

ANALISA KESTABILAN LERENG DENGAN METODE JANBU MENGGUNAKAN SOFTWARE SLIDE 6.0 PADA AREA JALAN TAMBANG CV. PUTRA IDOLA, KOTA PADANG, PROVINSI SUMATERA BARAT

Muhammad Kelvin Varlen^{1*}, Bambang Heriyadi¹

¹Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*kevin.varlen@gmail.com

Abstract. CV. Putra Idola is one of the companies engaged in the mining business with the type of minerals being mined is Andesite stone located in Nagari Siguntur Muda, Bungus Teluk Kabung District, Padang City, West Sumatra. The mining activity applied is an open pit mining system with the Open Mining method. On the slopes of the mine road CV. Putra Idola has 2 single slopes with the material for making the slopes is andesite stone. On single slope 1 there is a transportation road for mining operations, while on single slope 2 there is a settling pond. The slope of the research area has a slope height of 17 meters and a slope of 35° for single slope 1, and for single slope 2 it has a height of 19 meters with a slope of 32°. The overall slope is 31 meters high with a slope of 62°. On the slope walls there are many weak areas and rock layers, so that the prone slopes will be at risk of landslides, so a good calculation is needed to avoid landslides. The results of the actual slope analysis using the simple Janbu method, the safety factor (FK) on slope 1 is 1,263 when natural conditions when the slope is saturated has a safety value (FK) of 1,239. The value of safety factor (FK) on slope 2 is 1.666 under natural conditions, while when the slope is saturated it has a safety factor value (FK) of 1.625. On the slopes as a whole obtained a safety value (FK) of 1,079 when the natural condition and 1,063 when the slope is saturated. Mine slope geometry recommendations based on the results of slide 6.0 software analysis obtained the value of safety factor (FK) for slope 1 of 1.325. while in a saturated state the safety factor (FK) is 1.300 with a slope of 17 m and a slope of 68°. The overall slope geometry recommendation based on slide 6.0 software analysis obtained a safety value (FK) of 1.329. while in a saturated situation the safety yield (FK) is 1.311 with a slope of 31 m and a slope of 49°

Keywords: *Safety Factor, Probability of Failure, Slope Stability, Janbu Simplified*

1. Pendahuluan

Dalam operasi penambangan terbuka, desain lereng merupakan hal terpenting dalam menentukan keseimbangan antara kemiringan lereng dan keuntungan produksi tambang. Lereng yang stabil menjamin kelangsungan operasi penambangan, meskipun lereng penambangan secara teoritis aman jika dibuat sedatar mungkin, tetapi lereng yang miring menyebabkan beban pembebanan yang sangat tinggi dan karenanya tidak layak secara ekonomi. .

Oleh karena itu, kestabilan lereng merupakan salah satu faktor penting dalam kegiatan pertambangan, salah satunya di CV. Putra Idola. CV. Putra Idola terletak di Kota Padang, Sumatra Barat yang bergerak di penambangan batuan Andesit. Dalam operasinya, perusahaan ini menggunakan sistem penambangan tambang terbuka.

Pada sistem tambang terbuka suatu perencanaan desain tambang memerlukan pertimbangan geoteknik yang baik, hal tersebut untuk mencegah timbulnya

masalah longsor pada area tambang. Tanah longsor merupakan salah satu bencana yang menimbulkan banyak korban jiwa dan dapat berdampak negatif terhadap usaha berupa korban jiwa, kerusakan harta benda bahkan kematian. .

Sistem penambangan ini juga mempengaruhi struktur batuan di daerah tersebut. Dampaknya dapat berupa titik lemah seperti patahan dan rekahan pada lereng area pertambangan. Kondisi ini biasanya merupakan hasil dari berbagai faktor fisik dan mekanik seperti penggalian, geometri lereng, diskontinuitas, air tanah, beban yang diserap, dan getaran yang terjadi di sekitar area penambangan seperti peledakan dan gempa bumi.

Lereng yang terdapat pada area jalan tambang CV. Putra Idola memiliki 2 buah lereng tunggal (single slope), dengan single slope 1 tinggi lereng 17 meter dan kemiringan 74°, single slope 2 tinggi lereng 14 meter dan kemiringan 56°, sedangkan seluruh lereng memiliki kemiringan 31 meter dan kemiringan 65°.

Selain itu, lereng juga memperlihatkan kondisi struktur geologi berupa bidang-bidang lemah (rekahan)

yang berjarak rapat, sehingga kestabilan lereng dapat terganggu dan/atau melemah. Hal ini menjadi perhatian dari pihak perusahaan dikarenakan lereng tersebut



31

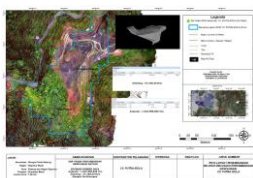
Gambar 1. Geometri Lereng di CV. Putra Idola dipakai sebagai area jalan tambang dump truck. Kondisi lereng yang terdapat pada lereng area tambang terbuka CV. Idola Putra dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.

Oleh karena itu, untuk menjaga keamanan dan kestabilan tanggul, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui kestabilan lereng di area pertambangan CV. Putra Idola. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan pembahasan lebih lanjut dan mengubahnya menjadi sebuah penelitian dengan judul 'Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Janbu Menggunakan Software Slide 6.0 Pada Area Jalan Tambang CV. Putra Idola Kota Padang, Sumatera Barat,

2. Lokasi Penelitian

2.1. Lokasi Kesampaian Daerah

Secara administrasi lokasi pertambangan CV. Putra Idola berada di Nagari Siguntur Muda, Kecamatan Bungus Teluk Kabung, Kota Padang Sumatera Barat. Kegiatan penambangan yang diterapkan adalah sistem tambang terbuka dengan metode Open Pit Mining. Luas Area penambangan CV. Putra Idola adalah seluas 5 Ha dengan estimasi sumber daya andesit sebanyak 1.833.986,826 Ton dan soil/clay sebanyak 57.189,30 Bcm. Berikut adalah peta layout penambangan wilayah



izin usaha pertambangan eksplorasi CV. Putra Idola:

Gambar 2. Peta Layout Penambangan WIUP Eksplorasi CV. Putra Idola

Kesampaian daerah lokasi tempat penelitian dari pusat kota Padang hingga Nagari Siguntur Muda, Kecamatan Bungus Teluk Kabung, Kota Padang adalah 34 menit berdasarkan dari peta elektronik. Berdasarkan fakta yang penulis tempuh selama perjalanan menuju Kecamatan Bungus Teluk Kabung dibutuhkan waktu 45 menit melalui jalan raya Padang – Bengkulu

2.1.1. Struktur Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Pesisir Selatan/Painan skala 1:250.000 (1972) oleh Kastowo dan

Gerhard W. Leo yang diterbitkan oleh Dinas Geologi Bandung, Wilayah Kabupaten Pesisir Selatan terdapat formasi batuan sebagai berikut:

- a. Endapan Permukaan (Surficial Deposits)
Endapan permukaan merupakan bahan endapan aluvium yang terbentuk pada periode Kuartar (Qal). Bahan endapan aluvium ini berasal dari endapan laut dan sungai yang tersusun dari lanau (silt), pasir (sand), dan kerikil (gravel). Penyebaran endapan permukaan ditemukan di pantai dan muara-muara sungai.
- b. Batuan Gunung Api (Vulcanic Rocks)
Batuan gunung api berasal dari Formasi Painan terbentuk pada periode Tersier-Miosen dan Oligosen (Tmop). Batuan ini terdiri dari lava, breksi, breksi tufa, tufa kabur, ignimbrit, dan tufa litas, kebanyakan bersusun Andesitan sampai Dasitan. Tufa litas terdiri dari pecahan andesitan, lempung pasir, dan gelas. Tufa kabur mengandung banyak felspar dan kwarsa. Kekar dalam andesit korublende piroksin dan dasit korublende diisi oleh kalsit diterobos oleh batuan granit (Tgr). Formasi ini tersingkap pada bagian daratan dan di sepanjang pantai, di antaranya tersebar di daerah perbukitan sepanjang pantai di sekitar Sungai Pinang, Sungai Nyalo, Mandeh, dan Teluk Raya.
- c. Batuan Intrusi (Intrusive Rocks)
Batuan intrusi merupakan batuan granit yang terbentuk pada periode Tersier (Tgr). Berwarna abu-abu muda sampai abu-abu kehijauan dengan bitnik-bintik hijau. Susunan berkisar antara granit-biotit sampai granit biasa dan porfir kwarsa. Granit ini dinyatakan berumur Miosen tengah karena hubungannya dengan pluton granodiotit

3. Kajian Teori

3.1. Faktor Penentuan Cadangan Tertambang

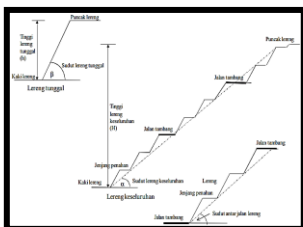
Lereng adalah permukaan tanah terbuka dengan sudut terhadap sumbu horizontal, atau permukaan tanah pada dua elevasi berbeda dimana permukaan tanah membentuk sudut. Menurut Virginia T. (2015), lereng adalah bidang yang menghubungkan dataran tinggi dan dataran rendah. Berdasarkan proses pembentukan tanggul, ada tiga jenis tanggul:

- A. Lereng alami
 - i. H. Lereng yang terbentuk oleh aktivitas alam seperti erosi dan pergerakan kerak.
 - B. Tanggul buatan yang dibuat dengan penggalian untuk pembangunan jalan atau keperluan irigasi.
 - C. Pekerjaan tanah lereng.
 - B. Tanggul jalan atau bendungan tanah.
- Dilihat dari bahan konstruksinya, ada dua jenis tanggul: tanggul tanah dan tanggul batu, tetapi tanggul tambang selalu terdiri dari kombinasi tanah dan agregat. Saat menganalisis dan menentukan jenis tindakan perlindungan, tanggul tanah tidak dapat disamakan dengan tanggul batuan, karena parameter material dan jenis longoran kedua tanggul tersebut sangat berbeda. (Reno dan Bambang Heriyadi (Bina Mine, Vol.5, No.5)). Stabilitas timbunan, baik timbunan maupun timbunan alami maupun buatan (buatan), dipengaruhi oleh beberapa faktor yang secara sederhana dapat disebut sebagai holding force dan driving force stabilitas timbunan. Jika gaya penahan (tahan longoran) lebih besar dari gaya dorong, maka lereng stabil (aman).

Namun, jika gaya tarik lebih kecil dari gaya dorong, lereng menjadi tidak stabil dan terjadi selip. Padahal, longsor merupakan proses alami yang terjadi untuk mencapai kestabilan lereng yang baru (new equilibrium) dimana drag lebih besar dari pada thrust. .

3.1.1. *Bagian-Bagian Lereng Tambang*

Penambangan terbuka terdiri dari serangkaian pengisian yang terdiri dari pengisian tunggal dan pengisian penuh dengan tinggi dan sudut tertentu. Seluruh lereng juga memiliki daerah yang menghubungkan bagian lereng yang disebut lereng, dan bagian lereng tambang yang disebut landai (Singgih Santoso, 2012:II-21). Foto kemiringan open pit dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini



Gambar 3. Bagianbagian Lereng Tambang

3.1.2. *Ketabilan Lereng*

Menurut Abramson (2002) (Irelandia, 2016: 106) Tujuan analisis tren adalah:

Memahami bentukan dan jenis lereng alami, serta apa saja yang mempengaruhi karakteristik lereng. B. Menilai stabilitas bendungan dalam kondisi jangka pendek (biasanya selama konstruksi) dan jangka panjang. C. Penilaian probabilitas tanah longsor di lereng alami dan buatan manusia. D. Memahami mekanisme kegagalan dan pengaruh faktor lingkungan untuk menganalisa longsoran yang terjadi. e) Sebagai tindakan pencegahan, rekonstruksi geometri tanggul yang runtuh sehingga dapat diukur kembali jika perlu. Kentut Investigasi pengaruh beban seismik pada lereng.

Ada dua jenis gaya pada lereng: tarik dan tekan. Holding force adalah gaya yang menghambat pergerakan massa berupa gaya gesek atau geser, gaya kohesif, dan gaya geser tanah. Gaya gerak adalah gaya yang menggerakkan massa dalam bentuk gravitasi.

Saat menilai kestabilan lereng, kita mengacu pada faktor keamanan, hubungan antara gaya yang menahan batuan dan gaya yang menggerakkan batuan dan tanah. Secara umum, faktor keamanan didefinisikan sebagai (Anderson dan Richards, 1987 dalam Irwandi (2016):

Faktor Keamanan (FK)

$$FK = \frac{\text{(kekuatan geser saat ini)}}{\text{(kekuatan geser yang diperlukan untuk stabilitas)}}$$

Atau definisi faktor keamanan berupa perbandingan ketahanan longsoran dengan gaya penyebab longsoran. $FK = \frac{\text{(Gaya tahanan geser)}}{\text{(Gaya pembangkitan gaya geser)}}$

Nilai stabil lereng dapat dinyatakan sebagai

$FK \geq 1,3$: Kemiringan stabil

$1 < FK < 1.3$: runway dalam kondisi kritis (slip)

$FK < 1$: Kemiringan tidak stabil

Hoek (1991) dalam Irwandi (2016) mengusulkan faktor keamanan dalam desain berbagai jenis masalah rekayasa

batuan. Mulailah dengan faktor keamanan lebih besar dari 1 untuk beban ekstrim, analisis seismik dan gravitasi untuk desain bendungan, dan faktor keamanan lebih besar dari 1,5. Untuk timbunan tanah permanen, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel1. Faktor Keamanan Lereng

FK	Kejadian
$FK < 1$	Terjadi runtuh
$1 < FK < 1.5$	Kondisi rancangan tidak untuk lereng permanen
$FK > 1.2$	Kondisi layak untuk lereng temporary
$FK > 1.5$	Kondisi lereng layak untuk lereng permanen

Oleh karena itu diperlukan nilai faktor keamanan minimal, dengan nilai tertentu yang direkomendasikan sebagai batas faktor keamanan terendah yang masih aman untuk menyatakan lereng stabil atau tidak stabil.

3.1.3. *Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng*

Menurut Karyono (2004) secara umum faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng dapat diidentifikasi sebagai berikut

a. Faktor-faktor Pembentuk Gaya Penggerak

1) Geometri Lereng

Geometri lereng meliputi tinggi lereng dan sudut kemiringan lereng. Perubahan elevasi mengubah kestabilan lereng karena bertambahnya berat material pada lereng yang ditopang oleh gaya geser batuan dan tanah. Sudut kemiringan yang besar juga menghasilkan lebih banyak material, sehingga tekanan material pada permukaan yang miring juga lebih tinggi. Lereng yang terlalu tinggi lebih tidak stabil daripada lereng yang tidak terlalu tinggi, meskipun dengan penempatan batuan yang sama, dan lebih rentan terhadap longsor. Selain itu, jika kemiringannya besar, sudut kemiringannya tidak akan mulus. Desain geoteknik pesawat biasanya dijelaskan oleh parameter berikut:

a) Ketinggian Tangga: Alat bantu muat yang digunakan harus mencapai puncak atau puncak tangga. Jika tahap produksi Anda atau faktor lainnya memerlukan ketinggian platform tertentu, ukuran pembawa muatan juga harus disesuaikan

b) Kemiringan: Kemiringan Saat menggali permukaan horizontal dengan ekskavator mekanis seperti loader atau bucket, kemiringan 60-65 derajat biasa terjadi. Sudut keberangkatan yang lebih curam biasanya membutuhkan overhang

c) Lebar Tangga Arrestor: Ditentukan dengan pertimbangan keselamatan. Tujuannya adalah untuk menangkap batu bata yang jatuh. Sebuah bulldoser kecil atau alat perata diperlukan untuk membuang tanah lapisan atas ini secara teratur. Beberapa tambang mungkin menggunakan konfigurasi multi-bagian (tepi ganda/tiga).

1. Tujuannya adalah untuk mempertahankan seluruh sudut serangan. Konduktor tangkapan ini biasanya dirancang lebih lebar dari konduktor individual

2) Kehadiran air

Keberadaan air, khususnya air tanah, sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Air tanah memiliki tekanan pori, yang menciptakan daya apung, mengurangi kekuatan geser, dan membuat lereng menjadi licin.

3) Berat isi (γ)

Bambang H. dkk. (2018) Bulk Density adalah pengujian yang bertujuan untuk menentukan berat isi tanah, yaitu perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya (gram/cm^3). Semakin besar berat komponen batuan, semakin besar pula gaya penggerak yang menyebabkan kelongsoran.

a. Faktor Pembentuk Gaya Kendala

1) Jenis batuan

Batuan beku, batuan sedimen tertentu, dan batuan metamorf tertentu yang masih segar dan belum mengalami proses pelapukan umumnya memberikan kestabilan yang baik, terutama jika batuan tersebut tersebar luas (monolitologi).

2) Kekuatan batuan

Batuan utuh, padat, homogen, berbutir halus, umumnya relatif kuat, dan sangat stabil terhadap longsor. Batuan keras ini biasanya berupa batuan beku (granit, andesit, basal, dll.), berbagai jenis batuan sedimen (batu pasir, breksi, dll.), dan batuan metamorf (kuarsit, marmar, dll.) dan umumnya tidak bermasalah untuk representasi . . . Keparahan lereng Batu lemah dan tidak utuh. Batuan yang kuat ini memiliki sudut kemiringan 90° atau $>90^\circ$ dan tinggi lereng yang tinggi. 3) Difusi batu Penting untuk mengetahui distribusi batuan di daerah tersebut untuk menilai stabilitasnya. Selain sebaran, perlu juga diketahui jenis batuan dan tanah yang ada. Hal ini diperlukan karena perbedaan sifat fisik dan mekanik batuan. Generalisasi jenis batuan ini tentunya sangat mempengaruhi hasil analisis. Karena pada dasarnya setiap batu memiliki sifat fisik dan mekanik tersendiri. 4) Sifat fisik dan mekanik batuan

Sifat fisik dan mekanik yang mempengaruhi stabilitas lereng adalah:

a) Sifat fisik

(1) Porositas

Porositas adalah rasio volume pori terhadap volume total partikel. Batu dengan porositas tinggi menyerap lebih banyak air sehingga mengisi pori-pori batu.

(2) Kejenuhan

Saturasi adalah rasio volume air pori terhadap volume pori total. Semakin jenuh batuan, semakin banyak uap air yang dikandungnya. Adanya air pada batuan tersebut dapat menyebabkan tanah longsor.

b) sifat mekanik;

(1) Sudut geser dalam (ϕ)

Sudut geser internal adalah sudut yang dibentuk oleh rasio tegangan normal terhadap tegangan geser material

batuan. Semakin besar sudut pemotongan material, semakin tahan terhadap beban eksternal. (2) Kesatuan (c) Kekuatan kohesif adalah kekuatan tarik antar partikel batuan yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Semakin besar kekuatan geser, semakin besar kekuatan kohesif batuan

3.1.4. Kelongoran Lereng Tambang

Kemiringan terjadi ketika gaya penggerak yang menyebabkan material bergerak ke bawah lebih besar daripada gaya traksi. Menurut Hustrulid, Kuchta dan Martin (2006), material di alam biasanya dalam keadaan stabil dan distribusi tegangannya seimbang. Adanya pertambangan menyebabkan distribusi ketegangan baru. Semakin dalam tambang digali, semakin besar zona bebas stres ini dan semakin buruk kejatuhan batunya

3.2. Jenis-jenis Longsoran Lereng Tambang

3.2.1. Longsoran Bidang

Kemiringan datar adalah slide penguncian yang terjadi di sepanjang permukaan geser yang dianggap datar. Syarat terjadinya tanah longsor adalah : :

1) Guncangan bidang gelincir sejajar atau hampir sejajar dengan goncangan lereng permukaan, dengan selisih maksimum 200.

2) Kemiringan bidang gelincir (φ) harus lebih kecil dari kemiringan permukaan lereng

3) Kemiringan bidang geser (φ) harus lebih besar dari sudut geser

4) Bagian atas bidang gelincir berpotongan dengan bagian atas lereng atau berakhir pada retak tarik. 5) Terdapat permukaan pengendapan yang mewakili batas lateral batuan longsor. .

3.2.2. Longoran Baji

Wyllie & Mah (2004) menyebutkan kondisi umum untuk longsoran baji sebagai berikut,

1) Dua bidang terputus berpotongan pada garis yang membentuk baji terhadap lereng.

2) Kemiringan lebih besar dari kemiringan diskontinu bidang dan lebih kecil dari sudut geser dalam.

3) Kemiringan garis potong bidang terputus diarahkan keluar dari permukaan lereng. .

3.2.3. Longoran Guling

Kejatuhan terjadi pada batuan keras dan memiliki lereng yang terjal serta daerah lemah yang vertikal atau hampir vertikal dan arahnya berlawanan dengan arah lereng. Slide ini biasanya kotak-kotak atau multi-level. Kondisi selip atau sliding ditentukan oleh sudut slip internal dan kemiringan bidang geser, tinggi benda dan lebar benda pada bidang geser.

1) $\beta > 90^\circ + \phi - \alpha$, dimana β = kemiringan bidang lemah, ϕ = sudut potong dalam dan α = kemiringan.

2) Perbedaan maksimum antara kelim dan sambungan miring adalah 30° .

3.2.3 Longoran Busur

Longsor lengkung merupakan longsoran yang paling banyak ditemukan di alam, terutama pada tanah dan batuan yang telah mengalami pelapukan menyerupai tanah. Pada batuan keras, arch sliding hanya dapat terjadi

bila batuan tersebut mengalami pelapukan dan memiliki jarak titik lemah (retakan) yang sangat rapat. Di bagian bawah, pola strukturnya tidak rata, sehingga bidang selip bebas dibentuk dengan mencari tempat di mana hambatannya paling rendah.

Tanda pertama dari longsoran lengkung biasanya berupa rekahan tarik pada permukaan tepian atau permukaan, terkadang ini melibatkan penurunan sebagian dari permukaan tanggul yang berdekatan dengan patahan. Penurunan ini mengindikasikan pergerakan lereng yang memicu terjadinya longsoran. Kondisi longsoran busur:

- 1) Ada banyak titik lemah, dan arah longsoran bergerak di sepanjang area titik lemah berbentuk busur.
- 2) Gradien lereng lebih besar dari pada bidang lemah, yang lebih besar dari sudut geser batuan.
- 3) Bahan beveling diasumsikan homogen.
- 4) Geser diasumsikan terjadi pada permukaan melengkung melalui bagian bawah bangku.
- 5) Keruntuhan tarik vertikal diasumsikan terjadi sepanjang lereng atau muka lereng.
- 6) Kondisi air tanah bervariasi dari kering hingga jenuh penuh.
- 7) Titik putus tegangan dan permukaan pelat sama

3.3. Uaha Tidak Terjadinya Kelongoran

Jika diketahui bahwa lereng tersebut tidak stabil, maka perlu dilakukan upaya untuk mengatasi gejala gelincir tersebut. Tes ini dapat dilakukan sebagai berikut:

a) Pengurangan tenaga penggerak

1) Turunkan ketinggian tanggul

Kurangi ketinggian timbunan dengan membuang sebagian massa batuan puncak sampai timbunan dianggap aman. Pekerjaan ini dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanik seperti excavator, bulldozer dan truk. turun bukit

2) Minimalikan gradien

Mengurangi kemiringan lereng juga dapat mencegah tanah longsor. Sudut kemiringan awal adalah alfa dan setelah dimiringkan menjadi beta.

3) Penurunan Ketinggian Air Lereng dan Pengelolaan Air

Kehadiran air tanah meningkatkan tekanan air pori. Ketinggian air dapat diturunkan dengan dua cara umum: sumur horizontal dan sumur vertikal (Gambar 12). Di sumur vertikal air tanah dipompa dan di sumur horizontal air tanah dipompa. Air permukaan dapat diolah dengan menggali saluran di dasar lereng dan menambal retakan. Ini akan mencegah air menumpuk di lantai.

3.3.1 Sifat Zaman Batu

Bieniawski (1989) Batuan sebagai bahan struktur tanah dalam rekayasa geoteknik, khususnya mekanika batuan, dipandang sebagai massa yang homogen. Sehingga properti dianggap fitur yang bagus. Properti massa ini membawa massa dan beban. Oleh karena itu, pada saat merancang dan membuat struktur, perlu diperhatikan kekuatan dan pola kontinuitas massa batuan. Sifat karakteristik massa batuan ditentukan oleh area lemah batuan daripada sifat keseluruhan material. Batuan oleh karena itu tidak ideal dalam banyak hal, mereka jarang

sempurna terus menerus dan memiliki pori-pori dan retakan. Microcracks adalah celah dangkal kecil yang muncul di batuan terkompresi. Batuan idealnya terdiri dari sistem blok batuan dan puing-puing yang dipisahkan oleh diskontinuitas.

4. Metode Penelitian

4.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk jenis penelitian terapan. Penelitian terapan (applied research) yaitu penelitian yang dikerjakan dengan maksud untuk menerapkan, menguji, dan mengevaluasi kemampuan suatu teori yang diterapkan dalam pemecahan permasalahan praktis. Penelitian terapan merupakan penelitian yang diarahkan untuk mendapatkan informasi yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah (Sugiyono, 2010). Menurut Jujun S. Sumantri (1985) penelitian terapan merupakan penelitian yang bertujuan untuk memecahkan masalah-masalah praktis.

Penelitian terapan berfungsi untuk mencari solusi atas masalah tertentu, tujuan utamanya adalah memecahkan masalah sedemikian rupa sehingga hasil penelitian dapat digunakan untuk kepentingan orang secara individu atau kelompok, serta untuk kebutuhan industri atau politik, tidak hanya untuk sudut pandang ilmiah. A.Muri Yusuf (2005)

4.2. Teknik Pengumpulan Data

4.2.1. Studi Literatur

Penelitian tahap pertama ini bertujuan untuk mengkaji teori-teori yang berkaitan dengan topik penelitian dengan menggunakan berbagai sumber seperti jurnal dan buku analisis pengembalian investasi, penelitian terdahulu, laporan perusahaan dan artikel yang berhubungan dengan topik penelitian berupa survei literatur.

4.2.2. Persiapan data

Data yang diperlukan untuk penelitian ini berasal dari informasi primer yang diperoleh peneliti yang berpartisipasi dalam kegiatan lapangan kami pada Agustus 2022 dan dari arsip/laporan kami dan sumber lain tentang topik yang sedang dikerjakan peneliti. Ini adalah informasi sekunder. Secara khusus, kami membutuhkan informasi berikut:

Data primer

Data primer terdiri dari berbagai macam data yang diperoleh langsung dari lapangan atau laboratorium. Jenis data primer yang digunakan adalah:

a. Data bentuk lereng

Informasi geometri lereng batuan meliputi tinggi lereng (m), arah lereng ($^{\circ}$), dan sudut lereng ($^{\circ}$).

b. Data elevasi diskrit

Data survei diskontinuitas meliputi strike, dip, dip direction, jenis diskontinuitas, jarak diskontinuitas, persistensi, derajat kekasaran, bahan pengisi, jumlah sambungan, bentuk dan ukuran, dan diskontinuitas. Termasuk derajat pelapukan.

c. Data uji laboratorium

Data percobaan laboratorium, yaitu data hasil kajian sifat fisik batuan berupa berat awal, berat jenuh, berat kering, derajat kejenuhan, porositas sampel batuan, dan pengujian mekanik batuan. Langsung dari beban titik dan tes geser. data sekunder

Data sekunder yang digunakan adalah:

- a. Kartu IUD perusahaan
- b. Peta topografi
- c. Data curah hujan
- d. Struktur organisasi perusahaan.

4.2.3 Teknik analisis data

Teknik analisis data bertujuan untuk mengubah informasi yang Anda miliki menjadi informasi yang akan membantu Anda memecahkan pertanyaan penelitian Anda. Analisis data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah analisis uji sifat fisis dan mekanik di laboratorium, dan dari uji laboratorium tersebut dianalisis dengan software sliding untuk mendapatkan nilai FK lereng..

5. Hasil Penelitian

5.1. Data Hasil Laboratorium

Tujuan pengujian sampel adalah untuk mengetahui sifat material suatu sampel di laboratorium. Berbagai jenis pengujian dilakukan dalam kegiatan ini, antara lain pengukuran berat satuan, pengujian beban titik dan pengujian geser langsung. Pengujian sampel dilakukan di Institut Pertambangan, Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang.

5.1.1 Data Sifat Fisik Batuan

Dari hasil pengujian sifat fisik yang dilakukan di laboratorium didapatkan data sebagai berikut:

- a) Lereng 1

Tabel 2. Hasil Uji Sifat Fisik Lereng 1

No.	Sampel	Wn (gram)	Ww (gram)	Ws (gram)	Wo (gram)
1	Sampel 1	37,28	38,26	25,09	36,89
2	Sampel 2	35,59	36,47	23,72	35,02
3	Sampel 3	36,69	37,20	24,19	35,17

- b) Lereng 2

Tabel 3. Hasil Uji Sifat Fisik Lereng 2

No.	Sampel	Wn (gram)	Ww (gram)	Ws (gram)	Wo (gram)
1	Sampel 1	46,94	48,01	31,77	45,86
2	Sampel 2	39,62	40,79	27,13	38,91
3	Sampel 3	45,40	47,02	30,74	44,97

5.1.2 Data Sifat Fisik Mekanik

- a) Lereng 1

Tabel 4. Hasil Uji Sifat Mekanik Lereng 1

No	Sampel	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kn/m ³)	Bobot Isi Kering (kN/m ³)
1.	Sampel 1	27,75	28,43	27,45
2.	Sampel 2	27,36	28,04	26,87
3.	Sampel 3	27,65	27,94	26,47
Rata – Rata		27,58	28,13	26,93

- b) Lereng 2

Tabel 5. Hasil Uji Sifat Mekanik Lereng 2

No	Sampel	Bobot isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kn/m ³)	Bobot Isi Kering (kN/m ³)
1.	Sampel 1	28,34	28,92	27,65
2.	Sampel 2	28,43	29,22	27,85
3.	Sampel 3	27,1	28,24	27,06
Rata – Rata		27,97	28,79	27,52

5.1.3 Data Point Load Index

- 1. Hasil Pengujian Point Load Lereng 1

Tabel 6. Hasil Uji PLI Lereng 1

Sampel	Jarak Konus	P Kg	Is Kg/cm ²	MPa	UCS (MPa)
Sampel 1	5,45	1063,02	34,87	3,41	28,09
Sampel 2	5,45	963,73	32,44	3,18	27,83
Sampel 3	5,45	1138,92	38,34	3,75	28,50
Rata-rata		1055,22	35,21	3,44	28,14

- 2. Hasil Pengujian Point Load Lereng 2

Tabel 7. Hasil Uji PLI Lereng 2

Sampel	Jarak Konus	P Kg	Is Kg/cm ²	MPa	UCS
Sampel 1	5,45	1141,88	38,44	3,76	28,49
Sampel 2	5,45	1119,55	37,69	3,69	28,41
Sampel 3	5,45	1020,87	34,36	3,36	28,05
Rata-rata		1027,43	36,83	3,60	28,31

5.2 Hasil Analisis Klasifikasi Massa Batuan (RMR)

Nilai RMR dapat ditentukan setelah mengukur arah titik lemah pada lereng. Pengukuran dilakukan langsung pada garis pengukuran lapangan dengan menggunakan kompas geologi (metode scanline).

5.2.1. Parameter klasifikasi RMR

1) Nilai kekuatan tekan

Dari hasil uji beban titik yang dilakukan oleh Kementerian Pertambangan UNP, kuat tekan batuan pada lereng 1 adalah 3,44 MPa, dan melihat Tabel 13, sistem evaluasi massa batuan “Bieniawski, 1989” memiliki bobot 7 dan 2 Pitch setara dengan 3,60 MPa. Untuk Tabel 13, Rock Mass Rating System (Bieniawski, 1989) adalah 7. B. Nilai Penetapan Kualitas Batuan (RQD).

Perhitungan RQD didasarkan pada persamaan (13) dan (14), halaman 109, dengan cara mengukur rata-rata jumlah retakan (baik strata maupun retakan atau sesar) dengan menggunakan scan lines sepanjang 100 cm yang diperoleh dari perhitungan langsung singkapan batuan yang mengandung Setelah Hudson (1979), Djakamihardja & Soebowo, 1996, perhitungan RQD adalah

$$RQD = 100 (0,1\lambda + 1) e^{-0,1\lambda}$$

$$\lambda = 1/\text{jarak rata-rata pada garis pindai}$$

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan rumus di atas diperoleh nilai RQD rata-rata untuk lereng 1 sebesar 45,71%, karena nilai RQD per garis pindai pengamatan ditunjukkan pada gambar, maka berdasarkan uraian pada Tabel 8, kemiringan tersebut dianggap batu yang buruk. Kualitas (buruk) dengan bobot 8. Nilai RQD sebesar 49,028% diperoleh pada lereng 2. c. Data interval bidang kontinu

Hasil pengolahan data yang dilakukan pada jarak bidang diskrit menunjukkan bahwa rata-rata jarak antar kekar dengan kemiringan 1 adalah 0,0579. Dari sini dapat disimpulkan bahwa lokasi penelitian tergolong padat (< 60 mm) dan diberi bobot 5 saat masuk ke sistem rating massa batuan (Bieniawski, 1989) pada Tabel 13. Lereng 2 menghasilkan jarak rata-rata 0,1200 m, sehingga indeks jarak menerus berdasarkan Tabel 9 dihitung dengan menggunakan sistem peringkat massa batuan (Bieniawski, 1989) pada Tabel 13, dimana lokasi survei relatif padat (60 mm - 200 m) . Mencapai berat 8. D. Data kondisi lapangan terputus-putus, pemantauan kondisi zona terputus-putus meliputi rata-rata panjang kontinu, lebar celah, kekasaran, ketebalan material timbunan yang hancur, dan pelapukan zona terputus-putus.

2) panjang kesinambungan (persistence); Dari data yang diperoleh pada tabel di atas diperoleh rata-rata nilai persistensi untuk lereng 1 sebesar 0,211 m. Artinya nilai persistensi gradien < 1 m dan bobot persistensi 6, seperti terlihat pada Tabel 13. Runway 2 menghasilkan nilai persistensi sebesar 0,189 m, sehingga diperoleh bobot persistensi sebesar 6 berdasarkan Tabel 13.

3) Lebar rongga (separation) Nilai rata-rata lebar rongga pada lereng 1 didapatkan sebesar 0,2707 dan pada lereng 2 sebesar 0.2133 mm. Berdasarkan tabel 13 diketahui bahwa nilai lebar rongga berada pada rentang 0.1-1.0 mm sehingga didapatkan bobot lebar rongga sebesar 4

4) Kekasaran (roughness) Kondisi kekasaran lereng 1 dan lereng 2 diketahui dalam kondisi sedikit kasar (slightly rough) sehingga berdasarkan tabel 13 didapatkan bobot kekasaran sebesar 3.

d) Timbunan Dari Lampiran 1 dan 2 diketahui bahwa timbunan pada lereng adalah lempung (lunak < 5 mm), sehingga berat timbunan adalah 2.

5) Kondisi cuaca pada lereng 1 dan 2 mengalami pelapukan sedang, dengan bobot pelapukan 3 sesuai Tabel 13.

6) Selain kondisi lapangan yang terputus-putus, kondisi air tanah juga dapat mempengaruhi kekuatan batuan. Adanya air tanah pada diskontinuitas menyebabkan terjadinya pelapukan, pengangkutan mineral-mineral pengisi pori yang terlarut dan membuat diskontinuitas menjadi licin. Dalam penelitian ini keadaan air tanah dinilai dengan mengamati keadaan lereng secara visual. Berdasarkan pengamatan pada masing-masing titik survei, kondisi subsoil tergolong lembab. Dalam hal ini nilai bobot kualitas air tanah menurut tabel kualitas air tanah adalah 15.

Hasilnya adalah nilai bobot total untuk klasifikasi massif di situs CV. Putra Idol dapat menjelaskan bahwa Tabel Klasifikasi RMR dapat digunakan untuk menutup kelas gunung pada saat ini. Dengan kata lain, pembobotan kelas gunung Single Slope 1 dan Single Slope 2 tergolong RMR kelas III dengan litologi sedang. Oleh karena itu, batuan Kelas 3 dapat digambarkan memiliki rentang 5 m untuk rata-rata 1 minggu, kohesi batuan 200-300 KPa, dan sudut geser batuan 250-350.

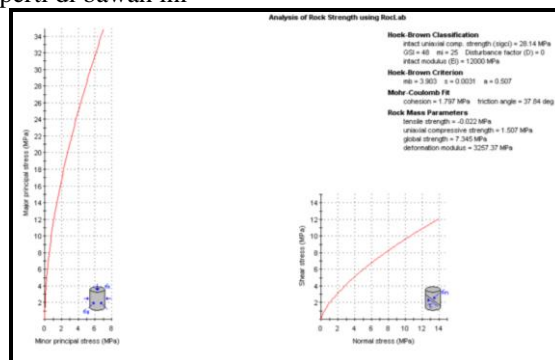
5.2.2 Analisis kohesi batuan dan sudut geser

Pada penelitian ini penulis mendapatkan nilai kohesi batuan (c) dan sudut geser dalam (φ) dengan bantuan software Roclab..

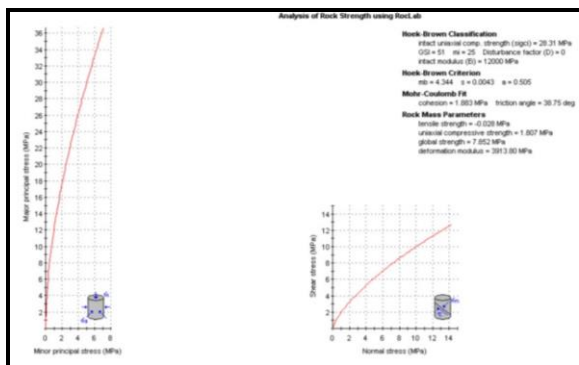
Tabel 8. Input Data Pada Software Roclab

No	Data Masukan	Nilai	
		Lereng 1	Lereng 2
1.	Kuat Tekan Batuan	1,05 MPa	1,04 MPa
2.	GSI	45	48
3.	Jenis Batuan (Mi)	20	20
4.	Disturbance factor (D)	0	0

Setelah memasukkan data parameter di atas, maka akan muncul nilai kohesi dan sudut geser batu seperti di bawah ini



Gambar 4. Output Pengolahan Software Roclab Lereng 1



Gambar 5. Output Pengolahan Software Roclab Lereng 2

5.3 Analisis Tipe Longsor

Dengan menggunakan analisis jenis longsor, ditentukan jenis longsor yang dapat terjadi pada lereng penelitian. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis kinematika dengan menggunakan perangkat lunak Dips 6.01.

Data yang diperlukan untuk melakukan analisis kinematika ini adalah data metode garis pindai yang diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan berupa kondisi lapangan strike, dip, dip dan diskontinu. Pengolahan data ini membutuhkan bantuan software Rocscience Dips untuk mendeteksi arah distribusi bidang diskontinuitas stereokritis. Tujuan utama pengolahan data diskontinuitas ini adalah untuk melihat orientasi dan arah umum dari sinyal primer dan sekunder. .

5.3.1 Analisis Kinematik Untuk Longsor Planar Sliding

Setelah dilakukan analisis menggunakan software dips 6.01 maka hasil analisis longsor planar sliding pada lereng 1 didapatkan potensi sebesar 51,15%, dan analisis longsor planar sliding pada lereng 2 didapatkan sebesar 0,88%

5.3.2 Analisis Kinematik Untuk Longsor Baji

Setelah dilakukan analisis menggunakan software dips 6.01 maka hasil analisis longsor baji pada lereng 1 didapatkan potensi sebesar 46,91%, dan analisis longsor baji pada lereng 2 didapatkan sebesar 11,16%

5.4 Analisis Kestabilan Lereng

5.4.1 Pemodelan gradien

Pemodelan lereng tambang menggabungkan dan menganalisis faktor geometris, jenis batuan, sifat fisik dan mekanik batuan, tekanan, beban, dan kondisi batas lokasi untuk lebih menggambarkan lereng tambang di lapangan. .

5.4.12 Analisis nilai FK lereng studi menggunakan software Slide 6.01

Berdasarkan data yang diolah dengan software Rocsciences Slide 6.0, didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,237 pada kejenuhan untuk lereng 1 pada Gambar 40 dan nilai faktor keamanan sebesar 1,625

untuk lereng 2 seperti terlihat pada Gambar 41. meningkat. Aman atau stabil. Pada Gambar 42, faktor keamanan lereng total pada saat jenuh adalah 1,063.

5.4.13 Rekomendasi Modifikasi Desain Lereng Geometri Lereng

Berdasarkan tabel simulasi nilai FK diatas untuk lereng 1 pada saat natural faktor kewanaman (FK) menyatakan keadaan lereng dalam keadaan tidak aman atau stabil sedangkan pada lereng 2 dalam keadaan natural keadaan lereng dilihat dari nilai FK nya berada dalam keadaan aman atau stabil, maka untuk rekomendasi lereng 1 dilakukan modifikasi lereng pada geometri lereng tersebut, dimana kemiringan lereng diperkecil agar bisa memperbesar nilai FK agar stabil, dimana kemiringan lereng sebelumnya sebesar 74° menjadi 68° . Dengan kemiringan lereng yang telah diubah ke 68° nilai FK sudah stabil.

Pada lereng 2 dinyatakan bahwa lereng tersebut berada dalam keadaan aman atau stabil maka tidak diperlukan rekomendasi pada lereng tersebut, akan tetapi lereng tersebut dapat digunakan atau di operasikan dari kemiringan 56o hingga 75o, dan pada ketinggian 14 meter hingga 17 meter seperti gambar 45 dan 46 dibawah ini.

Rekomendasi pada lereng Overall dilakukan modifikasi lereng pada geometri lereng tersebut, dimana kemiringan lereng diperkecil agar bisa memperbesar nilai FK agar stabil, dimana kemiringan lereng sebelumnya sebesar 65° menjadi 49° . Dengan kemiringan lereng yang telah diubah ke 49° nilai FK sudah stabil.

6. Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

6.1.1. Peneliti dapat menarik kesimpulan sebagai berikut berdasarkan hasil penelitian ini. Berdasarkan analisis peneliti, dapat disimpulkan bahwa Hasil analisis klasifikasi batuan menunjukkan bahwa batuan tersebut CV sesuai dengan rock quality designation (RQD). Putra Idol Lereng 1 sebesar 45,71% dan Lereng 2 sebesar 49,028%. Dari segi Rock Mass Rating (RMR), lereng tergolong Kelas III (sedang), dan dari segi Indeks Kekuatan Geologi (GSI), lereng 1 memiliki kadar massa batuan 48 dan lereng 2 memiliki kadar batuan 51.

- Nilai kerapatan awal untuk lereng 1 = 27,58 Kn/m³
- Nilai kerapatan lereng asli 2 = 27,97 Kn/m³
- Lereng 1 Bobot Saturasi Saturasi = 28,13 Kn/m³
- Kemiringan 2 Berat satuan jenuh = 28,79 Kn/m³
- Nilai berat kering lereng 1 = 26,93 Kn/m³
- Nilai berat kering lereng 2 = 27,52 Kn/m³
- Hasil uji kuat tekan batuan gradien beban titik 1: 3.44MPa.
- Hasil uji kuat tekan batuan gradien beban titik 2: 3.60MPa.
- Dari hasil denah diskontinu berdasarkan dekomposisi perangkat lunak, ditentukan bahwa ada kemungkinan tergelincir berupa kerusakan

baji di daerah penelitian. lereng 1 sebesar 46,91%, lereng 2 sebesar 11,16% dan longsoran bidang (Planar Failure) lereng 1 sebesar 51,15% dan lereng 2 sebesar 0,88%

- Hasil analisis faktor keamanan lereng kondisi natural dan jenuh menunjukkan bahwa lereng penambangan di site CV. Putra Idola berada dalam kondisi kritis dengan nilai FK lereng 1 sebesar 1,263 dalam kondisi natural dan FK dalam keadaan jenuh sebesar 1,239, dan hasil analisis faktor keamanan lereng 2 berada dalam kondisi aman dengan nilai FK lereng 2 sebesar 1,666 dalam keadaan natural dan FK dalam keadaan jenuh sebesar 1,625, sedangkan hasil analisis faktor keamanan lereng overall berada dalam kondisi krisis dengan nilai FK lereng overall sebesar 1,079 dalam keadaan natural dan FK dalam keadaan jenuh sebesar 1,063.
- Rekomendasi peningkatan kestabilan lereng pada studi CV. Rotten Idol, untuk mencapai tingkat yang aman, terdiri dari pengurangan geometri lereng yang dimodifikasi, pengurangan kemiringan lereng, kemiringan aktual 74° 68° dan ketinggian 17 meter, hasil perubahan Geometri lereng adalah untuk membuat lereng aman atau stabil dalam kondisi alami (FK: 1.325) pada kemiringan 68° , maupun jenuh (FK: 1.300) pada kemiringan 68° . Pada lereng overall Rekomendasi dalam upaya peningkatan kesetabilan lereng untuk mencapai tingkat yang aman adalah dengan mengurangi geometri lereng dimodifikasi dengan mengurangi kemiringan lereng dimana kemiringan lereng aktual 65° hingga mencapai 52° dan ketinggian didapatkan 31 meter dimana hasil dari modifikasi geometri lereng tersebut membuat lereng aman atau stabil dalam kondisi natural (FK: 1.342) pada kemiringan 52° , maupun jenuh (FK: 1.325) pada kemiringan 52° .

6.2. Saran

Penulis dapat memberikan saran sebagai berikut untuk proyek akhir ini: Putra Idol mendesain ulang lereng tambang.

- Salah satu cara untuk meningkatkan nilai Safety Factor (FK) bank adalah dengan menurunkan bank.
- Perlunya modifikasi geometri tanggul Hal ini dicapai dengan memperbaiki geometri tanggul yang ada mengikuti rekomendasi desain yang dibuat untuk menjaga kestabilan tanggul pada nilai $FK > 1,3$.
- Perlunya ketelitian saat pengujian sampel di laboratorium agar hasil yang diperoleh lebih akurat.
- Pemeliharaan, pemantauan dan pengelolaan lereng sangat penting untuk menjaga keamanan lereng.

- Memberikan pelatihan kepada operator ekskavator untuk mengurangi jumlah arang yang terbuang di atap mereka selama kegiatan pembersihan arang.
- Lebih memperhatikan batas tumpukan batu bara StockROM, pastikan tidak ada batu bara yang melebihi batas dasar StockROM

Referensi

- [1] Amzeri, Yori., Yoszi Mingsi Anaperta. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Janbu Pada Lereng Lubang BMK 30 di CV. Bara Mitra Kencana (BMK), Tanah Kuning, Desa Batu Tanjung, Kota Sawah Lunto, Provinsi Sumatera Barat. Vol 6, No 4, ISSN; 2302-3333.
- [2] Aprilia, Jessica, dkk. 2019. Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang Batubara Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas PT. Bukit Asaam Tbk. Vol. 3, No.3, Juni 2019. i-ISSN: 2597-4033.
- [3] Arif, Irwandy. 2016. Geoteknik Tambang. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [4] Arif, Irwandy., Djarwadi, Didiek., Baskoro, Resi Yogie., Tanpa Tahun. Sistem Manajemen Geoteknik Tambang. Engginering Division: PT Pamapersada Nusantara.
- [5] Djakamihardja, A.S., dan Soebowo, E. 1996. Studi Kemantapan Lereng Batuan Pada Jalur Jalan Raya Liwa-Krui, Lampung Barat: Suatu Pendekatan Metoda Empiris. Prosiding Seminar Sehari Kemantapan Lereng Pertambangan Indonesia II, Jurusan Teknik Pertambangan, ITB. ITB: Bandung.
- [6] Endaryanto, A. 2007. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Menggunakan Metode Kinematik dan Klasifikasi Massa Batuan Studi Kasus di Area Penambangan Andesit, Desa Jelekong, Kecamatan Bale Endah, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Tugas Akhir Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknoogi Bandung.
- [7] Giani, G. P. 1992. Rock Slope Stability Analisis. Taylor & Francis, United Kingdom.
- [8] Hoek, E. 2006. Practical Rock Engineering. Notes, Evert Hoek Consulting Engineer Inc., Canada.
- [9] Hoek, E and Bray, J.W. 1981. Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy. 3rd Edition : London.
- [10] Hudson, J.A. and Harrison, J.P. 1997. Engineering Rock Mechanics An Introduction to The Principles, Elsevier Science Ltd, United Kingdom.
- [11] Hustrulid, W., Kuchta, M., dan Martin, R. 2006. Open Pit Planning and Design 3rd Edition. CRC Press: Balkena, Netherlands.
- [12] Kepmen 1827 K/30/MEM/2018. Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik. Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.

- [13] Palmstorm, A. 1995. Rmi- A Rock Mass Characterization System for Rock Engineering Purpose, PhD thesis, University of Oslo, Department of Geology.
- [14] Putra, Reno., dan Bambang Heriyadi. Analisis Stabilitas Lereng Dalam Penentuan Batas Penambangan Pada Zona 4 Tambang Andesit PT. Bintang Sumatera Pacific, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten 50 Kota Sumatera Barat. Vol 5, No 5, ISSN; 2303-3333.
- [15] Santoso, Singgih. 2012. Panduan Lengkap SPSS Versi 20. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- [16] Saputra, Rizki Aldi. 2019. Analisis Klasifikasi Massa Batuan dan Potensi Longsor Pada Area Pit Timur Tambang Terbuka di PT. Allied Indo Coal Jaya, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat. Tugas Akhir Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.
- [17] Saputri, Oktaviana., Bambang Heriyadi. Yoszi Mingsi Anaperta. 2018. Analisis Kestabilan Lereng Untuk Sistem Penambangan Overburden (Soil) di Area IUP 412 HA Bukit Tajarang Indarung PT. Semen Padang Sumatera Barat. UNP; Padang.
- [18] Satria, Excell Vicky., Yoszi Mingsi Anaperta. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Janbu Simplified Pada Lereng CBP-03 PT. Cahaya Bumi Perdana, Kecamatan Talawi, Kota Sawah Lunto, Sumatera Barat. Vol 6, No 4, ISSN; 2302-3333.
- [19] Septian, Rully., Bambang Heriyadi, Heri Prabowo. (2018). Analisis Kestabilan Lereng Jalan Tambang di PT. Subar Calcium Pratama Jorong Atas Halaban, Nagari Halaban, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. UNP; Padang.
- [20] Susanto, Aprilian., Drs. Bambang Heriyadi, MT. Analisis Kestabilan Lereng Untuk Perencanaan Optimalisasi Penambangan Pada Lokasi Tambang Air Laya (TAL) Barat PT. Bukit Asama Tbk. Vol 5, No 4, ISSN 2303-3333.
- [21] Virginia, Turangan. 2015. Analisa Kestabilan Lereng Metode Slice (Metode Janbu) (Studi Kasus: Jalan Manado By Pass D). Universitas Sam Ratulangi.
- [22] Wyllie, D.C., Mah, Ch. W. 2004. Rock Slope Engineering: Civil and Mining 4th Ed. London & New York: Spon Press
- [23] Haryati, O. S., Kopa, R., & Prabowo, H. (2018). Pemetaan Kestabilan Lereng Pada Lokasi Penambangan Emas Pit Durian Pt J Resources Bolaang Mongondow Site Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow Sulawesi Utara. Bina Tambang, 3(1), 481-482.
- [24] Heriyadi, B., Prengki, I., & Prabowo, H. (2019, November). Analysis of Collapse Load and Open Hole Evaluation Based on Rock Mass Rating (RMR) Method in Underground Mining. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1387, No. 1, p. 012104). IOP Publishing.