gaya luar yang bekerja pada material pembentuk lereng menyebabkan material pembentuk lereng mempunyai kecenderungan untuk menggelincir. Kecenderungan menggelincir ini ditahan oleh kekuatan geser material sendiri (Jihad, 2020).

Meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor seperti:

1. Penyebab-penyebab eksternal yang menyebabkan naiknya gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh, antara lain yaitu :
 - a. Perubahan geometri lereng
 - b. Penggalan pada kaki lereng
 - c. Pembebanan pada puncak atau permukaan lereng bagian atas
 - d. Gaya vibrasi yang ditimbulkan oleh gempa bumi atau ledakan
 - e. Penurunan muka air tanah secara mendadak
2. Penyebab-penyebab internal yang menyebabkan turunnya kekuatan geser material, antara lain yaitu:
 - a. Pelapukan
 - b. Keruntuhan progressive
 - c. Hilangnya sementasi material
 - d. Berubahnya struktrul material

Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja.

1.4.10 Gerakan Massa Tanah/Batuan

Gerakan massa tanah/batuan adalah proses pergerakan material penyusun lereng meluncur atau jatuh ke arah kaki lereng karena kontrol gravitasi bumi. Dari pengertian tersebut, material penyusun lereng adalah tanah atau batuan pembentuk suatu lereng adalah tanah atau batuan pembentuk suatu lereng (Karnawati, 2007).

Tabel 1. Tabel klasifikasi gerakan massa tanah/batuan

JENIS GERAKAN MASSA TANAH / BATUAN	JENIS MATERIAL			
	BATUAN		TANAH	
			Berbutir Kasar	Berbutir Halus
	Runtuhan batuan		Runtuhan bahan rombakan	Runtuhan tanah
	Robohan batuan		Robohan bahan rombakan	Robohan tanah
	Beberapa Unit	Nendatan batuan	Nendatan bahan rombakan	Nendatan tanah
SI				

TANAH / BATUAN	TRANS LASI		Gerakan massa tanah/batuan blok batuan	Gerakan massa tanah/batuan blok bahan rombakan	Gerakan massa tanah/batuan blok tanah
		Banyak Unit	Gerakan massa tanah/batuan batuan	Gerakan massa tanah/batuan bahan rombakan	Gerakan massa tanah/batuan tanah
PENCARAN LATERAL		Pencaran batuan		Pencaran bahan rombakan	Pencaran tanah
ALIRAN		Aliran batuan (rayapan dalam)		Aliran bahan rombakan	Aliran pasir/lanau basah
				Solifluction	Aliran pasir kering
				Lawina bahan rombakan	Aliran tanah
				Rayapan bahan rombakan	Aliran lepas
				Aliran blok	
KOMPLEKS		Campuran dari dua (atau lebih) jenis gerakan			

Sumber : (Karnawati, 2007)

1.4.11 Pengaruh Struktur Terhadap Lereng

Struktur geologi menjadi salah satu faktor yang memengaruhi kestabilan lereng tambang. Orientasi arah struktur juga dapat menambah potensi terjadinya longsoran ketika searah dengan kemiringan lereng karena berpotensi mengalami *sliding* dan menjadi bidang gelincir pada lereng tambang terbuka (Ramadhianty, 2023).

Pada daerah Wolo banyak terdapat kekar-kekar yang terisi oleh mineral-mineral sekunder, misalnya garnierit, krisopras, asbes, dan kalsedon (silika). Pola struktur geologi kekar dan sesar terhadap lereng akan sangat berpengaruh dalam menentukan tipe kegagalan, arah kegagalan, serta geometri kegagalan. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh struktur geologi yang tersingkap saat ini dengan menggunakan analisis kestabilan lereng. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng aktual dan dapat meminimalisir terjadinya kegagalan batuan.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

1 Kestabilan Lereng

Salah satu lereng alami maupun lereng buatan serta lereng timbunan, beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai penyebab ketidakstabilan lereng adalah gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap ketidakstabilan lereng. Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut stabil dan tidak akan terjadi longsoran.

Sebenarnya, longsor merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerakannya (Mulianto, 2022).

Faktor keamanan (*Factor of Safety*) merupakan perbandingan antara besarnya gaya penahan dengan gaya penggerak longsor dan dinyatakan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya penggerak}} \quad (1)$$

Apabila nilai FK untuk suatu lereng $> 1,0$ (gaya penahan $>$ gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi stabil. Namun, apabila nilai FK $< 1,0$ (gaya penahan $<$ gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan mungkin akan terjadi longsor pada lereng tersebut. Fungsi faktor keamanan adalah menjelaskan ketidakpastian dan tingkat kepercayaan hal-hal yang dimasukkan dalam analisis, seperti parameter kekuatan, distribusi tekanan pori dan jenis lapisan tanah/batuan, nilai faktor keamanan yang akan dipakai di dalam rancangan akan bervariasi sesuai dengan jenis material dan hasil yang dibutuhkan. Kekuatan geser yang dibutuhkan untuk mempertahankan kestabilan permukaan yang potensial mengalami keruntuhan dihitung dan dibandingkan dengan besarnya kekuatan yang tersedia. Nilai faktor keamanan dan probabilitas longsor tambang dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Faktor keamanan lereng

Jenis Lereng	Keparahan Longsor	Kriteria Dapat Diterima		
		FK Statis	FK Dinamis	PoF (FK ≤ 1)
Lereng tunggal	Rendah s.d Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

(Keputusan Menteri No. 1827 K/30/MEM/2018, Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik)

1.4.13 Metode *Bishop*

Metode *Bishop* bekerja berdasarkan prinsip keseimbangan batas yaitu menghitung kekuatan geser yang akan mempertahankan kemantapan, dibandingkan dengan besarnya tegangan geser yang bekerja. Harga perbandingan ini adalah faktor keamanan



Metode *Bishop* disederhanakan mengasumsikan bahwa gaya-gaya sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah *vertical* (Billy,

iri persamaan faktor keamanan yang disederhanakan dari metode adanya tekanan air pori adalah (Subagio, 2019) :

$$FS = \frac{\Sigma [c' b_i + (W_i - u b_i) \tan \varphi'] / m \alpha}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (2)$$

Dimana; $m \alpha = \cos \alpha \left(\frac{1 + \tan \varphi' \cdot \tan \alpha}{FS_b} \right)$

Dengan;

FS = faktor keamanan

FS_b = faktor aman lereng bishop

c' = kohesi (Kn/m^2)

b_i = lebar irisan ke-i (m)

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)

u = tekanan air pori

φ' = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

α = sudut (derajat)

1.4.14 Definisi dan Komponen *Total Station*

Total Station merupakan alat pengukur jarak dan sudut (sudut *horizontal* dan sudut *vertikal*) secara otomatis. *Total station* sangat tepat digunakan pada survei topografi, dimana surveyor memerlukan letak atau posisi (x, y, z) dari titik detail yang banyak (700 titik sampai dengan 1000 titik per hari), dua kali lebih banyak dari data titik detail yang bisa diambil dengan alat *electronic distance measurement* (EDM) dan alat *theodolite* biasa (stadia) (Ferdiansyah, 2020).



Gambar 4. *Total station*



Komponen alat *Total Station*:

1. *Handle* berfungsi sebagai pegangan pada saat mengangkat atau memindahkan alat;
2. *Port data* berfungsi untuk menghubungkan kabel *USB* pada alat untuk melakukan transfer data;
3. Tempat Baterai berfungsi untuk menyimpan baterai alat;
4. *Nivo tabung* dan *Bulls eye* berfungsi untuk mengetahui posisi *total station* sudah datar;
5. *Adjustment screw* berfungsi untuk mengatur nivo;
6. *Telescope focusing knob* berfungsi untuk mengatur fokus benang silang;
7. *Telescope eyepiece* merupakan lensa yang dapat berfungsi untuk mengatur *centering* yang menghadap ke mata;
8. Pengunci vertikal berfungsi untuk mengunci gerak alat secara vertikal;
9. Penggerak halus vertikal berfungsi untuk mengatur gerak halus vertikal;
10. Visir berfungsi untuk membidik objek atau target;
11. Keypad merupakan tombol yang berada pada *display* unit, *keypad* memiliki 9 tombol dasar;
12. Penggerak halus horizontal berfungsi untuk mengatur gerak halus horizontal;
13. Pengunci horizontal berfungsi untuk mengunci gerak alat secara horizontal;
14. *LCD/Display* berfungsi untuk menampilkan data dari alat *total station*;
15. Pengunci *tribrach* berfungsi untuk memasang atau melepas *tribrach*;
16. *Base plate* merupakan suatu piringan dasar yang berfungsi sebagai dudukan dari alat *total station*;
17. *Optical plummet* berfungsi untuk mengatur fokus pada *centering* objek;
18. *Objective lens* berfungsi untuk melihat atau mengamati benda yang akan diukur oleh *total station*;

1.4.15 Prinsip Kerja *Total Station*

Total station adalah alat survei yang digunakan untuk mengukur jarak, sudut, dan elevasi (Winanti, 2022). Cara kerja *total station* meliputi:

1) Pengukuran Jarak



menggunakan *electronic distance measurement* (EDM) untuk rak. EDM menggunakan teknologi laser untuk mengukur jarak ik;

2) Pengukuran Sudut

Total station menggunakan teleskop untuk mengukur sudut. Teleskop digunakan untuk mengukur sudut antara dua titik;

3) Pengukuran Elevasi

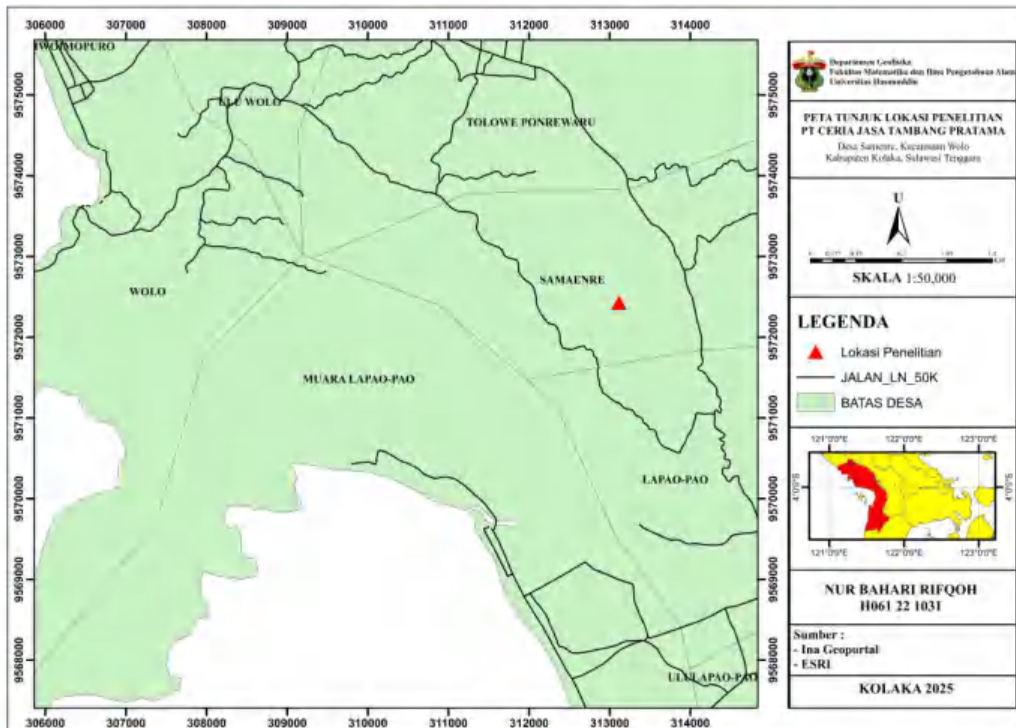
Total station menggunakan prinsip triangulasi untuk mengukur elevasi. Elevasi dihitung dengan cara mengukur jarak antara dua titik dan sudut antara dua titik;



BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Secara administratif terletak di Kecamatan Wolo Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara dan secara geografis terletak $3^{\circ}50'36.15''\text{S}$ Lintang Selatan dan $121^{\circ}15'22.66''\text{E}$ Bujur Timur.



Gambar 5. Lokasi penelitian

Lokasi ini dapat dicapai dengan menggunakan jalur udara, darat, dan laut. Melalui jalur udara dapat dicapai dari Makassar-Kolaka. kemudian perjalanan dilanjutkan dengan jalur darat kurang lebih 2 jam menuju Kecamatan Wolo. Bila menggunakan jalur darat dapat di tempuh ± 16 jam Menggunakan bus dari Makassar kemudian tiba di Kecamatan Wolo. Kemudian dengan jalur laut dapat ditempuh melalui penyebrangan di pelabuhan bajoe dan pelabuhan siwa kemudian melanjutkan perjalanan darat selama 2 jam.

2.2 Alat dan Bahan

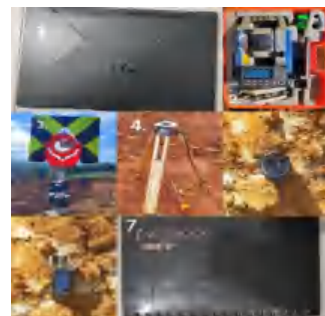
2.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:



Optimized using
trial version
www.balesio.com

is terdiri dari:
op
l station
ma
tiga
npas geologi
S (global positioning system)



Gambar 6. Alat

7. 1 Buah alat tulis dan buku catatan
- b. Perangkat lunak terdiri dari
 1. *Software* Microsoft Excel 2021
 2. *Software* Topcon Link v.7.5
 3. *Software* ArcGIS 10.8
 4. *Software* Rocscience Slide
 5. *Software* Geovia Surpac 6.6

2.2.2 Bahan

2.2.2.1 Data Primer

Data primer adalah data yang dikumpulkan dengan melakukan pengamatan secara langsung di lapangan, pengambilan data kemiringan menggunakan *total station* dan pengamatan dilakukan dengan cara peninjauan lapangan untuk melakukan pengamatan langsung terhadap semua kegiatan di daerah yang diteliti.

2.2.2.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh atau dikumpulkan dalam melakukan penelitian dari sumber-sumber yang telah ada. Data sekunder dikumpulkan berdasarkan literatur dari berbagai referensi seperti dari internet dan dari perusahaan PT Ceria Nugraha Indotama.

Tabel 3. Data penelitian

Data Primer	Data Sekunder
- Data Geometri Lereng - Data Jumlah Kekar - Pengukuran Kemiringan Lereng - Pengukuran Arah Lereng	- Peta Kontur - Peta Geologi Regional - Data Laboratorium - Data Curah Hujan - Formasi dan Litologi - Geomorfologi - Struktur Geologi

2.3 Prosedur Penelitian Data

2.3.1 Pengumpulan Data

1. Pengumpulan Data Primer
 - Pengumpulan Data Geometri Lereng

Pengumpulan data geometri lereng dilakukan secara langsung di lapangan pada area lereng yang menjadi objek penelitian. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui tinggi lereng, panjang lereng, serta bentuk geometrinya, yang merupakan parameter dasar dalam analisis stabilitas. Proses pengambilan data dimulai dengan menentukan batas atas dan bawah lereng berdasarkan pengamatan visual. Setelah itu, pengukuran tinggi dilakukan dari kaki hingga



menggunakan alat bantu seperti prisma. Bentuk lereng diamati dan dianalisis profil fisiknya, apakah berbentuk lurus, cembung, atau cekung. Data yang dikumpulkan untuk nantinya digunakan dalam pembuatan potongan lintang (*cross-section*) dan permodelan geometri dalam analisis stabilitas. Pengukuran Data Jumlah Kekar

Pengukuran data kekar dilakukan dengan mengamati permukaan batuan terbuka yang terdapat pada tubuh lereng. Kekar merupakan bidang lemah alami

pada batuan yang berpengaruh besar terhadap kestabilan lereng, terutama dalam lereng batuan. Dalam proses ini, pengamatan dilakukan di beberapa titik yang mewakili kondisi geologi lereng. Setiap kekar yang terlihat dicatat jumlahnya berdasarkan satuan luas tertentu, biasanya per meter persegi. Selain itu, setiap bidang kekar yang teramati diukur orientasinya menggunakan kompas geologi untuk mendapatkan nilai *strike* dan *dip*. Permukaan kekar dibersihkan terlebih dahulu jika tertutup oleh tanah atau vegetasi. Dokumentasi tambahan berupa foto juga dilakukan untuk mendukung hasil observasi. Data orientasi kekar yang terkumpul selanjutnya dapat dianalisis untuk menentukan pola kekar dominan dan hubungannya dengan arah lereng.

- Pengukuran Kemiringan Lereng

Total station digunakan untuk mengukur kemiringan lereng. Dengan menggunakan fitur laser untuk mengetahui kemiringan suatu lereng dan mencatat data dalam koordinat tiga dimensi. Proses dimulai dengan pemasangan *total station* di lokasi yang memiliki visibilitas ke seluruh lereng. Reflektor (prisma) dipasang di dua titik utama, yaitu di puncak dan kaki lereng. Setelah dilakukan pengukuran, alat akan merekam koordinat tiga dimensi (x, y, z) dari kedua titik.

- Pengukuran Arah Lereng

Akuisisi data ini dilakukan dengan menggunakan kompas geologi. Pengukuran dilakukan di bagian atas lereng atau pada posisi representatif lainnya dengan menghadap ke arah turunnya lereng, yaitu arah di mana air atau material akan mengalir secara alami. Kompas diarahkan ke bawah lereng dan nilai *azimuth* (dalam derajat) dicatat, misalnya 120° yang berarti arah tenggara. Nilai ini kemudian dapat dikonversi ke arah mata angin seperti utara, timur, barat daya, dan sebagainya. Informasi arah lereng ini sangat penting untuk menganalisis potensi kelongsoran berdasarkan kesesuaian arah lereng dan bidang diskontinuitas.

2. Pengumpulan Data Sekunder

- Peta Kontur

Menggunakan data pemetaan kontur yang sudah tersedia dari kegiatan eksplorasi atau survei sebelumnya oleh PT Ceria Nugraha Indotama pada *Pit Zambrud CJTP*, peta ini penting sebagai dasar dalam analisis geoteknik, desain lereng, dan pemodelan stabilitas.

- Peta Geologi Regional

Menggunakan studi-studi geologi terdahulu yang memetakan formasi batuan dan struktur geologi regional. Jurnal akademik, *data base* perusahaan, atau tesis dari peneliti geologi di lokasi penelitian. Peta geologi digunakan untuk memahami posisi geologi lokasi studi dalam konteks lebih luas dan untuk mengidentifikasi potensi zona lemah atau patahan yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng.



im diperoleh melalui pengujian sampel tanah atau batuan yang si *Pit Zambrud CJTP*. Sampel diambil dengan cara pemboran (*bor* i parit, atau *core sampling*, kemudian dikirim ke laboratorium pengujian meliputi:

ar air

at isi tanah

- Uji geser langsung (*direct shear*)
- Uji *triaxial*
- Uji kuat tekanan

Hasil uji ini menghasilkan parameter seperti kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan indeks kekuatan batuan (UCS), yang digunakan untuk menghitung menggunakan metode *bishop*.

- Data Curah Hujan

Mengakses data curah hujan dari stasiun klimatologi dari BMKG untuk mengetahui data curah hujan di wilayah penelitian dan juga dikombinasikan dengan data yang diinput oleh PT Ceria Nugraha Indotama pada *pit* Zambrud CJTP. Curah hujan menjadi faktor penting dalam analisis kestabilan karena dapat meningkatkan tekanan air pori dan menurunkan kekuatan geser tanah.

- Formasi dan Litologi

Data formasi dan litologi dikumpulkan melalui pemetaan geologi permukaan dan deskripsi bor (*borehole log*). Data bor memberikan informasi mengenai batas lapisan seperti limonite, saprolite, dan *boulder*. Data ini penting untuk mengetahui karakteristik teknis tanah/batuan yang mempengaruhi kestabilan lereng.

- Geomorfologi

Di lapangan, pengamatan dilakukan untuk mencocokkan hasil interpretasi dengan kondisi nyata, termasuk bentuk lereng seperti curam atau landai dan juga untuk melihat aliran permukaan pada lereng. Data ini digunakan untuk mengklasifikasi zona kerentanan lereng terhadap longsor secara morfologi.

- Struktur Geologi

Akuisisi data struktur geologi dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan pada singkapan batuan dan analisis bor. Data yang dikumpulkan meliputi kekar, arah kekar, dan kerapatan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan kompas geologi untuk mendapatkan nilai *strike* dan *dip* dari struktur yang teridentifikasi. Informasi ini penting untuk mengetahui potensi bidang gelincir dan arah pergerakan massa batuan serta mekanisme longsor, terutama jika arah struktur searah dengan arah lereng.

2.3.2 Pengolahan Data

1. Pengolahan Data Primer

Setelah geometri lereng diperoleh dari pengukuran menggunakan *total station*, data tersebut digunakan untuk membentuk penampang melintang lereng (*cross-section*). Penampang ini akan menjadi dasar dalam pengolahan data menggunakan metode *Bishop* untuk menghitung faktor keamanan (FS) lereng terhadap kelongsoran.

Langkah-langkah Pengolahan Data:



an penampang lereng, berdasarkan titik koordinat (x , z) dari hasil *station* menggunakan *software* Geovia Surpac 6.6 kemudian dibuat intang lereng dalam skala. Titik-titik tersebut diplot menggunakan Rocscience Slide untuk menentukan nilai FS.

isi penampang, penampang dibagi menjadi beberapa irisan vertikal iasanya 10-20 *slice* dengan lebar yang seragam.

memilih lokasi potongan lereng yang paling kritis menunjukkan tingkat kerentanan area tersebut terhadap longsor, jika geomorfologinya menunjukkan lereng curam, maka analisis difokuskan di area tersebut.

- Struktur Geologi

Hasil pengukuran kekar yaitu dari *strike dan dip* dibandingkan dengan arah lereng, jika bidang lemah searah kemiringan lereng dan memiliki sudut lebih kecil dari sudut geser dalam, maka dianggap berpotensi sebagai bidang gelincir.



2.4 Bagan Alir

