



**ANALISIS KESTABILAN LERENG  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *BISHOP* PADA BLOK *PIT* MUTIARA  
BLOK UTARA PT. MANUNGGAL SARANA SURYA PRATAMA  
DESA BOENAGA KECAMATAN LASOLO KEPULAUAN  
KABUPATEN KONAWA UTARA  
PROVINSI SULAWESI TENGGARA**

**Muhammad Agung Muliando, Firdaus, Marwan Zam Mili, Irfan Ido**

Program studi Teknik Pertambangan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan,  
Universitas Halu Oleo

[agungmulian@gmail.com](mailto:agungmulian@gmail.com)

**ABSTRAK**

Proses penambangan bijih nikel khususnya pada tahap produksi harus memperhatikan tingkat kestabilan lereng agar terciptanya lingkungan penambangan yang aman dan kondusif. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng tambang yang dipengaruhi oleh sifat fisik dan sifat mekanik tanah pada blok utara di PT. Manunggal Sarana Surya Pratama, Desa Boenaga, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Profil laterit pada daerah penelitian ini terdiri dari zona *limonite* yang mempengaruhi bidang gelincir gerakan tanah. Metode dalam analisis kestabilan lereng menggunakan metode *Bishop*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata lereng pada blok utara memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1,5. Hasil desain lereng menunjukkan nilai faktor keamanan pada *bench* Mutiara 1 sebesar 4,12; *bench* Mutiara 2 sebesar 3,22; *bench* Mutiara 3 sebesar 3,0; *bench* Mutiara 4 sebesar 3,17; *bench* Mutiara 5 sebesar 3,42, *bench* Mutiara 1 – Mutiara 3 sebesar 2,69; *bench* Mutiara 4 – Mutiara 5 sebesar 2,34. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tingkat kestabilan lereng pada blok utara berada dalam kondisi aman sehingga proses kelancaran produksi dapat berjalan dengan baik.

**Kata Kunci** : Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan, Metode *Bishop*.

**ABSTRACT**

*The nickel ore mining process, especially at the production stage, must pay attention to the level of slope stability in order to create a safe and conducive mining environment. This research was conducted with the aim of knowing the level of mine slope stability which is influenced by physical and mechanical properties of the soil in the north block at PT. Manunggal Sarana Surya Pratama, Boenaga Village, Lasolo Kepulauan District, North Konawe Regency, Southeast Sulawesi Province. The lithology in this research area consist of a limonite zone that affects the slip plane of the ground motion. The method in stability analysis uses the Bishop method. The result showed that the average slope in the north block had a safety factor value of more than 1,5. The result of the slope design show that the value of the safety factor on the Mutiara 1 bench is 4,12; Mutiara 2 bench is 3,22; Mutiara 3 bench is 3,00; Mutiara 4 bench is 3,17; Mutiara 5 bench is 3,42; Mutiara 1 bench – Mutiara 3 bench is 2,69; Mutiara 4 bench – Mutiara 5 bench is 2,34. Based on the result of the study, it can be conclude that the level of slope stability in the north block is in a safe condition, so the production process can run well.*

**Keywords** : Slope, Safety Factor, Bishop Method, Fellenius Method, Physical and Mechanical properties of rock

## I. PENDAHULUAN

Sejarah penambangan nikel di Indonesia diawali dengan penemuan bijih nikel di pegunungan Verbeek, Sulawesi, pada tahun 1901, yang kemudian ditemukan bijih nikel pada tahun 1909 di daerah Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara (Arif, 2018), oleh karena itu penemuan ini membuka peluang untuk dimulainya industri pertambangan nikel di Indonesia. Kegiatan penambangan nikel di Indonesia dilakukan dengan metode penambangan terbuka yang dikenal dengan istilah *surface mining system*. Metode ini dipilih karena karakteristik bijih nikel di Indonesia merupakan nikel laterit. Peluang tersebut telah mendorong PT. Manunggal Sarana Surya Pratama untuk melakukan usaha kegiatan penambangan.

Perseroan Terbatas Manunggal Sarana Surya Pratama merupakan perusahaan swasta nasional yang bergerak pada bidang pertambangan bijih nikel yang bertempat di Desa Boenaga, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Kegiatan penambangan sangat erat hubungannya dengan proses pengangkutan, penggalian dan ekstraksi bahan galian dengan berbagai permasalahan yang dihadapi. PT. Manunggal Sarana Surya Pratama melakukan penambangan dengan menggunakan sistem tambang terbuka *surface mining system*. Menurut Syafar dkk., (2016) pada tambang sistem tambang terbuka, dimana untuk mendapatkan *ore* dilakukan pengupasan lapisan tanah penutup terlebih dahulu. Pengupasan lapisan tanah penutup yang dilakukan untuk mendapatkan *ore* diikuti dengan pembentukan geometri lereng mengakibatkan terbentuknya lereng-lereng dengan kemiringan dan ketinggian yang berbeda dimana akan menimbulkan distribusi tegangan yang baru, karena mengganggu distribusi tegangan pada lereng alamiah yang sudah ada. Salah satu akibat dari distribusi tegangan baru ini berupa keruntuhan jenjang sebagai salah satu sifat alamiah lereng untuk mencari kesetimbangan baru dengan cara pengurangan beban yang ditanggungnya.

Menurut Imran dkk., (2015) faktor keamanan diperlukan untuk mengetahui tingkat kestabilan suatu lereng agar dapat mencegah bahaya longsor diwaktu yang akan datang. Untuk mengetahui faktor keamanan (*safety factor*) menyatakan bahwa analisis kestabilan lereng cukup dibuat dengan pendekatan kesetimbangan batas untuk mendapatkan nilai faktor keamanan terhadap kelongsoran yang paling kecil. Berbagai cara tersedia untuk analisis ini, antara lain *Ordinary Slices*, *Bishop*, *Janbu*, *Morgenstern-Price* dan *Sarma*. Namun, pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode *Bishop* dikarenakan metode tersebut merupakan kelompok dari kategori metode irisan yang disederhanakan dan sangat sesuai dengan area tambang nikel dan juga

longsoran yang sebelumnya terjadi adalah merupakan longsor busur.

Perseroan Terbatas (PT) Manunggal Sarana Surya Pratama saat ini sedang melakukan kegiatan penambangan pada *pit* Mutiara, blok Utara yang dimana pada blok tersebut pernah terjadi longsor busur pada bagian lerengnya, maka dari itu perlu dilakukan pengawasan terkait kestabilan lereng penambangan pada geometri/dimensi lereng aktual tiap *bench*. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk mencegah terjadinya longsor yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja serta meminimalisir adanya gangguan terhadap kelancaran kegiatan penambangan.

Oleh karena itu diperlukan suatu kajian terhadap kestabilan lereng agar menghasilkan geometri lereng yang aman, serta mencegah terjadinya kelongsoran. Maka dilakukan penelitian mengenai “**Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan metode *Bishop* pada *Pit* Mutiara, Blok Utara, PT. Manunggal Sarana Surya Pratama, Desa Boenaga, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara**”.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

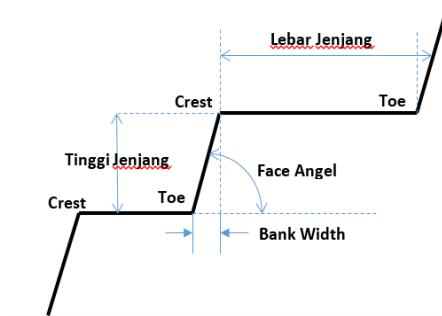
### A. Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang *horizontal*. Lereng dapat terbentuk secara alamiah karena proses geologi, atau karena dibuat oleh manusia. Lereng yang terbentuk secara alamiah misalnya: lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain: galian dan timbunan untuk membuat jalan raya dan jalan kereta api, bendungan, tanggul sungai dan kanal serta dinding tambang terbuka (Indera dkk., 2015).

Tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah. Disamping gaya yang mendorong kebawah terdapat pula gaya-gaya dalam tanah yang bekerja menahan/melawan sehingga kedudukan tanah tersebut tetap stabil. Gaya-gaya pendorong berupa gaya berat, gaya tiris/muatan dan gaya-gaya inilah yang menyebabkan kelongsoran. Gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan/geseran, lekatan (dari kohesi), kekuatan geser tanah. Jika gaya-gaya pendorong lebih besar dari gaya-gaya penahan, maka tanah akan mulai runtuh dan akhirnya terjadi keruntuhan tanah sepanjang bidang yang menerus dan massa tanah diatas bidang yang menerus ini akan longsor. Peristiwa ini disebut sebagai keruntuhan lereng dan bidang yang menerus ini disebut bidang gelincir (Pangemanan dkk., 2014).

**B. Geometri Jenjang**

1. Kemiringan, tinggi dan lebar teras harus dibuat dengan baik dan aman untuk keselamatan para pekerja agar terhindar dari material atau benda jatuh.
2. Tinggi jenjang (*bench*) untuk pekerjaan yang dilakukan pada lapisan yang mengandung pasir, tanah liat, kerikil, dan material lepas lainnya harus:
  - a. Tidak boleh lebih dari 2,5 m apabila dilakukan secara manual;
  - b. Tidak boleh lebih dari 6 m apabila dilakukan secara mekanik
  - c. Tidak boleh lebih dari 20 m apabila dilakukan dengan menggunakan *chamsell*, *dragline*, *bucket whell excavator* atau alat sejenis kecuali mendapat persetujuan Kepala Inspeksi Tambang.
3. Tinggi jenjang untuk pekerjaan yang dilakukan pada material kompak tidak boleh lebih dari 6 m apabila dilakukan secara manual.
4. Dalam hal penggalian dilakukan sepenuhnya dengan alat mekanis yang dilengkapi dengan kabin pengaman yang kuat, maka tinggi jenjang maksimum untuk material kompak 15 m, kecuali mendapat persetujuan Kepala Pelaksana Inspeksi Tambang.
5. Studi kemandapan lereng harus dibuat apabila:
  - a. Tinggi jenjang keseluruhan pada sistem penambangan berjenjang lebih dari 15 m dan;
  - b. Tinggi setiap jenjang lebih dari 15 m
6. Lebar lantai teras kerja sekurang-kurangnya 1,5 kali tinggi jenjang atau disesuaikan dengan alat-alat yang digunakan sehingga dapat bekerja dengan aman dan harus dilengkapi dengan tanggul pengaman (*safety berm*) pada tebing yang terbuka dan diperiksa pada setiap giliran kerja dari kemungkinan adanya rekahan atau tanda-tanda tekanan atau tanda-tanda kelemahan lainnya (Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018)



**Gambar 1.** Bagian-Bagian Jenjang (Fianti dkk., 2020)

**C. Faktor Keamanan**

Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap

kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan (terhadap longsoran) lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut tidak stabil dan akan terjadi longsoran. Sebenarnya, longsoran merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak (Arif, 2016).

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan perbandingan antara besarnya gaya penahan dengan gaya penggerak longsoran dan dinyatakan sebagai berikut:

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

Apabila nilai FK untuk suatu lereng > 1,0 (gaya penahan > gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi stabil. Namun, apabila harga F < 1,0 (gaya penahan < gaya penggerak), lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan mungkin akan terjadi longsoran 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 1** berikut:

**Tabel 1.** Faktor keamanan lereng

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/CoF)	Kriteria Dapat Diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) (maks 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%

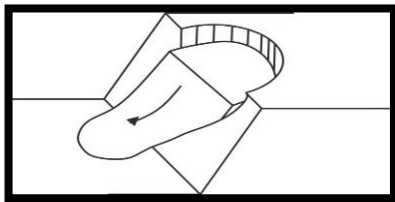
(Sumber: Keputusan Menteri No. 1827 K/30/MEM/2018, Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik).

**D. Longsoran**

Lereng tambang yang tidak stabil akan mengalami longsoran sampai lereng tersebut menemukan keseimbangan yang baru dan menjadi stabil. Macam-macam longsoran yang terjadi pada lereng tambang adalah longsoran busur, longsoran bidang, longsoran baji, dan longsoran bidang serta longsoran kombinasi dari keempat jenis longsoran tersebut.

1) Longsoran Busur (*Sircular Failure*)

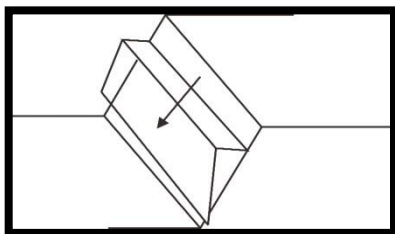
Jenis longsoran ini adalah yang paling umum terjadi di alam (tipikal longsoran tanah/*soil*). Pada batuan yang keras, jenis longsoran ini hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah lapuk dan mempunyai bidang-bidang diskontinu yang rapat (*heavily jointed*), atau menerus sepanjang sebagian lereng sehingga menyebabkan longsoran geser dipermukaan. Yang lebih sering terjadi adalah gabungan antara longsoran bidang dan longsoran busur, terutama lereng-lereng buatan. Longsoran busur dapat dilihat pada **gambar 2** berikut:



**Gambar 2.** Longsoran busur  
(Arif, 2016)

2) Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

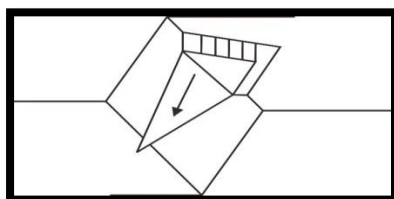
Longsoran jenis ini terjadi pada batuan yang mempunyai bidang luncur bebas (*day light*) yang mengarah ke lereng dan bidang luncurnya pada bidang diskontinu seperti: sesar, kekar, liniasi atau bidang perlapisan. Fenomena lainnya yang memicu longsoran jenis ini yaitu bila sudut lereng lebih besar dari sudut bidang luncur serta sudut geser dalam lebih kecil dari sudut bidang luncurnya.. Longsoran bidang dapat dilihat pada **gambar 3** berikut:



**Gambar 3.** Longsoran bidang  
(Arif, 2016)

3) Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

Model longsoran ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah atau bidang diskontinu yang bebas, dengan sudut antara kedua bidang tersebut membentuk sudut yang lebih besar dari sudut geser dalamnya. Fenomena yang paling sering terjadi adalah garis perpotongan dua bidang kekar mempunyai kemiringan ke arah kemiringan lereng. Longsoran baji dapat dilihat pada **gambar 4** berikut:

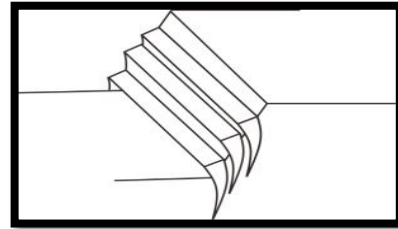


**Gambar 4.** Longsoran Baji

(Arif, 2016)

4) Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

Longsoran topling akan terjadi pada lereng yang terjal pada batuan keras dengan bidang- bidang diskontinu yang hampir tegak atau tegak, dan longsoran dapat berbentuk blok atau bertingkat. Bila longsoran terjadi pada massa batuan yang kuat dengan fenomena kekar yang relatif tegak, maka rekahan tariknya akan melendut terus dan miring ke arah kemiringn lereng. Longsoran guling dapat dilihat pada **gambar 5** berikut:

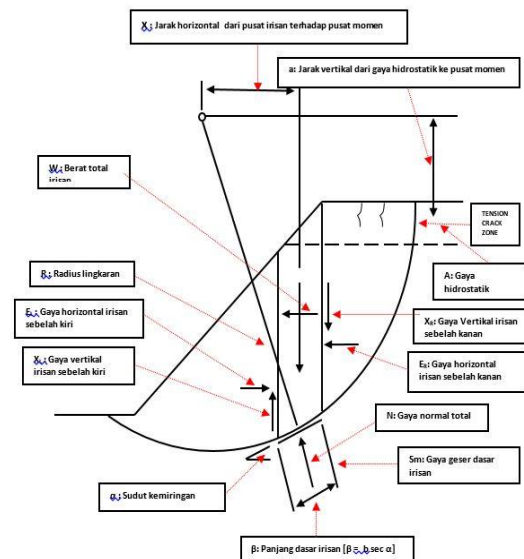


**Gambar 5.** Longsoran bidang  
(Arif, 2016)

**E. Prinsip Dasar Metode Irisan**

Metode irisan merupakan metode yang sangat populer dan rutin dipakai dalam analisis kestabilan lereng untuk longsoran translasional dan rotasional karena metode ini relatif sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti kehandalannya selama bertahun-tahun. Dalam analisisnya, metode keseimbangan batas menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan regangan pada lereng. Menggunakan metode ini, geometri bidang runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu (Hardianto dan Heriyadi, 2019).

Sketsa model lereng untuk bidang runtuh yang berupa sebuah busur lingkaran dan bidang runtuh gabungan diperlihatkan pada **gambar 6**.



**Gambar 6.** Model lereng dengan bidang runtuh yang berbentuk sebuah busur lingkaran (Suedi dkk., 2018)

Untuk dapat menyelesaikan masalah tersebut secara statis tertentu maka diperlukan sejumlah asumsi. Secara umum terdapat tiga asumsi yang dapat dibuat, yaitu:

1. Asumsi mengenai distribusi tegangan normal sepanjang bidang gelincir
2. Asumsi mengenai inklinasi gaya-gaya antar irisan
3. Asumsi mengenai posisi *thrust line* dari gaya-gaya antar irisan

**Tabel 2.** Kondisi kesetimbangan yang dipenuhi

Metode	Kesetimbangan Gaya		Kesetimbangan Momen
	Vertical	Horizontal	
Irisan Biasa ( <i>Fellenius</i> )	Tidak	Tidak	Ya
<i>Bishop</i> yang Disederhanakan	Ya	Tidak	Ya
<i>Janbu</i> yang Disederhanakan	Ya	Ya	Tidak
<i>Janbu</i> yang Umum	Ya	Ya	Tidak
<i>Low-Karafath</i>	Ya	Ya	Tidak
<i>Corps Of Engineer</i>	Ya	Ya	Tidak
<i>Spencer</i>	Ya	Ya	Ya
<i>Morgenstern-Price</i>	Ya	Ya	Ya
Kesetimbangan Batas Umum	Ya	Ya	Ya

(Sumber: Pangemanan dkk., 2014)

### F. Metode *bishop*

Metode *Bishop* ditemukan pada tahun 1955, yaitu ditemukan oleh Bishop. Metode ini sedikit berbeda dari metode irisan biasa, dalam gaya interaksi normal ini antara irisan yang berdekatan diasumsikan *collinear* dan resultan gaya geser antar irisan adalah nol. Metodenya telah terbukti menghasilkan faktor nilai keamanan dalam beberapa persen dari nilai-nilai “benar”. Faktor keamanan muncul baik pada ruas kiri dan kanan persamaan. Metode ini memenuhi keseimbangan gaya vertikal untuk masing-masing irisan dan kesetimbangan momen keseluruhan terhadap pusat permukaan percobaan melingkar, karena gaya horizontal tidak dipertimbangkan di setiap irisan, metode *Bishop* juga mengasumsikan gaya geser antar irisan = 0 (Salunkhe dkk., 2017).

Metode *Bishop* yang disederhanakan merupakan metode yang sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Kesalahan metode ini apabila dibandingkan dengan metode lainnya yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan seperti metode *Spencer* atau metode kesetimbangan batas umum, jarang lebih besar dari 5%. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan minimum (Zudri dan Anaperta, 2019). Persamaan yang digunakan untuk menentukan faktor keamanan suatu lereng pada metode *fellenius* adalah sebagai berikut: (Darwis, 2018):

$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (cb_n + W_n \tan \phi) \left(\frac{1}{m_a}\right)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- c : Kohesi (kN/m<sup>2</sup>)
- b : Lebar irisan (m)
- W : Berat irisan (kN/m)

- $\alpha$  : Sudut irisan (°)
- $\phi$  : Sudut geser dalam (°)
- r : Tekanan air pori
- F : Faktor keamanan

Berat irisan tanah (Gunawan dkk., 2014):

$$W = A \times \gamma \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- w : Berat irisan tanah (kN/m)
- A : Luas irisan (m<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : Bobot isi tanah (kN/m<sup>3</sup>)

### G. Pengujian Laboratorium Mekanika Tanah

#### 1) Sifat fisik tanah (bobot isi)

Bobot isi tanah merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volume cetakan (Zudri dan Anaperta, 2019). Bobot isi tanah ( $\gamma$ ) dapat dicari dengan rumus :

a) Bobot isi basah (Ifnanta dan Anaperta, 2020)

$$y = \frac{W_2 - W_1}{V} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- $\gamma$  = bobot isi (gram/cm<sup>3</sup>)
- W<sub>2</sub> = berat cincin + tanah (gram)
- W<sub>1</sub> = berat cincin kosong (gram)
- V = volume cincin (cm<sup>3</sup>)

$$\gamma_d = \frac{y}{1 + \omega} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

- $\gamma_d$  = Bobot isi kering (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\gamma$  = Bobot isi (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\omega$  = Kadar air (cm<sup>3</sup>)

#### 2) Sifat mekanik tanah (kohesi dan sudut geser dalam)

Uji laboratorium dibutuhkan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik tanah adalah pengujian Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*). Uji ini dimaksudkan untuk menentukan nilai kekuatan geser tanah dengan mengubah-ubah tegangan *axial* pada beberapa conto.

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

- S = kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)
- c' = kohesi tanah efektif (kN/m<sup>2</sup>)
- $\sigma'$  = tegangan normal efektif (kN/m<sup>2</sup>)
- $\phi'$  = sudut geser dalam tanah efektif (°)

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam jangka waktu kurang lebih 2 bulan, dengan melakukan pengambilan data di PT. Manunggal Sarana Surya Pratama selama 1 bulan, dan pengolahan sampel pada Laboratorium Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan selama 1 bulan. Secara administratif PT. Manunggal Sarana Surya Pratama terletak di Desa Boenaga, Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara dengan luas IUP kurang lebih 278 Ha. Lokasi ini dapat dijangkau dengan mobil dari kota Kendari ke arah utara melalui jalan poros lintas Provinsi Sulawesi menuju ke Lasolo Kepulauan melalui jalan aspal hotmix selama kurang lebih 2 jam, kemudian

dilanjutkan dengan perjalanan melalui jalur penyeberangan laut kurang lebih 2 jam.

**B. Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dan kualitatif. Penelitian kuantitatif adalah penelitian yang menggunakan format terstruktur dengan pengumpulan data berdasarkan pengamatan secara langsung. Sedangkan penelitian jenis kualitatif yaitu melakukan analisis penelitian berdasarkan data kuantitatif.

**C. Prosedur Penelitian**

Tahapan yang dilakukan pada penelitian terdiri dari beberapa langkah yaitu tahap studi literatur, tahap pengambilan data dan sampel, pengujian sampel tanah, pengolahan data dan analisis data. Untuk lebih jelasnya tahapan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

**1) Studi literatur**

Tahapan ini meliputi pengumpulan berbagai macam literatur mengenai analisis kestabilan *bench pit* penambangan dengan metode *Bishop* baik berupa buku maupun jurnal penelitian.

**2) Pengambilan data**

**a. data primer**

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari lokasi penelitian berupa sampel tanah dan geometri lereng. Sampel tanah diambil dengan menggunakan tabung menggunakan tabung permukaan lereng, kemudian kedua lubang tabung ditutup menggunakan *Aluminium foil* agar sampel tidak terkontaminasi. Tabung yang telah ditutup kemudian dimasukkan kedalam pipa paralon dan ditutup kembali dengan penutup pipa agar sampel benar-benar tidak terkontaminasi. Sedangkan geometri lereng berupa tinggi lereng dan lebar lereng diukur menggunakan meteran, kemiringan lereng diukur menggunakan kompas geologi.

**b. data sekunder**

Data sekunder yaitu data yang diperoleh dari beberapa jurnal dan dokumen yang berkaitan dengan penelitian ini, seperti peta IUP lokasi penelitian dan kondisi aktual lereng.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Geometri Lereng**

Berdasarkan dokumentasi kenampakan lereng pada **Gambar 7** dan **Gambar 8** maka bisa kita deskripsikan zona profil laterit berdasarkan ciri-ciri dari setiap jenjang/*bench* yang memiliki karakteristik yang serupa yaitu : berwarna coklat kekuningan - coklat kemerahan, dengan komposisi mineral lempung berupa kaolinit, mineral oksida berupa magnetit, hematit, besi, mangan, dimana kelompok mineral-mineral tersebut terbentuk pada zona limonit pada profil endapan laterit.



**Gambar 7.** Lereng titik pengambilan sampel Mutiara 1, Mutiara 2, Mutiara 3 pada blok utara (Sumber: Hasil penelitian, 2022)



**Gambar 8.** Lereng titik pengambilan sampel Mutiara 4, Mutiara 5 pada blok utara (Sumber: Hasil penelitian, 2022)

Pengukuran geometri lereng yaitu meliputi pengukuran sudut kemiringan lereng dengan menggunakan kompas geologi jenis *brunton* yang memiliki ketelitian pembacaan sudut seperempat derajat (15 detik), sedangkan untuk melakukan pengukuran panjang lereng dan tinggi lereng menggunakan *roll* meter. Data tersebut yang kemudian akan dibutuhkan untuk membuat sketsa arah pusat busur longsoran, serta pembuatan desain pada *software Rocscience Slide*. Data tersebut dapat dilihat secara ringkas pada **Tabel 3** berikut :

**Tabel 3.** Data geometri lereng

Kode Sampel	Geometri			
	Sudut (°)	Tinggi (m)	Panjang (m)	Bench Work (m)
Mutiara 1	75	4,7	4,8	3,5
Mutiara 2	78	4,2	4,3	2,3
Mutiara 3	68	4,8	5,2	3,5
Mutiara 4	65	4,6	5	2,9
Mutiara 5	71	4,7	4,9	3,8

(Sumber: Hasil penelitian, 2022)

**B. Sampel Tanah**

Pengambilan *undisturbed sample* berdasarkan profil endapan nikel laterit, bahwa sampel diambil pada tiap-tiap bidang horizontal pada bench, *undisturbed sample* adalah contoh tanah yang masih menunjukkan sifat asli tanah. *Sample undisturbed* ini secara ideal tidak mengalami perubahan struktur, kadar air, dan susunan kimia. Sampel tanah yang benar-benar asli tidak mungkin dapat diperoleh, tetapi kerusakan sampel tanah dapat dibatasi sekecil mungkin. Tujuan dari pengambilan sampel adalah untuk pengujian laboratorium lebih

lanjut untuk mendapatkan informasi geoteknik, seperti Bobot isi, Kohesi, Sudut geser dalam. Dan karakteristik yang dibutuhkan untuk desain yang aman dan ekonomis (ASTM D 1587-08).

**Tabel 4.** Lokasi pengambilan sampel

Sampel	Jenjang	Lokasi		Kedalaman Tabung (cm)	Jenis Material
		Bujur Timur (E)	Lintang Selatan (S)		
1	Mutiara 1	122°23'05.03"	03°24'38.95"	30	Limunit
2	Mutiara 2	122°23'04.18"	03°24'41.10"	30	Limunit
3	Mutiara 3	122°23'02.51"	03°24'37.71"	30	Limunit
4	Mutiara 4	122°23'10.33"	03°24'44.30"	30	Limunit
5	Mutiara 5	122°23'13.94"	03°24'45.62"	30	Limunit

(Sumber: Pengolahan data, 2022)

### C. Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah yang dilakukan pada laboratorium Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan bertujuan untuk mengetahui nilai Bobot isi tanah yang dilakukan seperti langkah-langkah pada Bab 3, serta untuk pengolahan data menggunakan **Persamaan 2.5 dan 2.6** Hasil pengujian Bobot isi tanah dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut:

**Tabel 5.** Hasil pengujian bobot isi tanah

Kode Sampel	No Ring	Diameter Sampel	Tinggi Sampel	Luas Sampel (cm <sup>2</sup> )	Berat Sampel (gr)	Berat ring (gr)	Bobot isi	
							(gr/cm <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )
Mutiara 1	A	6,5 cm	2 cm	33,18	32,29	13,82	1,88	18,424
	B	6,5 cm	2 cm	33,18	34,40	9,90		
Mutiara 2	A	6,5 cm	2 cm	33,18	28,73	8,88	1,72	16,856
	B	6,5 cm	2 cm	33,18	28,68	8,67		
Mutiara 3	A	6,5 cm	2 cm	33,18	45,90	15,22	1,94	19,012
	B	6,5 cm	2 cm	33,18	40,67	12,03		
Mutiara 4	A	6,5 cm	2 cm	33,18	45,28	9,17	2,06	20,188
	B	6,5 cm	2 cm	33,18	51,37	9,44		
Mutiara 5	A	6,5 cm	2 cm	33,18	36,34	9,41	1,69	16,562
	B	6,5 cm	2 cm	33,18	37,20	14,08		

(Sumber: Hasil penelitian, 2022)

### D. Sifat Mekanik Tanah

Pengujian sifat mekanik tanah yang dilakukan pada laboratorium Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan bertujuan untuk menentukan nilai Kohesi (c) dan Sudut geser dalam ( $\phi$ ) merupakan nilai yang menentukan ketahanan geser tanah dengan mengganti tegangan geser dan tegangan normal pada sampel dengan memberikan beban vertikal sebesar 4 kg, 8 kg, 12 kg. Hasil pengujian nilai Kohesi dan Sudut geser dalam dapat dilihat pada **Tabel 6** berikut:

**Tabel 6.** Hasil pengujian Kohesi dan Sudut geser dalam

Kode Sampel	Kohesi (kg/cm <sup>2</sup> )	Kohesi (kN/m <sup>2</sup> )	Sudut geser dalam
Mutiara 1	0,218	21,364	64,134°
Mutiara 2	0,151	14,798	66,038°
Mutiara 3	0,090	8,820	67,166°
Mutiara 4	0,151	14,798	56,310°
Mutiara 5	0,105	10,290	64,799°

(Sumber: Hasil penelitian, 2022)

### E. Luas Irisan Bidang Gelincir

Setelah ditentukannya bidang gelincir maka bidang tersebut dibagi menjadi beberapa irisan agar mempermudah perhitungan. Luas irisan tersebut dihitung dengan menggunakan rumus bangun ruang. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 7** berikut:

Tabel 7. Luas irisan bidang gelincir

Kode Sampel	Luas Bidang Gelincir (m <sup>2</sup> )							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Mutiara 1	0,040	0,130	0,200	0,260	0,310	0,350	0,300	0,105
Mutiara 2	0,050	0,150	0,270	0,360	0,370	0,240	-	-
Mutiara 3	0,045	0,165	0,210	0,285	0,330	0,300	0,180	-
Mutiara 4	0,060	0,150	0,255	0,330	0,360	0,375	0,355	0,120
Mutiara 5	0,025	0,080	0,145	0,180	0,210	0,220	0,220	0,170

(Sumber: Hasil penelitian, 2022)

### F. Sudut dan Lebar Irisan

Setelah dibuatnya irisan pada bidang gelincir, maka perlu dihitung sudut pada tiap irisan tersebut berdasarkan garis pusat busur dan garis titik tengah irisan, serta nilai lebar irisan dapat dilihat pada **Tabel 8 dan Tabel 9** berikut:

**Tabel 8.** Sudut per irisan

Kode Sampel	Sudut Per Irisan (°)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Mutiara 1	57	60	62	66	69	72	76	80
Mutiara 2	60	64	67	69	74	79	-	-
Mutiara 3	49	56	58	62	66	74	79	-
Mutiara 4	40	47	51	56	60	67	74	81
Mutiara 5	55	58	60	65	67	72	77	82

(Sumber: Hasil penelitian, 2022)

**Tabel 9.** Lebar irisan

Kode Sampel	Lebar Irisan (m)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Mutiara 1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,150
Mutiara 2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-
Mutiara 3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-
Mutiara 4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Mutiara 5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

(Sumber: Hasil penelitian, 2022)

### G. Tekanan yang Bekerja Pada Irisan

Perhitungan nilai tekanan mencakup tekanan material menggunakan **Persamaan 2.1.** serta tekanan dari alat yang bekerja sesuai dengan spesifikasi alat yang digunakan. Hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 10** berikut:

**Tabel 10.** Tekanan material

Kode Sampel	Tekanan Material (kN/m)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Mutiara 1	0,737	2,395	3,685	4,790	5,711	6,448	5,527	1,935
Mutiara 2	0,843	2,528	4,551	6,068	6,237	4,045	-	-
Mutiara 3	0,856	3,137	3,993	5,418	6,274	5,704	3,442	-
Mutiara 4	1,211	3,028	5,148	7,268	6,662	7,571	7,167	2,423
Mutiara 5	0,414	1,325	2,401	2,981	3,478	3,664	3,664	2,816

(Sumber: Hasil penelitian, 2022)

### H. Faktor Keamanan

Perhitungan nilai faktor keamanan dengan metode *Bishop* dilakukan dengan metode *trial and error*, dikarenakan nilai faktor keamanan tersebut nampak pada kedua sisi pada **Persamaan 2.3.** Adapun uraian nilai dari masing-masing irisan metode *Bishop* pada *bench* Mutiara 1, Mutiara 2, Mutiara 3, Mutiara 4, dan *bench* Mutiara 5 kemudian nilai *fk overall slope* pada *bench* Mutiara 1 – Mutiara 3 dan *bench* Mutiara 4 – Mutiara 5 sebagai berikut:

#### 1) Nilai Faktor Keamanan pada *Bench* Mutiara 1

Dengan menggunakan **Persamaan 2.3.** hasil perhitungan faktor keamanan pada *bench* Mutiara 1 dengan menggunakan metode *Bishop* adalah 4,12. Penambahan nilai beban konstan dari faktor alat yang bekerja pada *bench work* menggunakan *software Rocscience Slide* maka didapatkan nilai faktor keamanan pada *bench* Mutiara 1 adalah 2,42.

Berdasarkan penentuan nilai faktor kemanan dengan metode *Bishop* dengan penambahan nilai beban konstan menunjukkan nilai 2,42. Hasil ini menunjukkan intensitas kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan menggunakan ketetapan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018 jenjang/*bench* Mutiara 1 berada dalam kondisi stabil.

## **2. Nilai Faktor Keamanan pada *Bench* Mutiara 2**

Dengan menggunakan **Persamaan 2.3.** hasil perhitungan faktor keamanan pada *bench* Mutiara 2 dengan menggunakan metode *Bishop* adalah 3,2. Penambahan nilai beban konstan dari faktor alat yang bekerja pada *bench work* menggunakan *software Rocscience Slide* maka didapatkan nilai faktor keamanan pada *bench* Mutiara 2 adalah 2,14.

Berdasarkan penentuan nilai faktor kemanan dengan metode *Bishop* dengan penambahan nilai beban konstan menunjukkan nilai 2,14. Hasil ini menunjukkan intensitas kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan menggunakan ketetapan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018 jenjang/*bench* Mutiara 2 berada dalam kondisi stabil.

## **3. Nilai Faktor Keamanan pada *Bench* Mutiara 3**

Dengan menggunakan **Persamaan 2.3.** hasil perhitungan faktor keamanan pada *bench* Mutiara 3 dengan menggunakan metode *Bishop* adalah 3,0. Penambahan nilai beban konstan dari faktor alat yang bekerja pada *bench work* menggunakan *software Rocscience Slide* maka didapatkan nilai faktor keamanan pada *bench* Mutiara 3 adalah 2,08.

Berdasarkan penentuan nilai faktor kemanan dengan metode *Bishop* dengan penambahan nilai beban konstan menunjukkan nilai 2,08. Hasil ini menunjukkan intensitas kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan menggunakan ketetapan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018 jenjang/*bench* Mutiara 3 berada dalam kondisi stabil.

## **4. Nilai Faktor Keamanan pada *Bench* Mutiara 4**

Dengan menggunakan **Persamaan 2.3.** hasil perhitungan faktor keamanan pada *bench* Mutiara 3 dengan menggunakan metode *Bishop* adalah 3,17. Penambahan nilai beban konstan dari faktor alat yang bekerja pada *bench work* menggunakan *software Rocscience Slide* maka didapatkan nilai faktor keamanan pada *bench* Mutiara 4 adalah 1,95.

Berdasarkan penentuan nilai faktor kemanan dengan metode *Bishop* dengan penambahan nilai beban konstan menunjukkan nilai 1,95. Hasil ini menunjukkan intensitas kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan menggunakan ketetapan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018 jenjang/*bench* Mutiara 4 berada dalam kondisi stabil.

## **5. Nilai Faktor Keamanan pada *Bench* Mutiara 5**

Dengan menggunakan **Persamaan 2.3.** hasil perhitungan faktor keamanan pada *bench* Mutiara 5 dengan menggunakan metode *Bishop* adalah 3,42. Penambahan nilai beban konstan dari faktor alat yang bekerja pada *bench work* menggunakan *software Rocscience Slide* maka didapatkan nilai faktor keamanan pada *bench* Mutiara 5 adalah 1,99.

Berdasarkan penentuan nilai faktor kemanan dengan metode *Bishop* dengan penambahan nilai beban konstan menunjukkan nilai 1,99. Hasil ini menunjukkan intensitas kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan menggunakan ketetapan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018 jenjang/*bench* Mutiara 5 berada dalam kondisi tidak Sstabil.

## **6. Nilai Faktor Keamanan pada *Bench* Mutiara 1 – Mutiara 3**

Dengan menggunakan **Persamaan 2.3.** hasil perhitungan faktor keamanan pada *bench* Mutiara 1 – Mutiara 3 dengan menggunakan metode *Bishop* adalah 2,69. Penambahan nilai beban konstan dari faktor alat yang bekerja pada *bench work* menggunakan *software Rocscience Slide* maka didapatkan nilai faktor keamanan pada *bench* Mutiara 1 – Mutiara 3 adalah 2,83.

Berdasarkan penentuan nilai faktor kemanan dengan metode *Bishop* dengan penambahan nilai beban konstan menunjukkan nilai 2,83. Hasil ini menunjukkan intensitas kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan menggunakan ketetapan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018 jenjang/*bench* Mutiara 1 – Mutiara 3 berada dalam kondisi stabil.

## **7. Nilai Faktor Keamanan pada *Bench* Mutiara 4 – Mutiara 5**

Dengan menggunakan **Persamaan 2.3.** hasil perhitungan faktor keamanan pada *bench* Mutiara 4 – Mutiara 5 dengan menggunakan metode *Bishop* adalah 2,34. Penambahan nilai beban konstan dari faktor alat yang bekerja pada *bench work* menggunakan *software Rocscience Slide* maka didapatkan nilai faktor keamanan pada *bench* Mutiara 4 – Mutiara 5 adalah 2,46.

Berdasarkan penentuan nilai faktor kemanan dengan metode *Bishop* dengan penambahan nilai beban konstan menunjukkan nilai 2,46. Hasil ini menunjukkan intensitas kelongsoran berdasarkan nilai faktor keamanan menggunakan ketetapan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018 jenjang/*bench* Mutiara 4 – Mutiara 5 berada dalam kondisi stabil.

## **V. PENUTUP**

### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Faktor keamanan tiap jenjang/*bench* penambangan yang ada pada Blok Utara Pit Mutiara



PT. Manunggal Surya Pratama menggunakan metode *Bishop* menunjukkan nilai faktor keamanan yang stabil. Faktor keamanan yang diperoleh pada masing-masing jenjang/*bench* Mutiara 1, Mutiara 2, Mutiara 3, Mutiara 4, Mutiara 5 yaitu 4,12; 3,22; 3,00; 3,17; dan 3,42. Nilai faktor keamanan untuk *overall slope* pada jenjang mutiara 1- mutiara 3 diperoleh nilai 2,69; sementara nilai faktor keamanan untuk *overall slope* pada jenjang mutiara 4 – mutiara 5 diperoleh nilai 2,34.

#### **B. Saran**

Dari penelitian ini, penulis berharap agar peneliti selanjutnya dapat memperbaiki kesalahan seperti memperhatikan pengambilan *undisturbed sample* yang sebaiknya dilakukan dengan pemboran teknik agar sampel tanah lebih spesifik mendekati kondisi sebenarnya, juga dalam pengawasan penyimpanan sampel tanah sebaiknya mengacu terhadap “Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah” dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- \_\_\_\_\_, 2016, ASTM-International Designation D 1587-08 “Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purpose, United States of America.
- \_\_\_\_\_, 2016, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.30518 NSPK Tentang “Manual Petunjuk Teknis Pengujian Tanah”, Direktorat Jenderal Bina Marga, Republik Indonesia.
- \_\_\_\_\_, 2018, Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.1827 K/30/MEM/2018 Tentang “Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang baik”, Republik Indonesia.
- Arif, I., 2016, *Geoteknik Tambang*, Hal. 8-176, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, ISBN. 978-602-03-2735-8.
- Arif, I., 2018, *Nikel Indonesia*, Hal. 4-8, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, ISBN. 978-602-06-1935-4.
- Darwis, H., 2018, *Dasar-Dasar Mekanika Tanah*, p. 1-368, (Kodir, M. P. (ed.); Issue March). Pena Indis, Yogyakarta, ISBN: 978-602-429-098-6.
- Das, B. M., and Sobhan, K., 2018, *Principles of Geotechnical Engineering*, Page. 670-680, Cengage Learning, Boston, ISBN. 978-1-305-97093-9.
- Fianti, L., Munirwansyah., dan Yunita, H., 2020, Analisis Bentuk Geometri Terhadap Stabilitas Lereng Pada Tambang Terbuka dari Aspek Geoteknik, *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, (3)2, Hal. 166-176, ISSN. 2620-7567.
- Gunawan, H., Chairullah, B., dan Sundary, D., 2014, Analisis Stabilitas Lereng Pada Ruas Jalan Blangkejeren-Laweauan Kabupaten Gayo Lues Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam, *Jurnal Teknik Sipil*, (3)2, Hal. 167-178, ISSN. 2088-9321.
- Handayani, T., Wulandari, S., dan Wulan, A., 2014, Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Menggunakan Geoslope/W 7.12, *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2014)*, (8)1, P. 410-420, ISSN. 2302-3740.
- Hardianto, A. A., dan Heriyadi, B., 2019, Analisis Rancangan Lereng Disposal Area Pit D Pada PT. Aman Toebilah Putra Kabupaten Lahat Provinsi Sumatera Selatan, *Jurnal Bina Tambang*, (4)1, Hal. 21-30, ISSN. 2302-3333.
- Hardiyatmo, H. C., 2018, *Mekanika Tanah II*, Hal. 325-340, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, ISBN. 979-420-804-3.
- Imran, I., Irsyam, M., Kusuma, M. S. B., Piranti, S. N., Hendryawan., Pradono, M. H., Justanto, I., Mutiara, D., dan Wardana, H. K., 2015, *Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Dan Bukit Tes Tsunami*, Hal. 130-140, Pedoman Teknik, Jakarta.
- Indera, R. K., Mina, E., dan Sevensary, B., 2015, Analisis Stabilitas Lereng Dan Perencanaan Soilnailing Dengan Software Geostudio 2007, *Jurnal Fondasi*, (4)1, Hal. 2-10, ISSN. 2302-4976.
- Marini, A. E., Anaperta, Y. M., dan Saldy, T. G., 2019, Analisis Kestabilan Lereng Area Highwall Section B Tambang Batubara PT. Manggala Usaha Manunggal Jobsite Pt. Banjarsari Pribumi, Kecamatan Merapi Timur, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan, *Jurnal Bina Tambang*, (4)4, Hal. 80-89, ISSN. 2302-3333.
- Mondol, M. A. M., Quamruzzaman, D. C., Kabir, S. M. M., and Hossain, S. M. Z., 2013, Open Pit Slope Design of Barapukuria Coal Mine Using Limit Equilibrium Methods of Slope Stability Analysis, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, (3), Page. 49-53, ISSN. 2250-2459.
- Pangemanan, V. G. M., Turungan, A. E., dan Sompie, O. B. A., 2014, Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode fellenius ( Studi Kasus : Kawasan Citraland ). *Jurnal Sipil Statik*, 2(1), ISSN:2337-6732.
- Pragustus, D., Mandagi, A. T., dan Turungan A. E., 2019, Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Software Slide 6.0 (Studi Kasus: Ruas



- Jalan Manado-Tomohon), *Jurnal Sipil Statistik*, (7)11, P. 1445-1453, ISSN. 2337-6732.
- Purwaningsih, D. A., dan Mamas, 2017, Rancangan Teknis Desain Push Back Pada Penambangan Batubara Pit 10 dan Pit 13 PT. Kayan Putra Utama Coal Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur, *Jurnal Geologi Pertambangan*, (1)21, Hal. 16-20, ISSN. 1978-0672.
- Rajagukguk, O. C. P., Turangan, A. E., dan Monintja, S., 2014, Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop, *Jurnal Sipil Statik*, (2)3, Hal. 139-147, ISSN. 2337-6732.
- Salunkhe, D. P., Bartakke, R. N., Chvan, G., and Kothavale, P. R., 2017, An Overview on Methods for Slope Stability Analysis, *International Journal of Engineering Research & Technology*, (6)3, Page. 530-535, ISSN. 2278-0181.
- Sampouw, B. G., Mandagi, A. T., dan Ticoh, J. H., 2019, Analisis Kestabilan Lereng Sebagai Perkuatan Desain Dinding MSE Pada Ruas Jalan Tol 2 Manado - Bitung STA 9+745 Menggunakan Software Slide V.6.005, *Jurnal Sipil Statik*, (7)12, Hal. 1649-1660, ISSN. 2337-6732.
- Suedi, E., Kopa, R., dan Rusli., 2018, Analisis Stabilitas Lereng Ruas Jalan Sicincin – Malalak Km 31 Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 3(3), 1285–1299, ISSN: 2302-3333.
- Syafar, Z., Djamaludin., dan Anshariah., 2016, Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop pada penambangan nikel, *Jurnal Geomine*, (4)3, Hal. 90-93, ISSN. 2541-2116.
- United Tractors, 2019, *Komatsu PC210-10M0 Hydraulic Excavator*, Hal. 20-25, Jakarta, Indonesia.
- Wyllie, D. C., 2018, *Rock Slope Engineering Civil Application Fifth Edition*, Page. 240-260, Taylor & Francis CRC Press, New York City, ISBN. 9781498786287.
- Zudri, A.T., dan Anaperta, Y. M., 2019, Analisis Kestabilan Lereng Jalan Tambang di Area Zona 4 PT. Bintang Sumatra Pasifik di Koto Alam Kabupaten 50 Kota. *Jurnal Bina Tambang*, 4(4), 59–70, ISSN: 2302-3333.